БОЛЬШИЕ NF КНИГИ



Яков Перельман

Занимательная наука

Физика
Механика
Астрономия

«АЗБУКА»

БОЛЬШИЕ
NF
КНИГИ

Яков Перельман

Занимательная наука

Физика
Механика
Астрономия

АЗБУКА

Санкт-Петербург

УДК 53+531+51
ББК 22.3+22.2+22.1
П 27

Серийное оформление Вадима Пожидаева

Оформление обложки Валерия Гореликова

Иллюстрации
Юлии Каташинской, Вадима Пожидаева-мл.,
Юрия Скалдина

© Оформление.
ООО «Издательская Группа
„Азбука-Аттикус“», 2023
Издательство Азбука®

ISBN 978-5-389-24268-5

Занимательная физика

Книга первая



ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ АВТОРА К ТРИНАДЦАТОМУ ИЗДАНИЮ

В этой книге автор стремится не столько сообщить читателю новые знания, сколько помочь ему «узнать то, что он знает», т. е. углубить и оживить уже имеющиеся у него основные сведения из физики, научить сознательно ими распоряжаться и побудить к разностороннему их применению. Достигается это рассмотрением пестрого ряда головоломок, замысловатых вопросов, занимательных рассказов, забавных задач, парадоксов и неожиданных сопоставлений из области физики, относящихся к кругу повседневных явлений или черпаемых из общеизвестных произведений научно-фантастической беллетристики. Материалом последнего рода составитель пользовался особенно широко, считая его наиболее соответствующим целям сборника: приведены отрывки из романов и рассказов Жюля Верна, Уэллса, Марка Твена и др. Описываемые в них фантастические опыты, помимо их заманчивости, могут и при преподавании играть немаловажную роль в качестве живых иллюстраций.

Составитель старался, насколько мог, придавать изложению внешне интересную форму, сообщать привлекательность предмету. Он руководствовался той психологической аксиомой, что интерес к предмету повышает внимание, облегчает понимание и, следовательно, способствует более сознательному и прочному усвоению.

Вопреки обычаю, установившемуся для подобного рода сборников, в «Занимательной физике» весьма мало места отводится описанию забавных и эффектных физических опытов. Эта книга имеет иное назначение, нежели сборники, предлагающие материал для экспериментирования. Главная цель «Занимательной физики» — возбудить деятельность научного воображения, приучить читателя мыслить в духе физической науки и создать в его памяти многочисленные ассоциации физических знаний с самыми разнородными явлениями жизни, со всем тем, с чем он обычно входит в соприкосновение.

Ввиду интереса, проявляемого читателями к истории этой книги, приводим некоторые библиографические данные о ней.

«Занимательная физика» родилась четверть века назад и была первенцем в многочисленной книжной семье ее автора, насчитывающей сейчас несколько десятков членов.

«Занимательной физике» посчастливилось проникнуть — как свидетельствуют письма читателей — в самые глухие уголки Союза.

Значительное распространение книги, свидетельствующее о живом интересе широких кругов к физическим знаниям, налагает на автора серьезную ответственность за качество ее материала. Сознанием этой ответственности объясняются многочисленные изменения и дополнения в тексте «Занимательной физики» при повторных изданиях. Книга, можно сказать, писалась в течение всех 25 лет ее существования. В последнем издании от текста первого сохранена едва половина, а от иллюстраций — почти ни одной.

К автору поступали от иных читателей просьбы воздерживаться от переработки текста, чтобы не вынуждать их «из-за десятка новых страниц приобретать каждое повторное издание». Едва ли подобные соображения могут освободить автора от обязанности всемерно улучшать свой труд. «Занимательная физика» не художественное произведение, а сочинение научное, хотя и популярное. Ее предмет — физика — даже в начальных своих основаниях непрестанно обогащается свежим материалом, и книга должна периодически включать его в свой текст.

С другой стороны, приходится нередко слышать упреки в том, что «Занимательная физика» не уделяет места таким темам, как новейшие успехи радиотехники, расщепление атомного ядра, современные физические теории и т. п. Упреки такого рода — плод недоразумения. «Занимательная физика» имеет вполне определенную целевую установку; рассмотрение же этих вопросов — задача иных сочинений.

К «Занимательной физике» примыкает и несколько других сочинений того же автора. Одно предназначено для сравнительно мало подготовленного читателя, еще не приступавшего к систематическому изучению физики, и озаглавлено «Физика на каждом шагу» (издание «Детиздата»). Два других, напротив, имеют в виду тех, кто уже закончил изучение среднешкольного курса физики. Это — «Занимательная механика» и «Знаете ли вы физику?». Последняя книга является как бы завершением «Занимательной физики».

Я. Перельман
1936

ГЛАВА ПЕРВАЯ

СКОРОСТЬ. СЛОЖЕНИЕ ДВИЖЕНИЙ

Как быстро мы движемся?

Спортивную дистанцию 1,5 км хороший бегун пробегает примерно за 3 мин 50 с (мировой рекорд 1958 г. — 3 мин 36,8 с). Для сравнения с обычной скоростью пешехода — 1,5 м/с — надо сделать маленькое вычисление; тогда окажется, что спортсмен пробегает в секунду 7 м. Впрочем, скорости эти не вполне сравнимы: пешеход может ходить долго, целые часы, делая по 5 км/ч, спортсмен же способен поддерживать значительную скорость своего бега только короткое время. Пехотная воинская часть перемещается бегом втрое медленнее рекордсмена; она делает 2 м/с, или 7 с лишком километров в час, но имеет перед спортсменом то преимущество, что может совершать гораздо бóльшие переходы.

Интересно сравнить нормальную поступь человека со скоростью таких — вошедших в пословицу — медлительных животных, как улитка или черепаха. Улитка вполне оправдывает репутацию, приписываемую ей поговоркой: она проходит 1,5 мм/с, или 5,4 м/ч, — ровно в тысячу раз меньше человека! Другое классически медленное животное, черепаха, не намного перегоняет улитку: ее обычная скорость — 70 м/ч.

Проворный рядом с улиткой и черепахой, человек предстанет перед нами в ином свете, если сопоставить его движение с другими, даже не очень быстрыми движениями в окружающей природе. Правда, он легко перегоняет течение воды в большинстве равнинных рек и не намного отстает от умеренного ветра. Но с мухой, пролетающей 5 м/с, человек может успешно состязаться разве только на лыжах. Зайца или охотничью собаку человек не перегонит даже на лошади карьером. Состязаться в скорости с орлом человек может лишь на самолете.

Машины, изобретенные человеком, делают его самым быстрым существом мира.

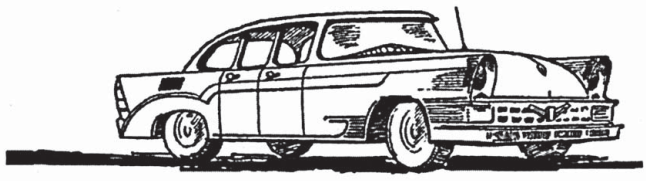


Рис. 1. Автомобиль ЗИЛ-111

Сравнительно недавно в СССР был построен пассажирский теплоход с подводными крыльями, развивающий скорость 60–70 км/ч. На суше человек может двигаться быстрее, чем на воде. На некоторых участках пути скорость движения пассажирских поездов в СССР доходит до 100 км/ч. Новая легковая автомашина ЗИЛ-111 (рис. 1) может развивать скорость до 170 км/ч, семиместный легковой автомобиль «Чайка» — до 160 км/ч.

Эти скорости далеко превзошла современная авиация. На многих линиях гражданского воздушного флота СССР работают многоместные лайнеры ТУ-104 и ТУ-114 (рис. 2). Средняя скорость их полета составляет около 800 км/ч.

Еще не так давно перед авиаконструкторами ставилась задача перешагнуть «звуковой барьер», превысить скорость звука (330 м/с, т. е. 1200 км/ч). Сейчас эта задача решена. Скорости небольших самолетов с мощными реактивными двигателями приближаются к 2000 км/ч.

Аппараты, создаваемые человеком, могут достигать еще больших скоростей. Искусственные спутники Земли, летающие вблизи границы плотных слоев атмосферы, движутся со скоростью около 8 км/с. Космические аппараты, направляющиеся к планетам Солнечной системы, получают начальную скорость, превышающую вторую космическую скорость (11,2 км/с у поверхности Земли).



Рис. 2. Пассажирский реактивный самолет ТУ-104

Читатель может просмотреть следующую таблицу скоростей:

Улитка	1,5	мм/с	5,4	м/ч
Черепаха	20	»	70	»
Рыба	1	м/с	3,6	км/ч
Пешеход	1,4	»	5	»
Конница шагом	1,7	»	6	»
» рысью	3,5	»	12,6	»
Муха	5	»	18	»
Лыжник	5	»	18	»
Конница карьером	8,5	»	30	»
Теплоход с подводными крыльями	16	»	58	»
Заяц	18	»	65	»
Орел	24	»	86	»
Охотничья собака	25	»	90	»
Поезд	28	»	100	»
Автомобиль ЗИЛ-111	50	»	170	»
Гоночный автомобиль (рекорд)	174	»	633	»
ТУ-104	220	»	800	»
Звук в воздухе	330	»	1200	»
Легкий реактивный самолет	550	»	2000	»
Земля по орбите	30 000	»	108 000	»

В погоне за временем

Можно ли в 8 часов утра вылететь из Владивостока и в 8 часов утра того же дня прилететь в Москву? Вопрос этот вовсе не лишен смысла. Да, можно. Чтобы понять этот ответ, нужно только вспомнить, что разница между поясным временем Владивостока и Москвы составляет девять часов. И если самолет сможет пройти расстояние между Владивостоком и Москвой за это время, то он прибудет в Москву в час своего вылета из Владивостока.

Расстояние Владивосток — Москва составляет примерно 9000 км. Значит, скорость самолета должна быть равна 9000 : 9 = 1000 км/ч. Это вполне достижимая в современных условиях скорость.

Чтобы «перегнать Солнце» (или, точнее, Землю) в полярных широтах, нужна значительно меньшая скорость. На 77-й параллели (Новая Земля) самолет, обладающий скоростью около 450 км/ч, пролетает столько же, сколько успевает за тот же промежуток времени пройти точка земной поверхности при вращении Земли вокруг оси. Для пассажира такого самолета Солнце остановится и будет непо-

движно висеть на небе, не приближаясь к закату (при этом, конечно, самолет должен двигаться в подходящем направлении).

Еще легче «перегнать Луну» в ее собственном обращении вокруг Земли. Луна движется вокруг Земли в 29 раз медленнее, чем Земля вокруг своей оси (сравниваются, конечно, так называемые «угловые», а не линейные скорости). Поэтому обыкновенный пароход, делающий 25–30 км/ч, может уже в средних широтах «перегнать Луну».

О таком явлении упоминает Марк Твен в своих очерках «Простаки за границей». Во время переезда по Атлантическому океану от Нью-Йорка к Азорским островам «стояла прекрасная летняя погода, а ночи были даже лучше дней. Мы наблюдали странное явление — Луну, появляющуюся каждый вечер в тот же час в той же точке неба. Причина этого оригинального поведения Луны сначала оставалась для нас загадочной, но потом мы сообразили, в чем дело: мы подвигались каждый час на 20 минут долготы к востоку, т. е. именно с такой скоростью, чтобы не отставать от Луны!».

Тысячная доля секунды

Для нас, привыкших мерить время на свою человеческую мерку, тысячная доля секунды равнозначна нулю. Такие промежутки времени лишь недавно стали встречаться в нашей практике. Когда время определяли по высоте Солнца или длине тени, то не могло быть речи

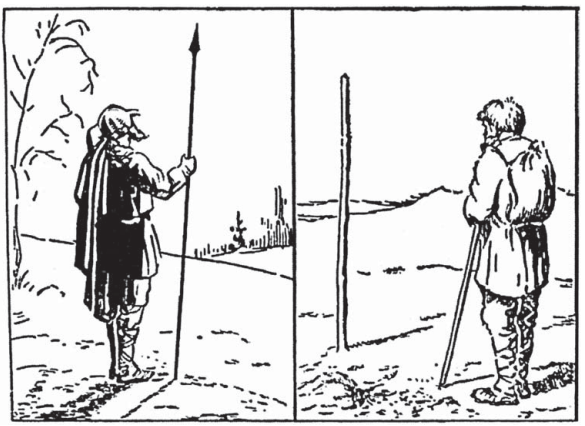


Рис. 3. Определение времени дня по положению Солнца на небе (слева) и по длине тени (справа)

о точности даже до минуты (рис. 3); люди считали минуту слишком ничтожной величиной, чтобы стоило ее измерять. Древний человек жил такой неторопливой жизнью, что на его часах — солнечных, водяных, песочных — не было особых делений для минут (рис. 4, 5). Только с начала XVIII века стала появляться на циферблате минутная стрелка. А с начала XIX века появилась и секундная стрелка.

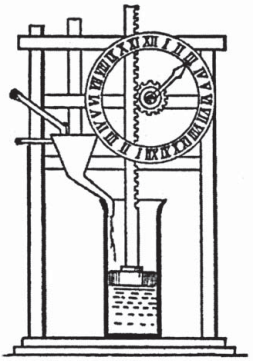


Рис. 4. Водяные часы, употреблявшиеся в древнем мире

Что же может совершиться в тысячную долю секунды? Очень многое! Поезд, правда, может переместиться за этот промежуток времени всего сантиметра на три, звук — уже на 33 см, самолет — примерно на полметра; земной шар пройдет в своем движении вокруг Солнца в такую долю секунды 30 м, а свет — 300 км.



Рис. 5. Старинные карманные часы

Мелкие существа, окружающие нас, если бы они умели рассуждать, вероятно, не считали бы тысячную долю секунды за ничтожный промежуток времени. Для насекомых, например, величина эта вполне ощутима. Комар в течение одной секунды делает 500–600 полных взмахов крылышками; значит, в тысячную долю секунды он успевает поднять их или опустить.

Человек не способен перемещать свои члены так быстро, как насекомое. Самое быстрое наше движение — мигание глаз, «мгновение ока», или «миг», в первоначальном смысле этих слов. Оно совершается так быстро, что мы не замечаем даже временного затмения поля нашего зрения. Немногие, однако, знают, что это движение — синоним невообразимой быстроты — протекает, в сущности, довольно медленно, если измерять его тысячными долями секунды. Полное «мгновение ока» длится, как обнаружили точные измерения, в среднем $^{2}/_{5}$ секунды, т. е. 400 тысячных долей ее. Оно распадается на следующие фазы: опускание века (75–90 тысячных секунды), состояние неподвижности опущенного века (130–170 тысячных) и поднятие его (около 170 тысячных). Как видите, один «миг» в буквальном смысле этого слова — промежуток довольно значительный, в течение которого глазное веко успевает даже немного отдохнуть. И если бы мы могли раздельно воспринимать впечатления, длящиеся тысяч-

ную долю секунды, мы уловили бы «в один миг» два плавных движения глазного века, разделенных промежутком покоя.

При таком устройстве нашей нервной системы мы увидели бы окружающий нас мир преображенным до неузнаваемости. Описание тех странных картин, какие представились бы тогда нашим глазам, дал английский писатель Уэллс в рассказе «Новейший ускоритель». Герои рассказа выпили фантастическую микстуру, которая действует на нервную систему так, что делает органы чувств восприимчивыми к раздельному восприятию быстрых явлений.

Вот несколько примеров из рассказа:

«— Видали ли вы до сих пор, чтобы занавеска прикреплялась к окну этаким манером?

Я посмотрел на занавеску и увидел, что она словно застыла и что угол у нее как загнулся от ветра, так и остался.

— Не видал никогда, — сказал я. — Что за странность!

— А это? — сказал он и растопырил пальцы, державшие стакан.

Я ожидал, что стакан разобьется, но он даже не шевельнулся: он повис в воздухе неподвижно.

— Вы, конечно, знаете, — сказал Гибберн, — что падающий предмет опускается в первую секунду на пять метров. И стакан пробегает теперь эти пять метров, — но, вы понимаете, не прошло еще и сотой доли секунды*. Это может вам дать понятие о силе моего „ускорителя“.

Стакан медленно опускался. Гибберн провел рукой вокруг стакана, над ним и под ним...

Я глянул в окно. Какой-то велосипедист, застывший на одном месте, с застывшим облаком пыли позади, догонял какую-то бричку, которая также не двигалась ни на один дюйм.

...Наше внимание было привлечено омнибусом, совершенно окаменевшим. Верхушка колес, лошадиные ноги, конец кнута и нижняя челюсть кучера (он только что начал зевать) — все это хотя и медленно, но двигалось; остальное же в этом неуклюжем экипаже совершенно застыло. Сидящие там люди были как статуи.

...Какой-то человек застыл как раз в тот момент, когда он делал нечеловеческие усилия сложить на ветру газету. Но для нас этого ветра не существовало.

...Все, что было сказано, подумано, сделано мной с той поры, как „ускоритель“ проник в мой организм, было лишь мгновением ока для всех прочих людей и для всей Вселенной».

---

* Надо иметь в виду к тому же, что в первую сотую долю первой секунды своего падения тело проходит не сотую часть от 5 м, а 10 000-ю (по формуле $S = \frac{gt^2}{2}$), т. е. полмиллиметра, а в первую тысячную долю секунды — всего $^1/_{200}$ мм. — *Здесь и далее, кроме указанных особо, примеч. автора.*

Вероятно, читателям интересно будет узнать, каков наименьший промежуток времени, измеримый средствами современной науки? Еще в начале этого века он равнялся 10 000-й доле секунды; теперь же физик в своей лаборатории способен измерить 100 000 000 000-ю долю секунды. Этот промежуток примерно во столько же раз меньше целой секунды, во сколько раз секунда меньше 3000 лет!

«Лупа времени»

Когда Уэллс писал свой «Новейший ускоритель», он едва ли думал, что нечто подобное когда-нибудь осуществится в действительности. Ему довелось, однако, дожить до этого: он мог собственными глазами увидеть — правда, только на экране — те картины, которые создало некогда его воображение. Так называемая «лупа времени» показывает нам на экране в замедленном темпе многие явления, протекающие обычно очень быстро.

«Лупа времени» — это кинематографический фотоаппарат, делающий в секунду не 24 снимка, как обычные киноаппараты, а во много раз больше. Если заснятое так явление проектировать на экран, пуская ленту с обычной скоростью 24 кадра в секунду, то зрители увидят явление растянутым — совершающимся в соответствующее число раз медленнее нормального. Читателю случалось, вероятно, видеть на экране такие неестественно плавные прыжки и другие замедленные явления. С помощью более сложных аппаратов того же рода достигается замедление еще более значительное, почти воспроизводящее то, что описано в рассказе Уэллса.

Когда мы движемся вокруг Солнца быстрее — днем или ночью?

В парижских газетах появилось однажды объявление, обещавшее каждому за 25 сантимов указать способ путешествовать дешево и притом без малейшего утомления. Нашлись легковерные, которые прислали требуемые 25 сантимов. В ответ каждый из них получил по почте письмо следующего содержания:

«Оставайтесь, гражданин, спокойно в своей кровати и помните, что Земля наша вертится. На параллели Парижа — 49-й — вы пробегаете каждые сутки более 25 000 км. А если вы любите живописные

виды, откиньте оконную занавеску и восхищайтесь картиной звездного неба».

Привлеченный к суду за мошенничество, виновник этой затеи выслушал приговор, уплатил наложенный на него штраф и, говорят, став в театральную позу, торжественно повторил знаменитое восклицание Галилея:

— А все-таки она вертится!

В известном смысле обвиняемый был прав, потому что каждый обитатель земного шара не только «путешествует», вращаясь вокруг земной оси, но с еще большей скоростью переносится Землей в ее обращении вокруг Солнца. *Ежесекундно* планета наша со всеми своими обитателями перемещается в пространстве на 30 км, вращаясь одновременно и вокруг оси.

По этому поводу можно задать интересный вопрос: когда мы движемся вокруг Солнца быстрее — днем или ночью?

Вопрос способен вызвать недоумение: ведь всегда на одной стороне Земли день, на другой — ночь; какой же смысл имеет наш вопрос? По-видимому, никакого.

Однако это не так. Спрашивается ведь не о том, когда вся Земля перемещается скорее, а о том, когда мы, ее обитатели, движемся скорее среди звезд. А это уже вовсе не бессмысленный вопрос. В Сол-

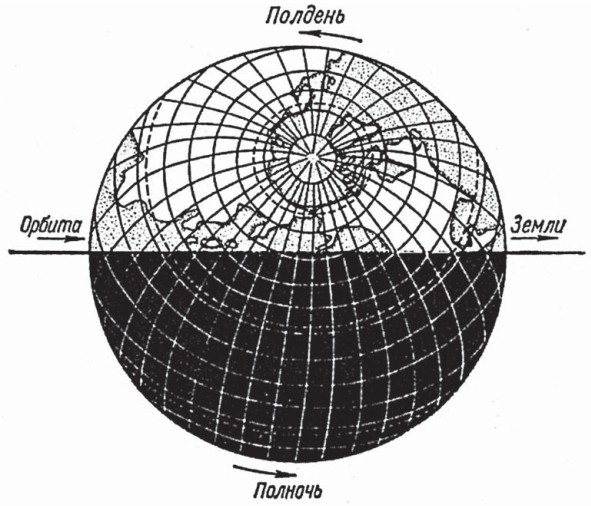


Рис. 6. На ночной половине земного шара люди движутся вокруг Солнца быстрее, чем на дневной

нечной системе мы совершаем два движения: вращаемся вокруг Солнца и в то же время обращаемся вокруг земной оси. Оба движения складываются, но результат получается различный, смотря по тому, находимся ли мы на дневной или ночной половине Земли. Взгляните на рис. 6, и вы поймете, что в полночь скорость вращения *прибавляется* к поступательной скорости Земли, а в полдень, наоборот, *отнимается* от нее. Значит, *в полночь мы движемся в Солнечной системе быстрее, нежели в полдень*.

Так как точки экватора пробегают в секунду около полукилометра, то для экваториальной полосы разница между полуденной и полуночной скоростью достигает целого километра в секунду. Знакомые с геометрией легко могут вычислить, что для Ленинграда (который находится на 60-й параллели) эта разница вдвое меньше: в полночь ленинградцы каждую секунду пробегают в Солнечной системе на полкилометра больше, нежели в полдень.

Загадка тележного колеса

Прикрепите сбоку к ободу тележного колеса (или к шине велосипедного) цветную бумажку и наблюдайте за ней во время движения телеги (или велосипеда). Вы заметите странное явление: пока бумажка находится в нижней части катящегося колеса, она видна довольно отчетливо; в верхней же части она мелькает так быстро, что вы не успеваете ее разглядеть.

Выходит как будто, что верхняя часть колеса движется быстрее, чем нижняя. То же наблюдение можно сделать, если сравнить между собой верхние и нижние спицы катящегося колеса какого-нибудь экипажа. Будет заметно, что верхние спицы сливаются в одно сплошное целое, нижние же видимы раздельно. Дело опять-таки происходит так, словно верхняя часть колеса быстрее движется, чем нижняя.

В чем же разгадка этого странного явления? Да просто в том, что верхняя часть катящегося колеса *действительно движется быстрее, чем нижняя*. Факт представляется с первого взгляда невероятным, а между тем простое рассуждение убедит нас в этом. Ведь каждая точка катящегося колеса совершает сразу два движения: обращается вокруг оси и в то же время подвигается вперед вместе с этой осью. Происходит — как в случае земного шара — сложение двух движений, и результат для верхней и нижней частей колеса получается

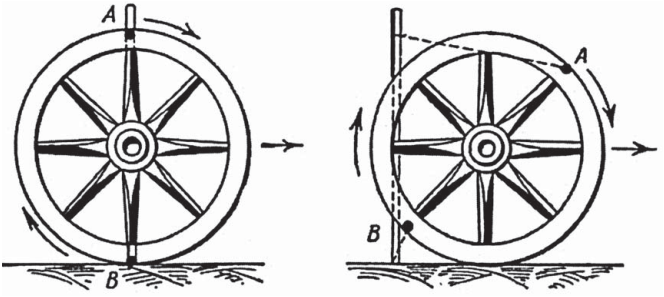


Рис. 7. Как убедиться, что верхняя часть колеса движется быстрее нижней. Сравните расстояния точек *A* и *B* откатившегося колеса (правый чертеж) от неподвижной палки

разный. Вверху вращательное движение колеса *прибавляется* к поступательному, так как оба движения направлены в одну и ту же сторону. Внизу же вращательное движение направлено в *обратную* сторону и, следовательно, *отнимается* от поступательного. Вот почему верхние части колеса перемещаются относительно неподвижного наблюдателя быстрее, чем нижние.

То, что это действительно так, легко понять на простом опыте, который следует проделать при удобном случае. Воткните в землю палку рядом с колесом стоящей телеги так, чтобы палка приходилась против оси. На ободе колеса, в самой верхней и в самой нижней его части, сделайте пометки мелом или углем; пометки придутся, следовательно, как раз против палки. Теперь откатите телегу немного вправо (рис. 7), чтобы ось отошла от палки сантиметров на 20–30, и заметьте, как переместились ваши пометки. Окажется, что верхняя пометка *A* переместилась заметно больше, нежели нижняя *B*, которая только едва отступила от палки.

Самая медленная часть колеса

Итак, не все точки движущегося колеса телеги перемещаются одинаково быстро. Какая же часть катящегося колеса движется всего медленнее?

Нетрудно сообразить, что *медленнее всех движутся те точки колеса, которые в данный момент соприкасаются с землей*. Строго говоря, в момент соприкосновения с почвой эти точки колеса совершенно неподвижны.

Все сказанное справедливо только для колеса *катящегося*, а не для такого, которое вращается на неподвижной оси. В маховом колесе, например, верхние и нижние точки обода движутся с одинаковой скоростью.

Задача не шутка

Вот еще одна не менее любопытная задача: в поезде, идущем, скажем, из Ленинграда в Москву, существуют ли точки, которые по отношению к полотну дороги движутся обратно — от Москвы к Ленинграду?

Оказывается, что в каждый момент на каждом колесе существуют такие точки. Где же они находятся?

Вы знаете, конечно, что железнодорожные колеса имеют на ободе выступающий край (реборду). И вот оказывается, что нижние точки этого края при движении поезда перемещаются вовсе не вперед, а назад!

В этом легко удостовериться, проделав такой опыт. К небольшому кружочку, например к монете или пуговице, прилепите воском спичку так, чтобы она прилегала к кружку по радиусу и далеко выступала за край. Если теперь упереть кружок (рис. 8) в край линейки в точке *C* и начать катить его справа налево, то точки *F*, *E* и *D* выступающей части отодвинутся не вперед, а назад. Чем дальше точка от края кружка, тем заметнее подастся она назад при качении кружка (точка *D* перейдет в *D′*).

Точки реборды железнодорожного колеса движутся так же, как и выступающая часть спички в нашем опыте.

Вас не должно удивлять теперь, что в поезде существуют точки, которые движутся *не вперед, а назад*.

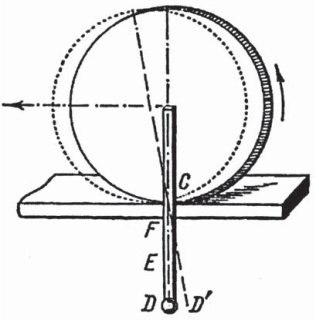


Рис. 8. Опыт с кружком и спичкой. Когда колесо откатывается налево, точки *F*, *E*, *D* выступающей части спички подвигаются в обратную сторону

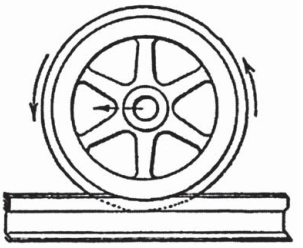


Рис. 9. Когда железнодорожное колесо катится налево, нижние части его выступающего края движутся направо, т. е. в обратную сторону

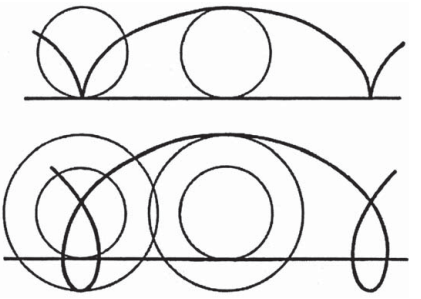


Рис. 10. Вверху изображена та кривая линия («циклоида»), которую описывает каждая точка обода катящегося колеса телеги. Внизу — кривая линия, описываемая каждой точкой выступающего края железнодорожного колеса

Правда, это движение длится лишь ничтожную долю секунды; но, как бы то ни было, обратное перемещение в движущемся поезде все же существует наперекор нашим обычным представлениям. Сказанное поясняется рис. 9 и 10.

Откуда плыла лодка?

Вообразите, что весельная лодка плывет по озеру, и пусть стрелка *a* на нашем рис. 11 изображает направление и скорость ее движения. Наперерез идет парусная лодка; стрелка *b* изображает ее направление

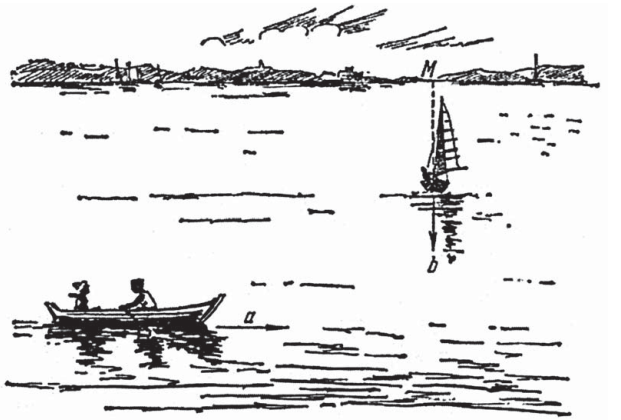


Рис. 11. Парусная лодка идет наперерез весельной. Стрелки *a* и *b* — скорости. Что увидят гребцы?

и скорость. Если вас, читатель, спросят, откуда эта лодка отчалила, вы, конечно, сразу укажете пункт *M* на берегу. Но если с тем же вопросом обратиться к пассажирам весельной лодки, они указали бы совершенно другую точку. Почему?

Происходит это оттого, что пассажиры видят лодку движущейся вовсе не под прямым углом к пути своей лодки. Они ведь не чувствуют собственного движения: им кажется, что сами они стоят на месте, а все кругом движется с их собственной скоростью, но в обратном направлении. Поэтому *для них* парусная лодка движется не только по направлению стрелки *b*, но и по направлению пунктирной линии *a*, обратно движению весельной лодки (рис. 12). Оба движения парусной лодки — действительное и кажущееся — складываются по правилу параллелограмма. В результате пассажирам шлюпки кажется, будто парусная лодка движется по диагонали параллелограмма, построенного на *b* и *a*. Вот почему пассажирам представляется, что парусная лодка отчалила от берега вовсе не в точке *M*, а в некоторой точке *N*, далеко впереди по движению весельной шлюпки.

Двигаясь вместе с Землей по ее орбите и встречая лучи звезд, мы судим о положении источников этих лучей так же неправильно, как пассажиры весельной лодки ошибочно определяют место отплытия парусной. Поэтому звезды представляются нам немного смещенными вперед по пути движения Земли. Конечно, скорость движения Земли ничтожна по сравнению со скоростью света (в 10 000 раз меньше); поэтому кажущееся смещение звезд незначительно. Но оно

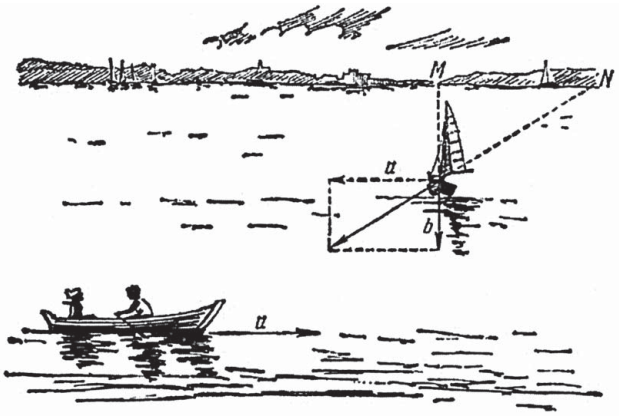


Рис. 12. Гребцам кажется, что парусная лодка идет не наперерез им, а косо — от точки *N*, а не от *M*

может быть обнаружено с помощью астрономических приборов. Явление это носит название аберрации света.

Если подобные вопросы заинтересовали вас, попробуйте, не изменяя условий нашей задачи о лодке, сказать:

1) по какому направлению движется весельная лодка для пассажиров парусной?

2) куда направляется весельная лодка, по мнению пассажиров парусной?

Чтобы ответить на эти вопросы, вам нужно на линии *a* (см. рис. 12) построить параллелограмм скоростей; диагональ его покажет, что пассажирам парусной лодки весельная кажется плывущей в косом направлении, словно собираясь причалить к берегу.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ТЯЖЕСТЬ И ВЕС. РЫЧАГ. ДАВЛЕНИЕ

Встаньте!

Если я скажу вам: «Сейчас вы сядете на стул так, что не сможете встать, хотя и не будете привязаны», вы примете это, конечно, за шутку.

Хорошо. Сядьте же так, как сидит человек, изображенный на рис. 13, т. е. держа туловище отвесно и *не пододвигая ног под сиденье стула*. А теперь попробуйте встать, не меняя положения ног и не нагибая корпуса вперед.



Рис. 13. В таком положении невозможно подняться со стула

Что, не удается? Никаким усилием мускулов не удастся вам встать со стула, пока вы не пододвинете ног под сиденье или не подадитесь корпусом вперед.

Чтобы понять, почему это так, нам придется побеседовать немного о равновесии тел вообще и человеческого в частности. Стоящий предмет не опрокидывается только тогда, когда отвесная линия, проведенная из центра тяжести, проходит внутри основания вещи. Поэтому наклонный цилиндр (рис. 14) должен непременно опрокинуться; но если бы он был настолько широк, что отвесная линия, проведенная из его центра тяжести, проходила бы в пределах его основания, цилиндр не опрокинулся бы. Так называемые «падающие башни» — в Пизе, в Болонье или хотя бы «падающая колокольня» в Архангельске (рис. 15) — не падают, несмотря на свой наклон, также



Рис. 14. Такой цилиндр должен опрокинуться, потому что отвесная линия, проведенная из центра тяжести, проходит вне основания

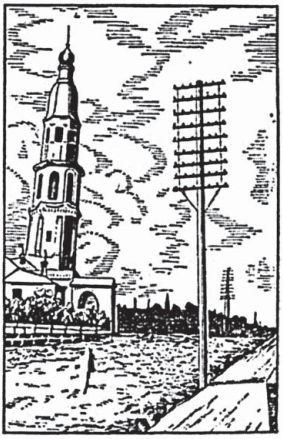


Рис. 15. «Падающая колокольня» в Архангельске (со старинной фотографии)



Рис. 16. Когда человек стоит, отвесная линия, проведенная из центра тяжести, проходит внутри площадки, ограниченной ступнями

потому, что отвесная линия из их центра тяжести не выходит за пределы основания (другая, второстепенная, причина та, что они углублены в землю своими фундаментами).

Стоящий человек не падает только до тех пор, пока отвесная линия из центра тяжести находится внутри площадки, ограниченной краями его ступней (рис. 16). Поэтому так трудно стоять на одной ноге; еще труднее стоять на канате: основание очень мало и отвесная линия легко может выйти за его пределы.

Заметили ли вы, какой странной походкой отличаются старые «морские волки»? Проводя всю жизнь на качающемся судне, где отвесная линия из центра тяжести их тела ежесекундно может выйти за пределы пространства, занятого ступнями, моряки вырабатывают привычку ступать так, чтобы основание их тела (т. е. широко расставленные ноги) захватывало возможно большее пространство. Это придает морякам необходимую устойчивость на колеблющейся палубе; естественно, что та же привычка сохраняется при ходьбе по твердой земле. Можно привести и обратный пример, когда необходимость поддерживать равновесие обусловливает красоту позы. Обращали вы внимание на то, какой стройный вид имеет человек, несущий на голове груз? Всем известны изящные изваяния женских фигур с кувшином на голове. Неся на голове груз, по необходимости приходится держать голову и туловище прямо: малейшее уклонение грозит вывести центр тяжести (приподнятый в таких случаях выше обычного положения) из контура основания и тогда равновесие фигуры будет нарушено.

Теперь вернемся к опыту с вставанием сидящего человека. Центр тяжести туловища сидящего человека находится внутри тела, близ позвоночника, сантиметров на 20 выше уровня пупка. Проведите отвесную линию из этой точки вниз — она пройдет под стулом, позади

ступней. А чтобы человек мог стоять, линия эта должна проходить между ступнями.

Значит, вставая, мы должны либо податься грудью вперед, перемещая этим центр тяжести, либо же пододвинуть ноги назад, чтобы подвести опору под центр тяжести. Обычно мы так и делаем, когда встаем со стула. Но если нам не разрешают делать ни того ни другого, то встать мудрено, как вы и убеждаетесь на описанном опыте.

Ходьба и бег

То, что вы делаете десятки тысяч раз в день в течение всей жизни, должно быть вам прекрасно известно. Так принято думать, но это далеко не всегда верно. Лучший пример — ходьба и бег. Есть ли что-нибудь более нам знакомое, чем эти движения? А много ли найдется людей, которые ясно представляют себе, как, собственно, передвигаем мы свое тело при ходьбе и беге и в чем разнятся эти два рода движений? Послушаем же, что говорит о ходьбе и беге физиология*. Для большинства, я уверен, это описание будет совершенно ново.

«Предположим, что человек стоит на одной ноге, например на правой. Вообразим себе, что он приподнимает пятку, наклоняя в то же время туловище вперед**. При таком положении перпендикуляр из центра тяжести, понятно, выйдет из площади основания опоры, и человек должен упасть вперед. Но едва начинается это падение, как левая нога его, оставшаяся в воздухе, быстро подвигается вперед и становится на землю впереди перпендикуляра из центра тяжести, так что последний, т. е. перпендикуляр, попадает в площадь, образуемую линиями, которыми соединяются точки опоры обеих ног. Равновесие таким образом восстанавливается; человек ступил, сделал шаг.

Он может и остановиться в этом довольно утомительном положении. Но если хочет идти дальше, то наклоняет свое тело еще более вперед, переносит перпендикуляр из центра тяжести за пределы площади опоры и в момент угрозы падения снова выдвигает вперед

* Текст отрывка заимствован из «Лекций по зоологии» проф. Поля Бера.

** При этом идущий человек, отталкиваясь от опоры, оказывает на нее добавочное к весу давление — около 20 кг. Отсюда, между прочим, следует, что идущий человек сильнее давит на землю, чем стоящий.

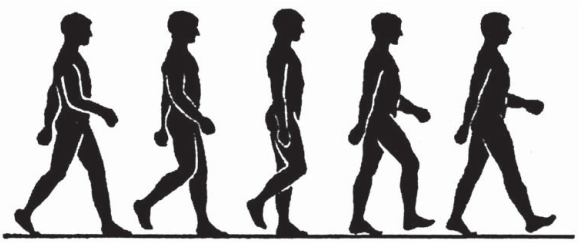


Рис. 17. Как человек ходит. Последовательные положения тела при ходьбе

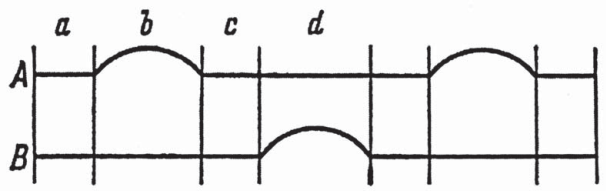


Рис. 18. Графическое изображение движений ног при ходьбе. Верхняя линия *(A)* относится к одной ноге, нижняя *(B)* — к другой. Прямые линии отвечают моментам опоры о землю, дуги — моментам движения ног без опоры. Из графика видно, что в течение промежутка времени *a* обе ноги опираются о землю; в течение *b* — нога *A* в воздухе, *B* продолжает опираться; в течение *c* — вновь обе ноги опираются о землю. Чем быстрее ходьба, тем короче становятся промежутки *a*, *c* (ср. с графиком бега, рис. 20)

ногу, но уже не левую, а правую — новый шаг, и т. д. Ходьба поэтому есть не что иное, как *ряд падений вперед*, предупреждаемых вовремя поставленной опорой ноги, остававшейся до того позади.

Рассмотрим дело несколько ближе. Предположим, что первый шаг сделан. В этот момент правая нога еще касается земли, а левая уже ступает на землю. Но если только шаг не очень короток, правая пятка должна была приподняться, так как именно это-то приподнимание пятки и позволяет телу наклониться вперед и нарушить равновесие. Левая нога ступает на землю прежде всего пяткой. Когда вслед за тем вся подошва ее становится на землю, правая нога поднимается совершенно на воздух. В то же время левая нога, несколько согнутая в колене, выпрямляется сокращением трехглавой бедренной мышцы и становится на мгновение вертикальной. Это позволяет полусогнутой правой ноге продвинуться вперед, не касаясь земли, и, следуя за движением тела, поставить на землю свою пятку как раз вовремя для следующего шага.

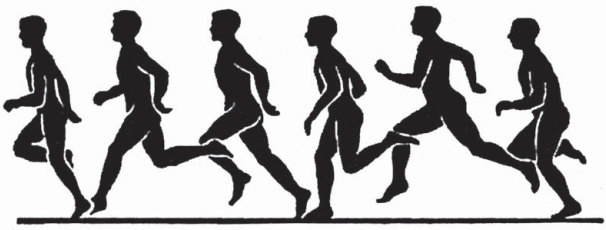


Рис. 19. Как человек бежит. Последовательные положения тела при беге (есть моменты, когда обе ноги находятся без опоры)

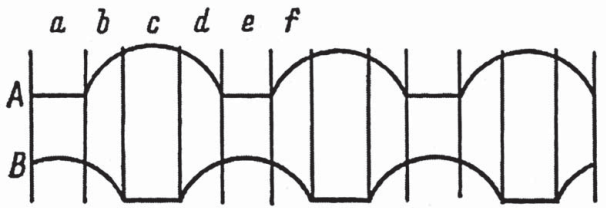


Рис. 20. Графическое изображение движения ног в беге (ср. с рис. 18). Из графика видно, что для бегущего человека существуют моменты *(b, d, f)*, когда обе ноги витают в воздухе. Этим и отличается бег от ходьбы

Подобный же ряд движений начинается затем для левой ноги, которая в это время опирается на землю только пальцами и вскоре должна подняться на воздух.

Бег отличается от ходьбы тем, что нога, стоящая на земле, внезапным сокращением ее мышц энергично вытягивается и отбрасывает тело вперед, так что последнее *на одно мгновение совсем отделяется от земли*. Затем оно снова падает на землю на другую ногу, которая, пока тело было в воздухе, быстро передвинулась вперед. Таким образом, бег состоит из ряда скачков с одной ноги на другую».

Что касается энергии, затрачиваемой человеком при ходьбе по горизонтальной дороге, то она не равна нулю, как иные думают: центр тяжести тела пешехода при каждом шаге поднимается на несколько сантиметров. Можно рассчитать, что работа при ходьбе по горизонтальному пути составляет около одной пятнадцатой доли работы поднятия тела пешехода на высоту, равную пройденному пути*.

* Расчет можно найти в брошюре проф. В. П. Горячкина «Работа живых двигателей» (1914).

Как надо прыгать из движущегося вагона?

Задав кому-нибудь этот вопрос, вы, конечно, получите ответ: «Вперед, по движению, согласно закону инерции». Попросите, однако, объяснить подробнее, при чем тут закон инерции. Можно предсказать, что при этом произойдет: ваш собеседник начнет уверенно доказывать свою мысль; но если не перебивать его, он скоро сам остановится в недоумении: выйдет, что именно вследствие инерции надо прыгать как раз наоборот — назад, против движения!

И в самом деле, закон инерции играет здесь роль второстепенную — главная причина совсем другая. И если эту главную причину забыть, то мы действительно придем к выводу, что надо прыгать назад, а никак не вперед.

Пусть вам необходимо выпрыгнуть на ходу. Что произойдет при этом?

Когда мы прыгаем из двигающегося вагона, то тело наше, отделившись от вагона, обладает скоростью вагона (оно движется по инерции) и стремится двигаться вперед. Делая прыжок вперед, мы, конечно, не только не уничтожаем этой скорости, но, наоборот, еще увеличиваем ее.

Отсюда следует, что надо было бы прыгать назад, а вовсе не вперед, по направлению движения вагона. Ведь при прыжке назад скорость, сообщаемая прыжком, отнимается от скорости, с которой наше тело движется по инерции; вследствие этого, коснувшись земли, тело наше с меньшей силой будет стремиться опрокинуться.

Однако если уж и приходится прыгать из движущегося экипажа, то все прыгают вперед, по движению. Это действительно лучший способ и настолько проверенный, что мы настойчиво предостерегаем читателей от попыток проверить неудобство прыгания назад с движущегося экипажа.

Так в чем же дело?

В неверности объяснения, в его недоговоренности. Будем ли прыгать вперед, будем ли прыгать назад, — в том и другом случае нам грозит опасность упасть, так как верхняя часть туловища будет еще двигаться, когда ноги, коснувшись земли, остановятся*. Скорость этого движения при прыжке вперед даже больше, чем при прыжке назад. Но существенно важно то, что вперед падать гораздо *безопас-*

* Можно объяснить падение в этом случае также и с иной точки зрения (см. об этом «Занимательную механику», главу третью, статью «Когда „горизонтальная“ линия не горизонтальна»).

нее, чем падать назад. В первом случае мы привычным движением выставляем ногу вперед (а при большой скорости вагона — пробегаем несколько шагов) и тем предупреждаем падение. Это движение *привычно*, так как мы всю жизнь совершаем его при ходьбе: ведь с точки зрения механики, как мы узнали из предыдущей статьи, ходьба есть не что иное, как *ряд падений нашего тела вперед, предупреждаемых выставлением ноги*. При падении же *назад* нет этого спасительного движения ног, и оттого здесь опасность гораздо больше. Наконец, важно и то, что когда мы даже в самом деле упадем вперед, то, выставив руки, расшибемся не так, как при падении на спину.

Итак, причина того, что безопаснее прыгать из вагона вперед, кроется не столько в законе инерции, сколько в нас самих. Ясно, что для предметов *неживых* правило это неприменимо: бутылка, брошенная из вагона вперед, скорее может разбиться при падении, нежели брошенная в обратном направлении. Поэтому, если вам придется почему-либо прыгать из вагона, выбросив предварительно свой багаж, следует кидать багаж *назад*, самим же прыгать *вперед*.

Люди опытные — кондукторы трамвая, контролеры — часто поступают так: прыгают *назад, обратившись спиной по направлению прыжка*. Этим достигается двоякая выгода: уменьшается скорость, приобретенная нашим телом по инерции, и, кроме того, предупреждается опасность падения на спину, так как прыгающий обращен передней стороной тела по направлению возможного падения.

Поймать боевую пулю руками

Во время империалистической войны, как сообщали газеты, с французским летчиком произошел совершенно необыкновенный случай. Летая на высоте двух километров, летчик заметил, что близ его лица движется какой-то мелкий предмет. Думая, что это насекомое, летчик проворно схватил его рукой. Представьте изумление летчика, когда оказалось, что он поймал... германскую боевую пулю!

Не правда ли, это напоминает россказни легендарного барона Мюнхаузена, будто бы ловившего пушечные ядра руками?

А между тем в сообщении о летчике, поймавшем пулю, нет ничего невозможного.

Пуля ведь не все время движется со своей начальной скоростью 800–900 м/с. Из-за сопротивления воздуха она постепенно замедляет свой полет и к концу пути — на излете — делает всего метров 40

в секунду. А такую скорость развивает и самолет. Значит, легко может случиться, что пуля и самолет будут иметь одинаковую скорость; тогда по отношению к летчику пуля будет неподвижна или будет двигаться едва заметно. Ничего не будет стоить тогда схватить ее рукой — особенно в перчатке, потому что пуля, движущаяся в воздухе, сильно разогревается.

Арбуз-бомба

Если при известных условиях пуля может стать безвредной, то возможен и обратный случай: «мирное тело», брошенное с незначительной скоростью, произведет разрушительное действие. Во время автомобильного пробега Ленинград — Тифлис (в 1924 году) крестьяне кавказских селений приветствовали проносящиеся мимо них автомобили, кидая пассажирам арбузы, дыни, яблоки. Действие этих невинных подарков оказывалось вовсе не приятным: арбузы и дыни вдавливали, сминали и ломали кузов машины, а яблоки, попав в пассажира, причиняли серьезные увечья. Причина понятна: собственная скорость автомобиля складывалась со скоростью брошенного арбуза или яблока и превращала их в опасные, разрушительные снаряды. Нетрудно рассчитать, что пуля в 10 г весом обладает такой же энергией движения, как арбуз в 4 кг, брошенный в автомобиль, который мчится со скоростью 120 км/ч. Пробивное действие арбуза при таких условиях не может, однако, сравниться с действием пули, так как арбуз не обладает ее твердостью.

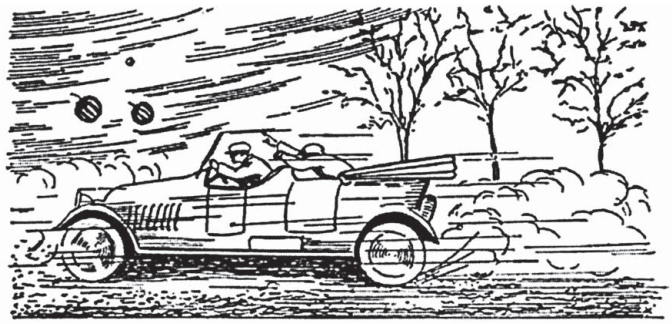


Рис. 21. Арбуз, брошенный навстречу быстро мчащемуся автомобилю, превращается в снаряд

Когда разовьется скоростная авиация в высших слоях атмосферы (в так называемой стратосфере) и самолеты будут иметь скорость около 3000 км/ч, т. е. скорость пуль, летчикам придется иметь дело с явлениями, напоминающими рассмотренное сейчас. А именно каждый предмет, попадающийся на пути такого сверхбыстроходного самолета, превратится для него в разрушительный снаряд. Наткнуться на горсть пуль, просто уроненных с другого самолета, даже не летящего навстречу, будет все равно что подвергаться обстрелу из пулемета: падающие пули ударятся об аэроплан с такой же силой, с какой вонзились бы в эту машину пули из пулемета. Так как относительные скорости в обоих случаях одинаковы (самолет и пуля сближаются со скоростью около 800 м/с), то разрушительные последствия столкновений будут одинаковы.

Наоборот, если пуля летит вслед аэроплану, несущемуся с равной скоростью, то для летчика она, как мы уже знаем, безвредна. Тем, что тела, движущиеся с почти одинаковой скоростью в одном направлении, приходят в соприкосновение без удара, искусно воспользовался в 1935 году машинист Борщев, приняв движущийся состав из 36 вагонов на свой поезд без удара и тем предотвратив железнодорожную катастрофу. Произошло это на Южной дороге, на перегоне Ельников — Ольшанка, при следующих обстоятельствах. Впереди поезда, который вел Борщев, шел другой. За недостатком паров передний поезд остановился; его машинист с паровозом и несколькими вагонами отправился вперед, на станцию, оставив остальные 36 вагонов на пути. Вагоны, под которые не было подложено башмаков, покатились под уклон назад со скоростью 15 км/ч, грозя налететь на поезд Борщева. Заметив опасность, находчивый машинист остановил свой поезд и повел его назад, постепенно развив скорость также 15 км/ч. Благодаря такому маневру ему удалось весь 36-вагонный состав принять на свой поезд без малейшего повреждения.

Наконец, на том же принципе основан прибор, чрезвычайно облегчающий письмо в движущемся поезде. Писать в вагоне на ходу поезда трудно лишь потому, что толчки на стыках рельсов передаются бумаге и кончику пера не одновременно. Если устроить так, чтобы бумага и перо получали сотрясение в одно и то же время, они друг относительно друга будут в покое и письмо на ходу поезда не составит никакого затруднения.

Это и достигается благодаря прибору, изображенному на рис. 22. Рука с пером пристегивается к дощечке *a*, могущей передвигаться в пазах по планке *b*; последняя, в свою очередь, может перемещаться

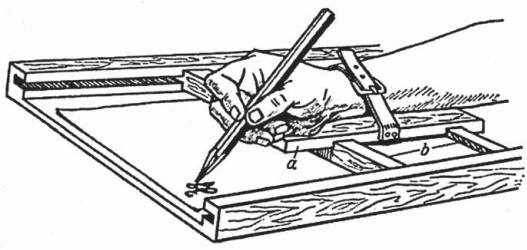


Рис. 22. Приспособление, позволяющее удобно писать в движущемся поезде

в пазах дощечки, лежащей на столике в вагоне. Рука, как видим, достаточно подвижна, чтобы писать букву за буквой, строку за строкой; вместе с тем каждый толчок, получаемый бумагой на дощечке, в тот же самый момент и с такой же силой передается руке, держащей перо. При таких условиях письмо на ходу поезда становится столь же удобным, как и в неподвижном вагоне; мешает лишь то, что взгляд скользит по бумаге рывками, так как голова и рука получают толчки не одновременно.

На платформе весов

Десятичные весы только в том случае верно показывают вес вашего тела, когда вы стоите на их платформе совершенно неподвижно. Вы нагибаетесь — и весы в момент сгибания показывают уменьшенный вес. Почему? Потому что мускулы, пригибающие верхнюю часть туловища, подтягивают в то же время нижнюю часть тела вверх, уменьшая давление, оказываемое ею на опору. Напротив, в тот момент, когда вы прекращаете нагибание туловища усилием мышц, расталкивающих обе части тела врозь, весы показывают заметно увеличенный вес соответственно усиленному давлению нижней части тела на платформу.

Даже поднятие руки должно вызвать колебание чувствительных весов, соответствующее небольшому увеличению кажущегося веса вашего тела. Мускулы, поднимающие руку вверх, опираются на плечо и, следовательно, отталкивают его вместе с туловищем вниз: давление на платформу возрастает. Останавливая поднимаемую руку, мы приводим в действие противоположные мышцы, которые подтягивают плечо вверх, стремясь сблизить его с концом руки, — и вес тела, его давление на опору, уменьшается.

Наоборот, опуская руку вниз, мы во время этого движения вызываем уменьшение веса своего тела, а в момент остановки руки — увеличение веса. Словом, действием внутренних сил мы можем увеличивать или уменьшать вес нашего тела, разумея под весом давление на опору.

Где вещи тяжелее?

Сила, с какой тела́ притягиваются земным шаром, убывает по мере возвышения над земной поверхностью. Если бы мы подняли килограммовую гирю на высоту 6400 км, т. е. удалили ее от центра земного шара на два его радиуса, то сила притяжения ослабела бы в 2^2, т. е. в 4 раза, и гиря на пружинном безмене вытянула бы всего 250 г вместо 1000 г. Согласно закону тяготения земной шар притягивает внешние тела так, как если бы вся его масса сосредоточена была в центре, а сила этого притяжения убывает обратно квадрату расстояния. В нашем случае расстояние гири от центра Земли удвоилось, и оттого притяжение ослабело в 2^2, т. е. вчетверо. Удалив гирю на 12 800 км от земной поверхности, т. е. на тройное расстояние от центра Земли, мы ослабили бы притяжение в 3^2, т. е. в 9 раз; 1000-граммовая гиря весила бы тогда всего 111 г, и т. д.

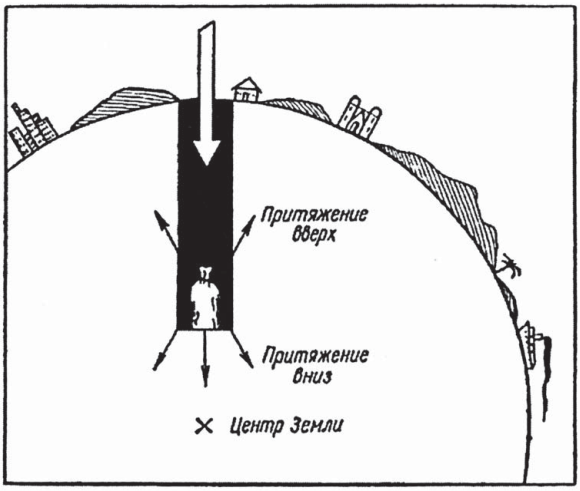


Рис. 23. Почему с углублением в Землю сила тяжести ослабевает

Естественно, рождается мысль, что, углубляясь с гирей в недра Земли, т. е. приближая тело к центру нашей планеты, мы должны наблюдать усиление притяжения: гиря в глубине Земли должна весить больше. Эта догадка неверна: с углублением в Землю тела не увеличиваются в весе, а, напротив, уменьшаются. Объясняется это тем, что в таком случае притягивающие частицы Земли расположены уже не по одну сторону тела, а по разные его стороны. Взгляните на рис. 23. Вы видите, что гиря, помещенная в глубине Земли, притягивается вниз частицами, расположенными ниже гири, но в то же время притягивается вверх теми частицами, которые лежат выше ее. Можно доказать, что в конечном итоге имеет значение притягивающее действие только шара, радиус которого равен расстоянию от центра Земли до местонахождения тела. Поэтому вес тела по мере углубления в Землю должен быстро уменьшаться. Достигнув центра Земли, тело совсем утратит вес, сделается невесомым, так как окружающие частицы влекут его там во все стороны с одинаковой силой.

Итак, всего больше тело весит на самой поверхности Земли; с удалением от нее ввысь или вглубь вес его уменьшается*.

Сколько весит тело, когда оно падает?

Заметили ли вы, какое странное ощущение испытываете вы в тот момент, когда начинаете опускаться на лифте? Ненормальная легкость, вроде той, какую испытывает человек, летящий в пропасть... Это — не что иное, как *ощущение невесомости*: в первый момент движения, когда пол под вашими ногами уже опускается, а вы сами не успели еще приобрести той же скорости, тело ваше почти не давит на пол и, следовательно, весьма мало весит. Проходит мгновение, и странное ощущение прекращается; ваше тело, стремясь падать быстрее, чем равномерно движущийся лифт, давит на его пол и, значит, снова приобретает свой полный вес.

Привесьте гирю к крючку пружинных весов и следите, куда двинется указатель, если весы с гирей быстро опустить вниз (для удобства поместите кусочек пробки в прорезь весов и заметьте изменение его положения). Вы убедитесь, что во время падения указатель

* Так происходило бы, если бы земной шар был вполне однороден по плотности; в действительности плотность Земли возрастает с приближением к центру; поэтому сила тяжести при углублении в Землю сначала, на некотором расстоянии, растет и лишь затем начинает ослабевать.

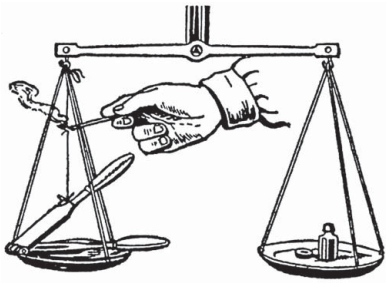


Рис. 24. Опыт, иллюстрирующий невесомость падающего тела

показывает не полный вес гири, а гораздо меньше! Если бы весы падали свободно и вы имели возможность во время падения следить за их указателем, вы заметили бы, что гиря при падении вовсе ничего не весит: указатель находится у нуля.

Самое тяжелое тело становится совершенно невесомым в течение всего того времени, пока оно падает. Легко понять, почему это так. «Весом» тела мы называем силу, с которой тело тянет точку подвеса или давит на свою опору. Но *падающее* тело не производит никакого натяжения пружины весов, так как пружина опускается вместе с ним. Пока тело падает, оно ничего не натягивает и ни на что не напирает. Следовательно, спрашивать о том, сколько весит тело, когда оно падает, все равно что спрашивать: сколько тело весит, когда оно не весит?

Еще основатель механики, Галилей, в XVII веке писал*: «Мы ощущаем груз на наших плечах, когда стараемся мешать его падению. Но если станем двигаться вниз с такой же скоростью, как и груз, лежащий на нашей спине, то как же может он давить и обременять нас? Это подобно тому, как если бы мы захотели поразить копьем** кого-либо, кто бежит впереди нас с такой же скоростью, с какой движемся и мы».

Следующий легко исполнимый опыт наглядно подтверждает правильность этих рассуждений.

На одну чашку торговых весов положите щипцы для раскалывания орехов так, чтобы одно колено их покоилось на чашке, другое же привяжите за конец ниткой к крючку коромысла (рис. 24). На

* В «Математических доказательствах, касающихся двух отраслей новой науки». В 1934 г. вышел полный русский перевод этого замечательного сочинения.

** Не выпуская его из рук.

другую чашку поместите столько груза, чтобы весы были в равновесии. Поднесите к нитке зажженную спичку; нитка перегорит, и верхнее колено щипцов упадет на чашку.

Что же произойдет в этот момент с весами? Опустится ли чашка с щипцами в то время, пока колено еще падает, поднимется она или останется в равновесии?

Теперь, когда вы знаете уже, что падающее тело не имеет веса, вы можете заранее дать правильный ответ на этот вопрос: чашка должна подняться на мгновение *вверх*.

В самом деле, верхнее колено щипцов, падая, хотя и остается в соединении с нижним, все же давит на него меньше, чем в неподвижном состоянии. Вес щипцов на мгновение уменьшается, и чашка, естественно, поднимается вверх.

Из пушки на Луну

В 1865–1870 годах появился во Франции фантастический роман Жюля Верна «Из пушки на Луну», в котором высказана необычайная мысль — послать на Луну исполинский пушечный снаряд-вагон с живыми людьми! Жюль Верн представил свой проект в столь правдоподобном виде, что у большинства читателей, наверное, возникал вопрос: нельзя ли в самом деле осуществить эту мысль? Об этом интересно побеседовать.

Сначала рассмотрим, можно ли — хотя бы теоретически — выстрелить из пушки так, чтобы снаряд никогда не упал назад, на Землю. Теория допускает такую возможность. В самом деле, почему снаряд, горизонтально выброшенный пушкой, в конце концов падает на Землю? Потому что Земля, притягивая снаряд, искривляет его путь: он летит не по прямой линии, а по кривой, направленной к Земле, и поэтому рано или поздно встречается с почвой. Земная поверхность, правда, тоже искривлена, но путь снаряда изгибается гораздо круче. Если же кривизну пути снаряда ослабить и сделать ее одинаковой с искривлением поверхности земного шара, то такой снаряд никогда не сможет упасть на Землю! Он будет двигаться по кривой, концентрической с окружностью земного шара; другими словами, сделается его спутником, как бы второй Луной.

Но как добиться, чтобы снаряд, выброшенный пушкой, шел по пути, менее искривленному, чем земная поверхность? Для этого необходимо только сообщить ему достаточную скорость. Обратите вни-

мание на рис. 25, изображающий разрез части земного шара.

На горе, высотой которой будем пренебрегать, в точке *A* стоит пушка. Снаряд, горизонтально выброшенный ею, был бы через секунду в точке *B*, если бы не существовало притяжения Земли. Но притяжение меняет дело, и под действием этой силы снаряд через секунду окажется не в точке *B*, а на 5 м ниже, в точке *C*. Пять метров — это путь, проходимый (в пустоте) каждым свободно падающим телом в первую секунду под действием силы тяжести близ поверхности Земли. Если, опустившись на эти 5 м, снаряд наш окажется над уровнем Земли ровно на столько же, на сколько был он в точке *A*, то, значит, он движется по кривой, концентрической с окружностью земного шара.

Остается вычислить отрезок *AB*, т. е. тот путь, который проходит снаряд в секунду по горизонтальному направлению; мы узнаем тогда, с какой секундной скоростью нужно для нашей цели выбросить снаряд из жерла пушки. Вычислить это нетрудно из треугольника *AOB*, в котором *OA* — радиус земного шара (около 6 370 000 м); *OC* = *OA*, *BC* = 5 м; следовательно, *OB* = 6 370 005 м. Отсюда по теореме Пифагора имеем:

$$(AB)^2 = (6\,370\,005)^2 - (6\,370\,000)^2.$$

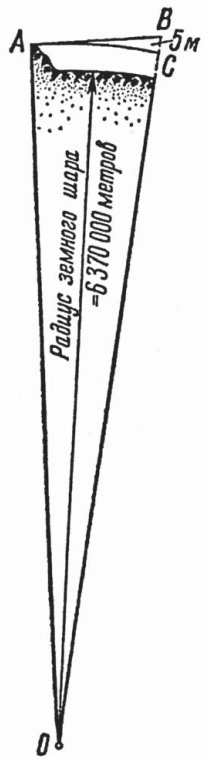


Рис. 25. Вычисление скорости снаряда, который должен навсегда покинуть Землю

Сделав вычисление, находим, что путь *AB* равен примерно 8 км.

Итак, если бы не было воздуха, который сильно мешает быстрому движению, снаряд, выброшенный горизонтально из пушки со скоростью 8 км/с, *никогда не упал бы на Землю*, а вечно кружился бы вокруг нее, подобно спутнику.

А если выбросить снаряд из пушки с еще большей скоростью, — куда полетит он? В небесной механике доказывается, что при скорости в 8, 9, даже 10 км/с снаряд, вылетев из жерла пушки, должен описывать вокруг земного шара эллипс тем более вытянутый, чем больше начальная скорость. При скорости же снаряда 11,2 км/с он вместо эллипса опишет уже незамкнутую кривую — параболу, навсегда удаляясь от Земли (рис. 26).



Рис. 26. Судьба пушечного снаряда, выпущенного с начальной скоростью 8 км/с и более

Мы видим, следовательно, что *теоретически* мыслимо полететь на Луну внутри снаряда, выброшенного с достаточно большой скоростью*.

(Предыдущее рассуждение имело в виду атмосферу, не препятствующую движению снарядов. В реальных условиях наличие сопротивляющейся атмосферы чрезвычайно затруднило бы получение таких высоких скоростей, а быть может, сделало бы их совершенно недостижимыми.)

Как Жюль Верн описал путешествие на Луну и как оно должно было бы происходить

Кто читал упомянутый сейчас роман Жюля Верна, тому памятен интересный момент путешествия, когда снаряд пролетел через точку, где притяжение Земли и Луны одинаково. Здесь произошло нечто поистине сказочное: все предметы внутри снаряда утратили свой вес, а сами путешественники, подпрыгнув, повисли в воздухе без опоры.

Описано это совершенно верно, но романист упустил из виду, что то же самое должно было наблюдаться также и до и после перелета через точку равного притяжения. Легко показать, что путешественники и все предметы внутри снаряда должны стать невесомыми с *первого же момента свободного полета*.

* Тут могут представиться, однако, затруднения совсем особого рода. Подробнее вопрос этот рассматривается в книге «Физические головоломки», а также в другой моей книге — «Межпланетные путешествия».

Это кажется невероятным, но, я уверен, вы сейчас будете удивляться тому, что сами не заметили ранее столь крупного упущения.

Возьмем пример из романа Жюля Верна. Без сомнения, вы не забыли, как пассажиры выбросили наружу труп собаки и как они с изумлением заметили, что он вовсе не падает на Землю, а продолжает нестись вперед вместе со снарядом. Романист правильно описал это явление и дал ему верное объяснение. Действительно, в пустоте, как известно, все тела падают с одинаковой скоростью: притяжение Земли сообщает всем телам одинаковое ускорение. В данном случае и снаряд, и труп собаки должны были под действием земного притяжения приобрести одинаковую скорость падения (одинаковое ускорение); вернее, та скорость, которая сообщена была им при вылете из пушки, должна была под действием тяжести уменьшаться одинаково. Следовательно, скорости снаряда и трупа во всех точках пути должны оставаться равными, поэтому труп собаки, выброшенный из снаряда, продолжал следовать за ним, нисколько не отставая.

Но вот о чем не подумал романист: если труп собаки не падает к Земле, находясь *вне* снаряда, то почему будет он падать, находясь *внутри* его? Ведь и там и тут действуют одинаковые силы! Тело собаки, помещенное без опоры внутри снаряда, должно оставаться висящим в пространстве, оно имеет совершенно ту же скорость, что и снаряд, и, значит, *по отношению к нему* остается в покое.

Что верно для трупа собаки, то верно и для тел пассажиров и вообще для всех предметов внутри снаряда: в каждой точке пути они имеют такую же скорость, как и сам снаряд, и, следовательно, не должны падать, даже если остаются без опоры. Стул, стоящий на полу летящего снаряда, можно поместить вверх ножками у потолка, и он не упадет «вниз», потому что будет продолжать нестись вперед вместе с потолком. Пассажир может усесться вниз головой на этот стул и оставаться на нем, не испытывая ни малейшего стремления падать на пол снаряда. Какая сила может заставить его упасть? Ведь если бы он упал, т. е. приблизился к полу, то это значило бы, собственно говоря, что снаряд мчится в пространстве с большей скоростью, чем пассажир (иначе стул не приблизился бы к полу). А между тем это невозможно: мы знаем, что все предметы внутри снаряда имеют то же ускорение, как и сам снаряд.

Этого романист не заметил: он думал, что предметы внутри свободно несущегося снаряда, находящегося под действием одних лишь сил притяжения, будут продолжать давить на свои опоры, как давили

тогда, когда снаряд был неподвижен. Жюль Верн упустил из виду, что если и тело, и опора движутся в пространстве с одинаковым ускорением, сообщаемым действием сил притяжения (другие внешние силы — сила тяги, сила сопротивления воздуха — отсутствуют), то давить друг на друга они не могут.

Итак, с того момента путешествия, когда на снаряд перестали действовать газы, пассажиры не имели никакого веса и могли свободно витать в воздухе внутри снаряда; точно так же и все предметы в нем должны были казаться совершенно невесомыми. По этому признаку пассажиры легко могли определить, мчатся ли они в пространстве или продолжают неподвижно оставаться в пушке. Между тем романист рассказывает, как в первые полчаса своего небесного путешествия пассажиры тщетно ломали голову над вопросом: летят ли они или нет?

«— Николь, движемся ли мы?

Николь и Ардан переглянулись: они не чувствовали колебаний снаряда.

— Действительно! Движемся ли мы? — повторил Ардан.

— Или спокойно лежим на почве Флориды? — спросил Николь.

— Или на дне Мексиканского залива? — прибавил Мишель».

Такие сомнения возможны у пассажиров парохода, но немыслимы у пассажиров свободно несущегося снаряда: первые сохраняют свой вес, вторые же не могут не заметить, что сделались совершенно невесомыми.

Странное явление должен был представлять собой этот фантастический вагон-снаряд! Крошечный мир, где тела лишены веса, где, выпущенные из рук, они спокойно остаются на месте, где предметы сохраняют равновесие во всяком положении, где вода не выливается из опрокинутой бутылки... Все это упустил из виду автор «Путешествия на Луну», а между тем какой простор могли бы дать фантазии романиста эти изумительные возможности!

Верно взвесить на неверных весах

Что важнее для правильного взвешивания: весы или гири?

Вы ошибаетесь, если думаете, что одинаково важно и то и другое: можно правильно взвесить и не имея верных весов, когда под рукой есть верные гири. Существует несколько способов верно взвешивать на неверных весах. Рассмотрим из них два.

Первый способ предложен нам великим химиком Д. И. Менделеевым. Взвешивание начинают с того, что на одну из чашек кладут какой-нибудь груз — безразлично какой, лишь бы он был тяжелее тела, подлежащего взвешиванию. Груз этот уравновешивают гирями на другой чашке. После этого на чашку с гирями кладут взвешиваемое тело и снимают с нее столько гирь, сколько требуется, чтобы восстановить нарушенное равновесие. Вес снятых гирь, очевидно, равен весу тела; оно заменяет их теперь на одной и той же чашке и, значит, имеет одинаковый с ними вес.

Этот прием, который называют «способом постоянной нагрузки», особенно удобен, когда приходится отвешивать одно за другим несколько тел: первоначальная нагрузка остается и ею пользуются для всех отвешиваний.

Другой прием, названный по имени предложившего его ученого «способом Борда», выполняется так. Поместите предмет, подлежащий взвешиванию, на одну чашку весов, а на другую насыпайте песок или дробь до тех пор, пока весы не придут в равновесие. Затем, сняв с чашки взвешиваемый предмет (песок не трогайте), кладите на нее гири до тех пор, пока весы снова не уравновесятся. Ясно, что теперь вес гирь равен весу замененного ими предмета. Отсюда другое название способа — «взвешивание заменой».

Для пружинных весов, имеющих только одну чашку, также применим этот простой прием, если у вас, кроме того, есть верные гири. Здесь нет надобности запасаться песком или дробью. Положите взвешиваемую вещь на чашку и заметьте, у какого деления остановится указатель. Затем, сняв вещь, поставьте на чашку столько гирь, сколько нужно, чтобы указатель остановился у прежнего деления. Вес этих гирь, очевидно, должен равняться весу замененной ими вещи.

Сильнее самого себя

Какой груз вы можете поднять рукой? Положим, что 10 кг. Вы думаете, что эти 10 кг определяют силу мускулов вашей руки? Ошибаетесь: мускулы гораздо сильнее! Проследите за действием, например, так называемой двуглавой мышцы вашей руки (рис. 27). Она прикреплена близ точки опоры рычага, каким является кость предплечья, а груз действует на другой конец этого живого рычага. Расстояние от груза до точки опоры, т. е. до сустава, почти в 8 раз больше,

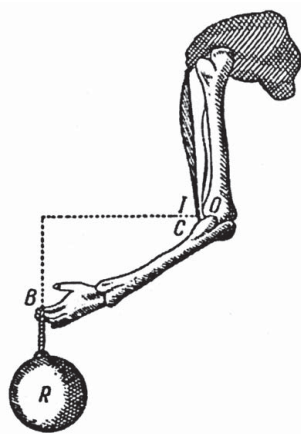


Рис. 27. Предплечье *C* человека — рычаг второго рода. Действующая сила приложена к точке *I*; опора рычага находится в точке *O* сочленения; преодолеваемое же сопротивление (груз *R)* приложено в точке *B*. Расстояние *BO* больше расстояния *IO* приблизительно в 8 раз. (Рисунок взят из старинного сочинения Борелли, флорентийского ученого XVII века, «О движении животных», где законы механики впервые прилагаются к физиологии)

чем расстояние от конца мышцы до опоры. Значит, если груз составляет 10 кг, то мускул тянет с силой, в 8 раз большей. Развивая силу в 8 раз бóльшую, чем наша рука, мускул мог бы непосредственно поднять не 10 кг, а 80 кг.

Мы вправе без преувеличения сказать, что каждый человек гораздо сильнее самого себя, т. е. что наши мускулы развивают силу, значительно бóльшую той, которая проявляется в наших действиях.

Целесообразно ли такое устройство? На первый взгляд как будто нет — мы видим здесь потерю силы, ничем не вознаграждаемую. Однако вспомним старинное «золотое правило» механики: что теряется в силе, выигрывается в перемещении. Тут и происходит выигрыш в скорости: наши руки движутся в 8 раз быстрее, чем управляющие ими мышцы. Тот способ прикрепления мускулов, который мы видим в теле животных, обеспечивает конечностям проворство движений, более важное в борьбе за существование, нежели сила. Мы были бы крайне медлительными существами, если бы наши руки и ноги не были устроены по этому принципу.

Почему заостренные предметы колючи?

Задумывались ли вы над вопросом: отчего игла так легко пронизывает предмет насквозь? Отчего сукно или картон легко проткнуть тонкой иглой и трудно пробить тупым гвоздем? В обоих случаях действует, казалось бы, одинаковая сила.

Сила одинакова, но *давление* все же не одинаково. В первом случае вся сила сосредоточивается на острие иглы; во втором — та же сила распределяется на большую площадь конца гвоздя; следовательно, давление иглы гораздо бóльше, нежели давление тупого стержня при одном и том же усилии наших рук.

Каждый скажет, что борона с 20 зубьями глубже разрыхлит землю, чем борона того же веса, но с 60 зубьями. Почему? Потому что *нагрузка на каждый зуб* в первом случае больше, чем во втором.

Когда речь идет о давлении, всегда необходимо, кроме силы, принимать во внимание также и площадь, на которую эта сила действует. Когда нам говорят, что кто-либо получает 1000 рублей зарплаты, то мы не знаем еще, много это или мало: нужно знать — в год или в месяц? Точно так же и действие силы зависит от того, распределяется ли она на квадратный сантиметр или сосредоточивается на сотой доле квадратного миллиметра.

Человек на лыжах ходит по рыхлому снегу, а без лыж проваливается. Почему? Потому что в первом случае давление его тела распределяется на гораздо бóльшую поверхность, чем во втором. Если поверхность лыж, например, в 20 раз больше поверхности наших подошв, то на лыжах мы давим на снег в 20 раз слабее, чем стоя на снегу прямо ногами. Рыхлый снег выдерживает первое давление, но не выдерживает второго.

По той же причине лошадям, работающим на болоте, подвязывают особые «башмаки» к копытам, чтобы увеличить площадь опоры ног и тем уменьшить давление на болотистую почву: ноги лошадей при этом не увязают в болоте. Так же поступают и люди в некоторых болотистых местностях.

По тонкому льду люди передвигаются ползком, чтобы распределить вес своего тела на бóльшую площадь.

Наконец, характерная особенность танков и гусеничных тракторов не увязать в рыхлом грунте, несмотря на свой значительный вес, объясняется опять-таки распределением веса на большую поверхность опоры. Гусеничная машина весом 8 и более тонн оказывает на 1 см^2 грунта давление не более 600 г. С этой точки зрения интересен автомобиль на гусеничном ходу для перевозки грузов на болотах. Такой грузовик, везущий 2 тонны груза, оказывает на грунт давление всего 160 г на 1 см^2; благодаря этому он хорошо ходит на торфяном болоте и по топким или песчаным местностям.

В этом случае большая площадь опоры так же выгодна технически, как малая площадь в случае иглы.

Из сказанного ясно, что острие прокалывает лишь благодаря незначительности площади, по которой распределяется действие силы. Совершенно по той же причине острый нож лучше режет, нежели тупой: сила сосредоточивается на меньшем пространстве.

Итак, заостренные предметы оттого хорошо колют и режут, что на их остриях и лезвиях сосредоточивается большое давление.

Наподобие Левиафана

Почему на простом табурете сидеть жестко, в то время как на стуле, тоже деревянном, нисколько не жестко? Почему мягко лежать в веревочном гамаке, который сплетен из довольно твердых шнурков? Почему не жестко лежать на проволочной сетке, устраиваемой в кроватях взамен пружинных матрасов?

Нетрудно догадаться. Сиденье простого табурета плоско; наше тело соприкасается с ним лишь по небольшой поверхности, на которой и сосредоточивается вся тяжесть туловища. У стула же сиденье вогнутое; оно соприкасается с телом по большей поверхности; по этой поверхности и распределяется вес туловища: на единицу поверхности приходится меньший груз, меньшее давление.

Итак, все дело здесь в более равномерном распределении давления. Когда мы нежимся на мягкой постели, в ней образуются углубления, соответствующие неровностям нашего тела. Давление распределяется здесь по нижней поверхности тела довольно равномерно, так что на каждый квадратный сантиметр приходится всего несколько граммов. Неудивительно, что в этих условиях мы чувствуем себя хорошо.

Легко выразить это различие и в числах. Поверхность тела взрослого человека составляет около 2 м^2, или 20 000 см^2. Допустим, что, когда мы лежим в постели, с ней соприкасается, опираясь на нее, приблизительно $^1/_4$ всей поверхности нашего тела, т. е. 0,5 м^2, или 5000 см^2. Вес же нашего тела — около 60 кг (в среднем), или 60 000 г. Значит, на каждый квадратный сантиметр приходится всего 12 г. Когда же мы лежим на голых досках, то соприкасаемся с опорной плоскостью лишь в немногих маленьких участках, общей площадью в какую-нибудь сотню квадратных сантиметров. На каждый квадратный сантиметр приходится, следовательно, давление в полкилограмма, а не в десяток граммов. Разница заметная, и мы сразу ощущаем ее на своем теле, говоря, что нам «очень жестко».

Но даже на самом твердом ложе нам может быть вовсе не жестко, если давление распределяется равномерно на большую поверхность. Вообразите, что вы легли на мягкую глину и в ней отпечатались формы вашего тела. Покинув глину, оставьте ее сохнуть (высыхая, глина «садится» на 5–10 %, но предположим, что этого не происходит). Когда она сделается твердой как камень, сохранив оставленные вашим телом вдавленности, лягте на нее опять, заполнив собой эту каменную форму. Вы почувствуете себя как на нежном пуховике, не ощу-

щая жесткости, хотя лежите буквально на камне. Вы уподобитесь легендарному Левиафану, о котором читаем в стихотворении Ломоносова:

На острых камнях возлегает
И твердость оных презирает
Для крепости великих сил,
Считая их за мягкий ил.

Но причина нашей нечувствительности к жесткости ложа будет не «крепость великих сил», а распределение веса тела на весьма большую опорную поверхность.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

СОПРОТИВЛЕНИЕ СРЕДЫ

Пуля и воздух

Что воздух мешает полету пули, знают все, но лишь немногие представляют себе ясно, насколько велико это тормозящее действие воздуха. Большинство людей склонно думать, что такая нежная среда, как воздух, которого мы обычно даже и не чувствуем, не может сколько-нибудь заметно мешать стремительному полету ружейной пули.

Но взгляните на рис. 28, и вы поймете, что воздух является для пули препятствием чрезвычайно серьезным. Большая дуга на этом чертеже изображает путь, который пролетела бы пуля, если бы не существовало атмосферы. Покинув ствол ружья (под углом 45°, с начальной скоростью 620 м/с), пуля описала бы огромную дугу в 10 км высотой; дальность полета пули составила бы почти 40 км. В действительности же пуля при указанных условиях описывает сравнительно небольшую дугу и дальность ее полета составляет 4 км. Изображенная на том же чертеже дуга эта почти незаметна рядом с первой; таков результат противодействия воздуха! Не будь воздуха, из винтовки можно было бы обстреливать неприятеля с расстояния 40 км, взметая свинцовый дождь на высоту 10 км!

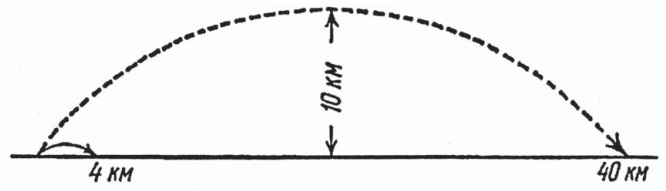


Рис. 28. Полет пули в пустоте и в воздухе. Большая дуга изображает путь, какой описала бы пуля, если бы не существовало атмосферы. Маленькая дуга слева — действительный путь пули в воздухе

Сверхдальняя стрельба

Обстреливать противника с расстояния в сотню и более километров впервые начала германская артиллерия к концу империалистической войны (1918 г.), когда успехи французской и английской авиации положили конец воздушным налетам немцев. Германский штаб избрал другой, артиллерийский, способ поражать столицу Франции, удаленную от фронта не менее чем на 110 км.

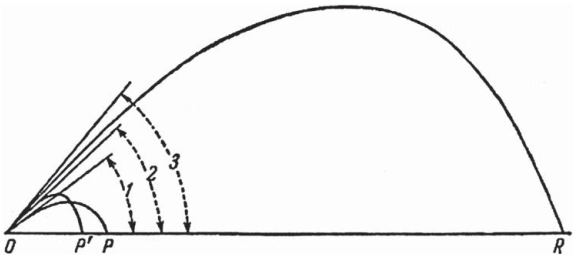


Рис. 29. Как изменяется дальность полета снаряда с изменением угла наклона сверхдальнобойного орудия; при угле *1* снаряд падает в *P*, при угле *2* — в *P'*, при угле же *3* дальность стрельбы сразу возрастает во много раз, так как снаряд залетает в слои разреженной атмосферы

Способ этот был совершенно новый, никем еще не испытанный. Наткнулись на него немецкие артиллеристы случайно. При стрельбе из крупнокалиберной пушки под большим углом возвышения неожиданно обнаружилось, что вместо дальности в 20 км достигается дальность в 40 км. Оказалось, что снаряд, посланный круто вверх с большой начальной скоростью, достигает тех высоких разреженных слоев атмосферы, где сопротивление воздуха весьма незначительно; в такой слабо сопротивляющейся среде снаряд пролетает значительную часть своего пути и затем круто опускается на землю. Рис. 29 наглядно показывает, как велико различие в путях снарядов при изменении угла возвышения.

Это наблюдение и положено было немцами в основу проекта сверхдальнобойной пушки для обстрела Парижа с расстояния 115 км. Пушка была успешно изготовлена и в течение лета 1918 г. выпустила по Парижу свыше трехсот снарядов.

Вот что стало известно об этой пушке впоследствии. Это была огромная стальная труба в 34 м длиной и в целый метр толщиной; толщина стенок в казенной части 40 см. Весило орудие 750 тонн. Его 120-килограммовые снаряды имели метр в длину и 21 см в толщину.

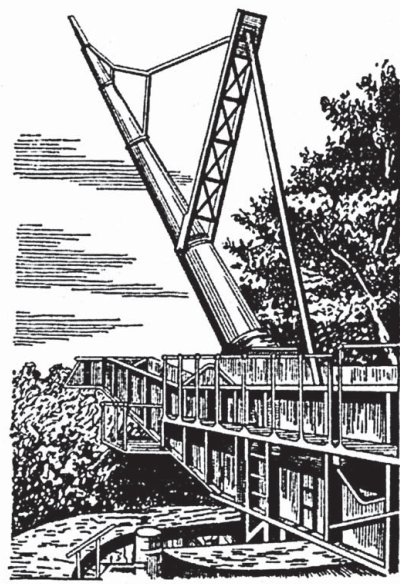


Рис. 30. Немецкая пушка «Колоссаль». Внешний вид

Для заряда употреблялось 150 кг пороха; развивалось давление в 5000 атмосфер, которое и выбрасывало снаряд с начальной скоростью 2000 м/с. Стрельба велась под углом возвышения 52°; снаряд описывал огромную дугу, высшая точка которой лежала на уровне 40 км над землей, т. е. далеко в стратосфере. Свой путь от позиции до Парижа — 115 км — снаряд проделывал в 3,5 минуты, из которых 2 минуты он летел в стратосфере.

Такова была первая сверхдальнобойная пушка, прародительница современной сверхдальнобойной артиллерии.

Чем больше начальная скорость пули (или снаряда), тем сопротивление воздуха значительнее: оно возрастает не пропорционально скорости, а быстрее, пропорционально второй и более высокой степени скорости, в зависимости от величины этой скорости.

Почему взлетает бумажный змей?

Пытались ли вы объяснить себе, почему бумажный змей взлетает вверх, когда его тянут за бечевку вперед?

Если вы сможете ответить на этот вопрос, вы поймете также, почему летит аэроплан, почему носятся по воздуху семена клена и даже отчасти уясните себе причины странных движений бумеранга. Все это — явления одного порядка. Тот самый воздух, который составляет столь серьезное препятствие для полета пуль и снарядов, обусловливает полет не только легкого плода клена или бумажного змея, но и тяжелого самолета с десятками пассажиров.

Чтобы объяснить поднятие бумажного змея, придется прибегнуть к упрощенному чертежу. Пусть линия *MN* (рис. 31) изображает

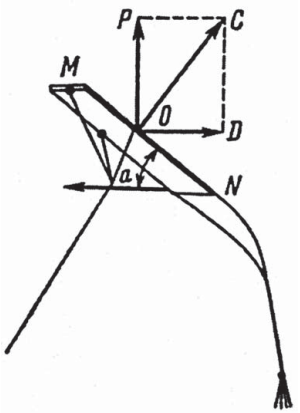


Рис. 31. Какие силы действуют на бумажного змея

у нас разрез змея. Когда, запуская змея, мы тянем его за шнур, он движется из-за тяжести хвоста в наклонном положении. Пусть это движение совершается справа налево. Обозначим угол наклона плоскости змея к горизонту через *a*. Рассмотрим, какие силы действуют на змея при этом движении. Воздух, конечно, должен мешать его движению, оказывать на змея некоторое давление. Это давление изображено на рис. 31 в виде стрелки *OC*; так как воздух давит всегда перпендикулярно к плоскости, то линия *OC* начерчена под прямым углом к *MN*. Силу *OC* можно разложить на две, построив так называемый *параллелограмм сил*; получим вместо силы *OC* две силы — *OD* и *OP*. Из них сила *OD* толкает нашего змея назад и, следовательно, уменьшает первоначальную его скорость. Другая же сила, *OP*, увлекает аппарат вверх; она уменьшает его вес и, если достаточно велика, может преодолеть вес змея и поднять его. Вот почему змей поднимается вверх, когда мы тянем его за веревочку вперед.

Самолет — тот же змей, только движущая сила нашей руки заменена в нем движущей силой пропеллера или реактивного двигателя, которая сообщает аппарату движение вперед и, следовательно, подобно змею, заставляет его подниматься вверх. Здесь дана лишь грубая схема явления; есть другие обстоятельства, обусловливающие подъем самолета; о них будет речь в другом месте.

Живые планеры

Вы видите, что самолеты устроены вовсе не наподобие птицы, как обыкновенно думают, а скорее наподобие белок-летяг, шерстокрылов или летучих рыб. Впрочем, названные животные пользуются своими летательными перепонками не для того, чтобы подниматься вверх, а лишь для того, чтобы совершать большие прыжки — «планирующие спуски», как выразился бы летчик. У них сила *OP* (см. рис. 31) недостаточна для того, чтобы вполне уравновесить груз их

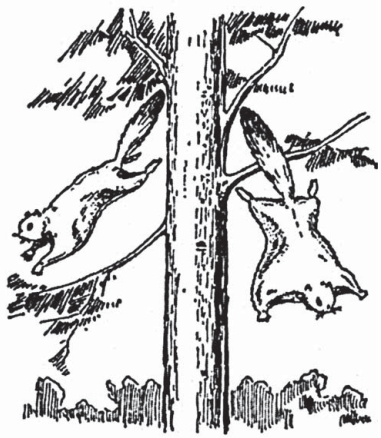


Рис. 32. Белки-летяги во время полета. Летяги делают с высоты прыжки на расстояние в 20–30 м

тела; она лишь уменьшает их вес и тем помогает совершать огромные прыжки с возвышенных пунктов (рис. 32). Белки-летяги перепрыгивают расстояния в 20–30 м с верхушки одного дерева к нижним ветвям другого. В Ост-Индии и на Цейлоне водится гораздо более крупный вид летучей белки — тагуан — величиной с нашу кошку; когда он развертывает свой «планер», его ширина достигает полуметра. Такие крупные размеры летательной перепонки позволяют животному совершать, несмотря на сравнительно большой вес, перелеты метров в 50. А шерстокрыл, который водится на Зондских и Филиппинских островах, делает прыжки длиной даже до 70 м.

Безмоторное летание у растений

Растения также нередко прибегают к услугам планеров — именно для распространения своих плодов и семян. Многие плоды и семена снабжены либо пучками волосков (хохолки одуванчика, козлобородника, хлопчатника), которые действуют наподобие парашюта, либо же поддерживающими плоскостями в форме отростков, выступов и т. п. Такие растительные планеры можно наблюдать у хвойных, кленов, вязов, березы, граба, липы, многих зонтичных и т. д.

В известной книге Кернера фон Марилауна «Жизнь растений» читаем об этом следующее:

«При безветрии в солнечные дни множество плодов и семян поднимаются вертикальным воздушным течением на значительную высоту, но после захода солнца обыкновенно снова опускаются неподалеку. Такие полеты важны не столько для распространения растений вширь, сколько для поселения на карнизах и в трещинах крутых склонов и отвесных скал, куда семена не могли бы попасть иным путем. Горизонтально же текущие воздушные массы способны переносить реющие в воздухе плоды и семена на весьма большие расстояния.

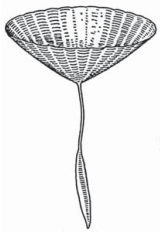


Рис. 33. Плод козлобородника

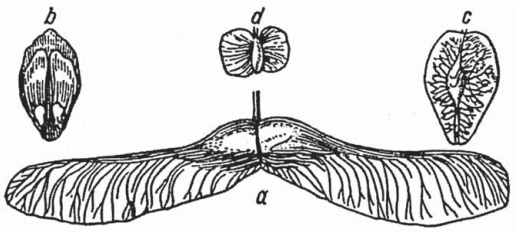


Рис. 34. Летучие семена растений: *a* — крылатка клена, *b* — сосны, *c* — карагача, *d* — березы

У некоторых растений крылья и парашюты остаются в соединении с семенами только на время полета. Семянки татарника спокойно плывут по воздуху, но, как только встретят препятствие, семя отделяется от парашюта и падает на землю. Этим объясняется столь частое произрастание татарника вдоль стен и заборов. В других случаях семя остается все время соединенным с парашютом».

На рис. 33 и 34 изображены некоторые плоды и семена, снабженные «планерами».

Растительные планеры во многих отношениях даже совершеннее человеческих. Они поднимают сравнительно со своим собственным весом гораздо больший груз. Кроме того, этот растительный самолет отличается автоматической устойчивостью: если семечко индийского жасмина перевернуть, оно само повернется обратно выпуклой стороной вниз; если при полете семя встречает преграду, оно не теряет равновесия, не падает, а плавно опускается вниз.

Затяжной прыжок парашютиста

Здесь приходят на память героические прыжки наших мастеров парашютного спорта, выбрасывавшихся на высоте около 10 км, не раскрывая парашюта. Лишь пролетев значительную часть пути, они дергали за кольцо парашюта и последние сотни метров опускались, паря на своих зонтах.

Многие думают, что, падая «камнем», не раскрывая парашюта, человек летит вниз, как в пустом пространстве. Если бы было так, если бы человеческое тело падало в воздухе, как в пустоте, — затяжной прыжок длился бы гораздо меньше, чем в действительности, а развиваемая к концу скорость была бы огромна.

Однако сопротивление воздуха препятствует нарастанию скорости. Скорость тела парашютиста во время затяжного прыжка растет только в течение первого десятка секунд, на протяжении первых сотен метров. Сопротивление воздуха возрастает с увеличением скорости так значительно, что довольно скоро наступает момент, когда скорость больше не изменяется. Движение из ускоренного становится равномерным.

Можно путем вычислений набросать в общих чертах картину затяжного прыжка с точки зрения механики. Ускоренное падение парашютиста длится только первые 12 секунд или немного менее, в зависимости от его веса. За этот десяток секунд он успевает опуститься метров на 400–500 и приобрести скорость около 50 м/с. Весь остальной путь до раскрытия парашюта проходится уже равномерным движением с этой скоростью.

Примерно так же падают и капли дождя. Разница лишь в том, что первый период падения, когда скорость еще растет, продолжается для дождевой капли всего около одной секунды и даже меньше. Окончательная скорость капель дождя поэтому не столь велика, как при затяжном прыжке парашютиста: она колеблется от 2 до 7 м/с в зависимости от размеров капли*.

Бумеранг

Это оригинальное оружие — самое совершенное произведение техники первобытного человека — долгое время вызывало изумление ученых. Действительно, странные, запутанные фигуры, описываемые бумерангом в воздухе (рис. 35), способны озадачить каждого.

В настоящее время теория полета бумеранга разработана весьма подробно и чудеса перестали быть чудесами. Вдаваться в эти интересные подробности мы не станем. Скажем лишь, что необычайные пути полета бумеранга являются результатом взаимодействия трех обстоятельств: 1) первоначального броска, 2) вращения бумеранга и 3) сопротивления воздуха. Австралиец инстинктивно умеет сочетать эти три фактора; он искусно изменяет угол наклона бумеранга, силу и направление броска, чтобы получить желаемый результат.

Впрочем, некоторую сноровку в этом искусстве может приобрести каждый.

---

* О скорости дождевых капель подробнее рассказано в моей книге «Занимательная механика».



Рис. 35. Как австралийцы пользуются бумерангом на охоте, чтобы поражать жертву из-за прикрытия. Путь полета бумеранга (в случае промаха) показан пунктирной линией

Для упражнения в комнатах приходится довольствоваться бумажным бумерангом, который можно вырезать хотя бы из почтовой карточки в форме, указанной на рис. 36. Размеры каждой ветви — около 5 см в длину и немного меньше 1 см в ширину. Зажмите такой бумажный бумеранг под ногтем большого пальца и щелкните по его кончику так, чтобы удар направлен был вперед и немного вверх. Бумеранг полетит метров на пять, плавно опишет кривую, иногда довольно затейливую, и если не заденет какого-нибудь предмета в комнате, то упадет у ваших ног.

Еще лучше удается опыт, если придать бумерангу размеры и форму, показанные на рис. 37 в натуральную величину. Полезно слегка

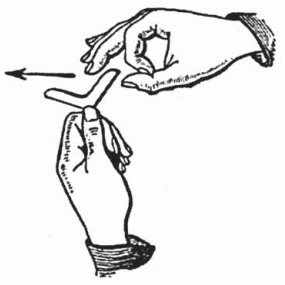


Рис. 36. Бумажный бумеранг и способ его метания

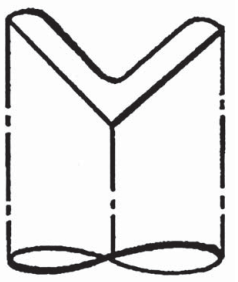


Рис. 37. Другая форма бумажного бумеранга (в натуральную величину)

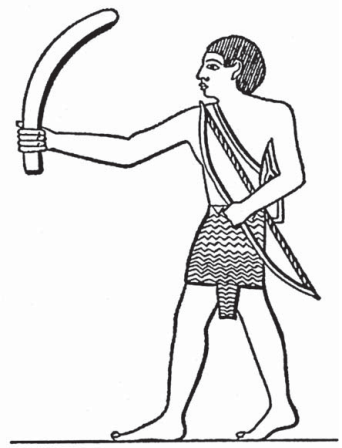


Рис. 38. Древнеегипетское изображение воина, мечущего бумеранг

изогнуть ветви бумеранга винтообразно (рис. 37, внизу). Такой бумеранг можно, при некотором навыке, заставить описывать в воздухе сложные кривые и возвращаться в место его вылета.

В заключение заметим, что бумеранг вовсе не составляет, как обычно думают, исключительной особенности вооружения обитателей Австралии. Он употребляется в различных местах Индии и, судя по остаткам стенной живописи, был некогда обычным вооружением ассирийских воинов. В Древнем Египте и Нубии бумеранг также был известен. Единственное, что свойственно исключительно Австралии, — это слегка винтообразный изгиб, придаваемый бумерангу. Вот почему австралийские бумеранги описывают замысловатые кривые и в случае промаха возвращаются обратно к ногам мечущего.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ВРАЩЕНИЕ. ВЕЧНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Как отличить вареное яйцо от сырого?

Как быть, если нужно, не разбивая скорлупы, определить, сварено яйцо или же оно сырое? Знание механики поможет вам с успехом выйти из этого маленького затруднения.

Дело в том, что яйца вареные и сырые вращаются не одинаковым образом. Этим и можно воспользоваться для разрешения нашей задачи. Испытуемое яйцо кладут на плоскую тарелку и двумя пальцами сообщают ему вращательное движение (рис. 39). Сваренное (особенно вкрутую) яйцо вращается при этом *заметно быстрее и дольше* сырого. Последнее трудно даже заставить вращаться; между тем круто сваренное яйцо вертится так быстро, что очертания его сливаются для глаз в белый сплющенный эллипсоид и оно может само встать на острый конец.



Рис. 39. Как завертеть яйцо

Причина этих явлений кроется в том, что круто сваренное яйцо вращается как сплошное целое; в сыром же яйце жидкое его содержимое, не сразу получая вращательное движение, задерживает вследствие своей инерции движение твердой оболочки; оно играет роль тормоза.

Вареные и сырые яйца различно относятся также и к остановке вращения. Если к вращающемуся вареному яйцу прикоснуться пальцем, оно останавливается *сразу.* Сырое же яйцо, остановившись на мгновение, будет после отнятия руки еще немного вращаться. Происходит это опять-таки вслед-



Рис. 40. Как отличить вареное яйцо от сырого по их вращению в подвешенном виде

ствие инерции: внутренняя жидкая масса в сыром яйце еще продолжает двигаться после того, как твердая оболочка пришла в покой; содержимое же вареного яйца останавливается одновременно с остановкой наружной скорлупы.

Подобные испытания можно производить и иным образом. Обтяните сырое и вареное яйца резиновыми колечками «по меридиану» и подвесьте на двух одинаковых бечевках (рис. 40). Закрутите обе бечевки одинаковое число раз и отпустите. Сразу обнаружится различие между вареным и сырым яйцом. Вареное, придя в начальное положение, начнет по инерции закручивать нить в обратную сторону, затем снова раскрутит ее, — и так несколько раз, постепенно уменьшая число оборотов. Сырое же яйцо повернется раз-другой и остановится задолго до того, как успокоится крутое яйцо: движения тормозятся жидким содержимым.

«Колесо смеха»

Раскройте зонтик, уприте его концом в пол и вращайте за ручку; вам не трудно будет придать ему довольно быстрое движение. Теперь бросьте внутрь зонтика мяч или скомканную бумагу; брошенный предмет не остается в зонтике, а будет выкинут из него, что принято неправильно называть «центробежной силой» и что в действительности есть лишь проявление инерции. Мяч выбрасывается не по направлению радиуса, а по касательной к пути кругового движения.

На этом эффекте вращательного движения основано устройство своеобразного развлечения — «колеса смеха» (рис. 41), которое можно видеть, например, в парках культуры. Посетители имеют здесь случай на самих себе испытать действие инерции. Публика размещается на круглой площадке — стоя, сидя, лежа, — кто как желает. Скрытый под площадкой мотор плавно вращает ее около вертикальной оси, сначала медленно, потом все быстрее, постепенно увеличивая скорость. И тогда под действием инерции все находящиеся на платформе начинают сползать к ее краям. Сначала это движение едва заметно, но по мере того, как «пассажиры» удаляются от центра и попадают на окружности все большего и большего радиуса, скорость, а следовательно, и инерция движения сказываются все заметнее. Никакие усилия удержаться на месте не приводят ни к чему, и люди сбрасываются с «колеса смеха».

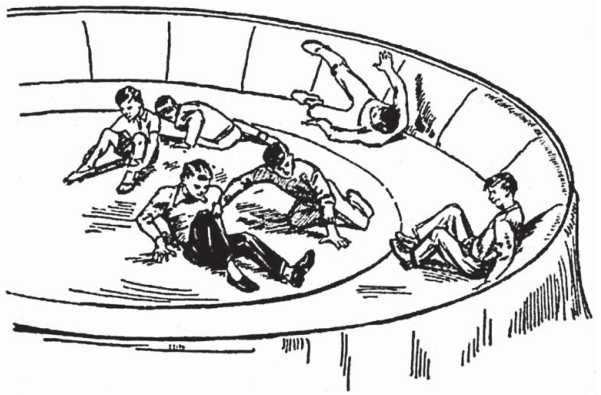


Рис. 41. «Колесо смеха». Люди на вращающемся круге отбрасываются за его края

Земной шар есть, в сущности, такое же «колесо смеха», только гигантских размеров. Земля, конечно, не сбрасывает нас с себя, но она все же уменьшает наш вес. И на экваторе, где скорость вращения наибольшая, уменьшение веса от этой причины доходит до $^1/_{300}$ доли. А вместе с другой причиной (сжатие Земли) вес каждого тела на экваторе уменьшается, в общем, на полпроцента (т. е. на $^1/_{200}$), так что взрослый человек весит на экваторе примерно на 300 г меньше, чем на полюсе.

Чернильные вихри

Кружок из гладкого белого картона проткните в центре заостренной спичкой; у вас получится вертушка, изображенная на рис. 42 слева примерно в половину натуральной величины. Чтобы заставить ее вертеться на заостренном конце спички, не требуется особой ловкости: достаточно закрутить спичку между пальцами и быстро уронить вертушку на гладкое место.

С такой вертушкой можно проделать очень показательный опыт. Прежде чем ее закружить, нанесите на верхнюю сторону кружка несколько мелких чернильных капель. Не давая им засохнуть, заставьте вертушку вертеться. Когда она остановится, посмотрите, что сделалось с каплями: каждая из них растеклась в спиральную линию, а все эти завитки вместе создают подобие вихря.

Сходство с вихрем не случайно. О чем говорят чернильные завитки на картонном кружке? Это следы движения чернильных ка-



Рис. 42. Как растекаются чернильные капли на вертящемся бумажном кружке

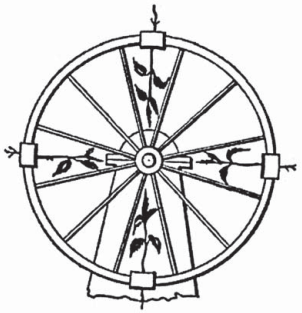


Рис. 43. Бобовые семена, проросшие на ободе вращающегося колеса. Стебли направлены к оси, корешки — наружу

пель. Капля претерпевает то же, что испытывает человек на вращающемся диске «колеса смеха». Уносясь от центра действием центробежного эффекта, она попадает в места диска, обладающие большей круговой скоростью, чем скорость самой капли. В этих местах кружок выскальзывает из-под капли, опережает ее. Дело происходит так, как если бы капля отставала от кружка, отступала назад от радиуса. Путь ее поэтому искривляется, и мы видим на кружке след криволинейного движения.

То же самое претерпевают воздушные потоки, расходящиеся от места высокого давления атмосферы (в «антициклонах») или сходящиеся к месту низкого давления (в «циклонах»). Чернильные завитки — уменьшенное подобие этих исполинских воздушных вихрей.

Обманутое растение

При быстром вращении центробежный эффект может достигать такой величины, что превосходит действие тяжести. Вот интересный опыт, показывающий, какая значительная отбрасывающая сила развивается при вращении обыкновенного колеса. Мы знаем, что молодое растение всегда направляет стебель в сторону, противоположную силе тяжести, т. е., проще говоря, растет вверх. Но заставьте семена прорастать на ободе быстро вращающегося колеса, как это сделал впервые английский ботаник Найт более ста лет назад. Вы увидите изумительную вещь: корешки ростков будут направлены наружу, а стебельки — внутрь, вдоль радиусов колеса (рис. 43).

Мы словно обманули растение: заставили влиять на него вместо силы тяжести другую силу, действие которой направлено от центра колеса наружу. А так как росток тянется всегда в сторону, противоположную тяжести, то в этом случае он вытянулся внутрь колеса, по направлению от обода к оси. Наша искусственная тяжесть оказалась сильнее естественной*, и молодое растение выросло под ее действием.

Вечные двигатели

О вечном двигателе, вечном движении часто говорят и в прямом, и в переносном смысле слова, но не все отдают себе отчет, что́, собственно, надо подразумевать под этим выражением. Вечный двигатель — это такой воображаемый механизм, который безостановочно движет сам себя и, кроме того, совершает еще какую-нибудь полезную работу (например, поднимает груз). Такого механизма никто построить не смог, хотя попытки изобрести его делались уже давно. Бесплодность этих попыток привела к твердому убеждению в невозможности вечного двигателя и к установлению закона сохранения энергии — фундаментального утверждения современной науки. Что касается вечного движения, то под этим выражением подразумевается непрекращающееся движение без совершения работы.

На рис. 44 изображен мнимый самодвижущийся механизм — один из древнейших проектов вечного двигателя, иногда и теперь возрождаемый неудачливыми фанатиками этой идеи. К краям колеса прикреплены откидные палочки с грузами на концах. При всяком положении колеса грузы на правой его стороне будут откинуты дальше от центра, нежели на левой; эта половина, следовательно, должна всегда перетягивать левую и тем самым заставлять колесо вращаться. Значит, колесо должно вращаться вечно, по крайней мере до тех пор, пока не перетрется его ось. Так думал изобретатель. Между тем если сделать такой двигатель, то он вращаться не будет. Почему же расчет изобретателя не оправдывается?

Вот почему: хотя грузы на правой стороне всегда дальше от центра, но неизбежно такое положение, когда число этих грузов меньше, чем на левой.

* Современный взгляд на природу тяготения не усматривает здесь, впрочем, принципиальной разницы.

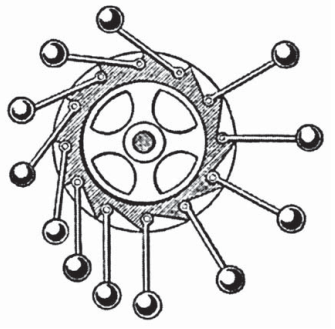


Рис. 44. Мнимое вечно движущееся колесо, придуманное в Средние века

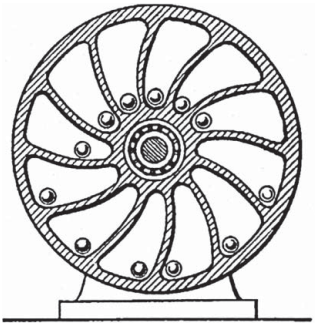


Рис. 45. Мнимый вечный двигатель с перекатывающимися шариками

Взгляните на рис. 44: справа всего 4 груза, слева же — 8. Оказывается, что вся система уравновешивается; естественно, что колесо вращаться не станет, а, сделав несколько качаний, остановится в таком положении*. Теперь доказано непреложно, что нельзя построить механизм, который вечно двигался бы сам собой, выполняя еще при этом какую-нибудь работу. Совершенно безнадежно трудиться над такой задачей. В прежнее время, особенно в Средние века, люди безуспешно ломали голову над ее разрешением и потратили на изобретение вечного двигателя (по латыни perpetuum mobile**) много времени и труда. Обладание таким двигателем представлялось даже более заманчивым, чем искусство делать золото из дешевых металлов. У Пушкина в «Сценах из рыцарских времен» выведен такой мечтатель в лице Бертольда.

«— Что такое perpetuum mobile? — спросил Мартын.

— Perpetuum mobile, — отвечает ему Бертольд, — есть вечное движение. Если найду вечное движение, то я не вижу границ творчеству человеческому... Видишь ли, добрый мой Мартын! Делать золото — задача заманчивая, открытие, может быть, любопытное и выгодное, но найти perpetuum mobile... О!..»

Были придуманы сотни вечных двигателей, но ни один не двигался. В каждом случае, как и в нашем примере, изобретатель упускал из виду какое-нибудь обстоятельство, которое и разрушало все планы.

* Движение такой системы описывается с помощью так называемой теоремы моментов.

** Произносится «перпе́туум мо́биле».

Вот еще образчик мнимого вечного двигателя — колесо с перекатывающимися в нем тяжелыми шариками (рис. 45). Изобретатель воображал, что шары на одной стороне колеса, находясь всегда ближе к краю, своим весом заставят колесо вертеться.

Разумеется, этого не произойдет — по той же причине, как и с колесом, изображенным на рис. 44. Тем не менее в одном из городов Америки устроено было ради рекламных целей, для привлечения внимания публики к кафе, огромное колесо именно подобного рода (рис. 46). Конечно, этот вечный двигатель незаметно приводился в действие искусно скрытым посторонним механизмом, хотя зрителям казалось, что колесо двигают перекатывающиеся в прорезах

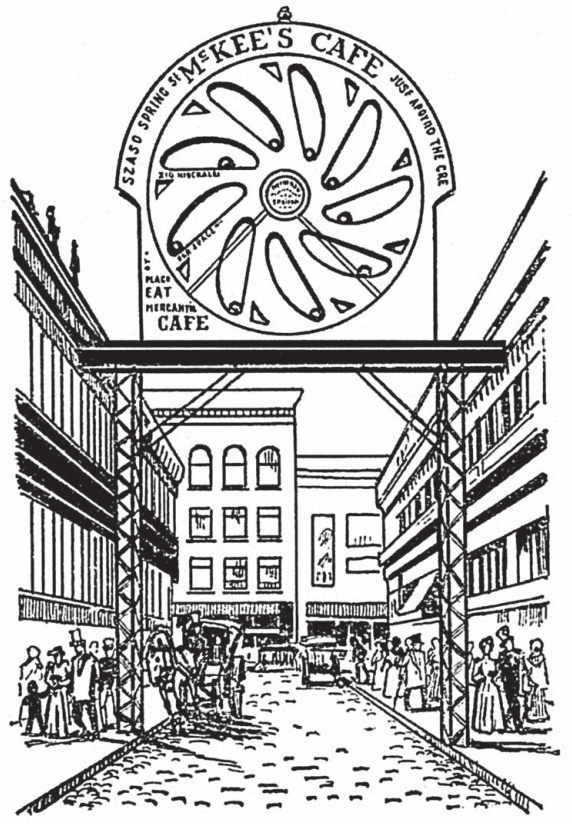


Рис. 46. Мнимый вечный двигатель в городе Лос-Анджелес (Калифорния), устроенный ради рекламы

тяжелые шары. В том же роде были и другие мнимые образцы вечных двигателей, выставлявшиеся одно время в витринах часовых магазинов для привлечения публики: все они незаметно приводились в движение электрическим током.

Один рекламный вечный двигатель доставил мне однажды немало хлопот. Мои ученики-рабочие были им настолько поражены, что оставались холодны к моим доказательствам невозможности вечного двигателя. Вид шариков, которые, перекатываясь, вращали колесо и тем же колесом поднимались вверх, убеждал их сильнее моих доводов; они не хотели верить, что мнимое механическое чудо приводится в действие электрическим током от городской сети. Выручило меня то, что в выходные дни ток тогда не подавался. Зная это, я посоветовал слушателям наведаться к витрине в эти дни. Они последовали моему совету.

— Ну что, видели двигатель? — спросил я.

— Нет, — ответили мне сконфуженно. — Его не видно: прикрыт газетой...

Закон сохранения энергии вновь завоевал у них доверие и более уже не утрачивал его.

«Зацепочка»

Немало русских изобретателей-самоучек трудилось над разрешением заманчивой проблемы вечного двигателя. Один из них, крестьянин-сибиряк Александр Щеглов, описан у М. Е. Щедрина в повести «Современная идиллия» под именем «мещанина Презентова». Вот как рассказывает Щедрин о посещении мастерской этого изобретателя:

«Мещанин Презентов был человек лет тридцати пяти, худой, бледный, с большими задумчивыми глазами и длинными волосами, которые прямыми прядями спускались к шее. Изба была у него достаточно просторная, но целая половина ее была занята большим маховым колесом, так что наше общество с трудом в ней разместилось. Колесо было сквозное, со спицами. Обод его, довольно объемистый, сколочен был из тесин, наподобие ящика, внутри которого была пустота. В этой-то пустоте и помещался механизм, составлявший секрет изобретателя. Секрет, конечно, не особенно мудрый, вроде мешков, наполненных песком, которым предоставлялось взаимно друг друга уравновешивать. Сквозь одну из спиц была продета палка, которая удерживала колесо в состоянии неподвижности.

— Слышали мы, что вы закон вечного движения к практике применили? — начал я.

— Не знаю, как доложить, — ответил он сконфуженно, — кажется, словно бы...

— Можно взглянуть?

— Помилуйте! За счастье...

Он подвел нас к колесу, потом обвел кругом. Оказалось, что и спереди и сзади — колесо.

— Вертится?

— Должно бы, кажется, вертеться. Капризится будто...

— Можно отнять запорку?

Презентов вынул палку — колесо не шелохнулось.

— Капризится! — повторил он. — Надо импет дать.

Он обеими руками схватился за обод, несколько раз повернул его вверх и вниз и наконец с силой раскачал и пустил — колесо завертелось. Несколько оборотов оно сделало довольно быстро и плавно, — слышно было, однако ж, как внутри обода мешки с песком то напирают на перегородки, то отваливаются от них; потом начало вертеться тише, тише; послышался треск, скрип, и наконец колесо совсем остановилось.

— Зацепочка, стало быть, — сконфуженно объяснил изобретатель и опять напрягся и размахал колесо.

Но во второй раз повторилось то же самое.

— Трения, может быть, в расчет не приняли?

— И трение в расчете было... Что трение? Не от трения это, а так... Иной раз словно порадует, а потом вдруг... закапризничает, заупрямится — и шабаш. Кабы колесо из настоящего материалу было сделано, а то так, обрезки кой-какие».

Конечно, дело тут не в «зацепочке» и не в «настоящем материале», а в сложности основной идеи механизма. Колесо немного вертелось от «импета» (толчка), который дан был ему изобретателем, но неизбежно должно было остановиться, когда сообщенная извне энергия истощилась на преодоление трения.

Аккумулятор Уфимцева

Насколько легко впасть в ошибку, если о вечном движении судить только по внешнему виду, показывал так называемый аккумулятор механической энергии Уфимцева. Курский изобретатель А. Г. Уфимцев создал новый тип ветросиловой станции с дешевым «инерционным» аккумулятором, устроенным по типу махового колеса. В 1920 году Уфимцевым построена была модель его аккумулятора в виде диска, вращающегося на вертикальной оси с шариковым подшипником, в кожухе, из которого выкачан воздух. Будучи разогнан до 20 000 обо-

ротов в минуту, диск сохранял вращение в течение пятнадцати суток! Глядя на вал такого диска, целыми днями вращающийся без притока энергии извне, поверхностный наблюдатель мог заключить, что перед ним реальное осуществление вечного движения.

«Чудо и не чудо»

Безнадежная погоня за вечным двигателем многих людей сделала глубоко несчастными. Я знал рабочего, тратившего все свои заработки и сбережения на изготовление модели вечного двигателя и дошедшего вследствие этого до полной нищеты. Он сделался жертвой своей неосуществимой идеи. Полуодетый, всегда голодный, он просил у всех дать ему средства для постройки «окончательной модели», которая уже «непременно будет двигаться». Грустно было сознавать, что этот человек подвергался лишениям единственно лишь вследствие плохого знания элементарных основ физики.

Любопытно, что если поиски вечного двигателя всегда оказывались бесплодными, то, напротив, глубокое понимание его невозможности приводило нередко к плодотворным открытиям.

Прекрасным примером может служить тот способ, с помощью которого Стевин, замечательный голландский ученый конца XVI и начала XVII века, открыл закон равновесия сил на наклонной плоскости. Этот математик заслуживает гораздо большей известности, нежели та, какая выпала на его долю, потому что он сделал много важных открытий, которыми мы теперь постоянно пользуемся: изобрел десятичные дроби, ввел в алгебру употребление показателей, открыл гидростатический закон, впоследствии вновь открытый Паскалем.

Закон равновесия сил на наклонной плоскости он открыл, не опираясь на правило параллелограмма сил, единственно лишь с помощью чертежа, который здесь воспроизведен (рис. 47). Через трехгранную призму перекинута цепь из 14 одинаковых шаров. Что произойдет с этой цепью? Нижняя часть, свисающая гирляндой, уравновешивается сама собой. Но остальные две части цепи — уравновешивают ли друг друга? Иными словами: правые два шара уравновешиваются ли левыми четырьмя? Конечно да — иначе цепь сама собой вечно бежала бы справа налево, потому что на

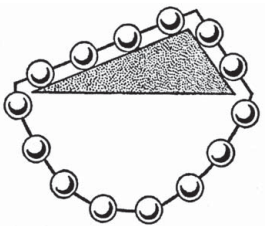


Рис. 47. «Чудо и не чудо»

место соскользнувших шаров всякий раз помещались бы другие и равновесие никогда бы не восстанавливалось. Но так как мы знаем, что цепь, перекинутая указанным образом, вовсе не движется сама собой, то, очевидно, два правых шара действительно уравновешиваются четырьмя левыми. Получается словно чудо: два шара тянут с такой же силой, как и четыре.

Из этого мнимого чуда Стевин вывел важный закон механики. Он рассуждал так. Обе цепи — и длинная и короткая — весят различно: одна цепь тяжелее другой во столько же раз, во сколько раз длинная грань призмы длиннее короткой. Отсюда вытекает, что и вообще два груза, связанных шнуром, уравновешивают друг друга на наклонных плоскостях, если веса их пропорциональны длинам этих плоскостей.

В частном случае, когда короткая плоскость отвесна, мы получаем известный закон механики: чтобы удержать тело на наклонной плоскости, надо действовать в направлении этой плоскости силой, которая во столько раз меньше веса тела, во сколько раз длина плоскости больше ее высоты.

Так, исходя из мысли о невозможности вечного двигателя, сделано было важное открытие в механике.

Еще вечные двигатели

На рис. 48 вы видите тяжелую цепь, перекинутую через колеса так, что правая ее половина при всяком положении должна быть длиннее левой. Следовательно, рассуждал изобретатель, она должна перевешивать и безостановочно падать вниз, приводя в движение весь механизм. Так ли это?

Конечно нет. Мы сейчас видели, что тяжелая цепь может уравновешиваться легкой, если силы увлекают их под разными углами. В рассматриваемом механизме левая цепь натянута отвесно, правая же расположена наклонно, а потому она, хотя и тяжелее, все же не перетягивает левую. Ожидаемого вечного движения здесь получиться не может.

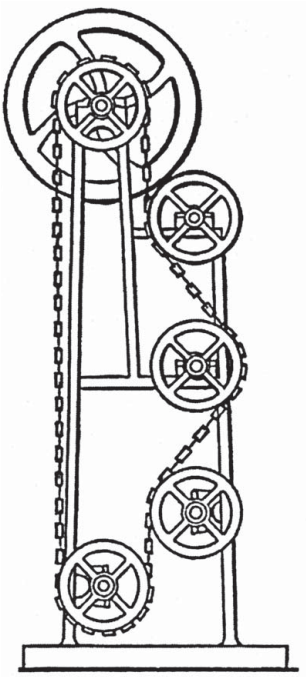


Рис. 48. Вечный ли это двигатель?

Пожалуй, остроумнее всех поступил некий изобретатель вечного двигателя, показывавший свое изобретение в шестидесятых годах XIX века на Парижской выставке. Двигатель состоял из большого колеса с перекатывавшимися в нем шарами, причем изобретатель утверждал, что никому не удастся задержать движение колеса. Посетители один за другим пытались остановить колесо, — но оно немедленно же возобновляло вращение, как только отнимали руки. Никто не догадывался, что колесо вращается именно благодаря стараниям посетителей остановить его; толкая его назад, они тем самым заводили пружину искусно скрытого механизма...

Вечный двигатель времен Петра I

Сохранилась оживленная переписка, которую вел в 1715–1722 годах Петр I по поводу приобретения в Германии вечного двигателя, придуманного неким доктором Орфиреусом. Изобретатель, прославившийся на всю Германию своим «самодвижущимся колесом», соглашался продать царю эту машину лишь за огромную сумму. Ученый библиотекарь Шумахер, посланный Петром на Запад для собирания редкостей, так доносил царю о притязаниях Орфиреуса, с которым он вел переговоры о покупке: «Последняя речь изобретателя была: на одной стороне положите 100 000 ефимков*, а на другой — я положу машину».

О самой же машине изобретатель, по словам библиотекаря, говорил, что она «верна есть, и никто же оную похулить может, разве из злонравия, и весь свет наполнен злыми людьми, которым верить весьма невозможно».

В январе 1725 года Петр собирался в Германию, чтобы лично осмотреть вечный двигатель, о котором так много говорили, но смерть помешала царю выполнить его намерение.

Кто же был этот таинственный доктор Орфиреус и что представляла собой его «знатная машина»? Мне удалось разыскать сведения и о том и о другой.

Настоящая фамилия Орфиреуса была Беслер. Он родился в Германии в 1680 году, изучал богословие, медицину, живопись и наконец занялся изобретением вечного двигателя. Из многих тысяч таких изобретателей Орфиреус — самый знаменитый и, пожалуй, самый

* *Ефимок* (Joachimsthaler) — около рубля.

удачливый. До конца дней своих (умер в 1745 году) он жил в довольстве на доходы, которые получал, показывая свою машину.

На прилагаемом рис. 49, заимствованном из старинной книги, изображена машина Орфиреуса, какой она была в 1714 году. Вы видите большое колесо, которое будто бы не только вращалось само собой, но и поднимало при этом тяжелый груз на значительную высоту.

Слава о чудесном изобретении, которое ученый доктор показывал сначала на ярмарках, быстро разнеслась по Германии, и Орфиреус вскоре приобрел могущественных покровителей. Им заинтересовался польский король, затем ландграф Гессен-Кассельский. Последний предоставил изобретателю свой замок и всячески испытывал машину.

Так, в 1717 году, 12 ноября, двигатель, находившийся в уединенной комнате, был приведен в действие; затем комната была заперта на замок, опечатана и оставлена под бдительным караулом двух гренадеров. Четырнадцать дней никто не смел даже приближаться к комнате, где вращалось таинственное колесо. Лишь 26 ноября печати были сняты; ландграф со свитой вошел в помещение. И что же? Колесо все еще вращалось «с неослабевающей быстротой»... Машину остановили, тщательно осмотрели, затем опять пустили в ход. В течение сорока дней помещение снова оставалось запечатанным; сорок суток караулили у дверей гренадеры. И когда 4 января 1718 года печати были сняты, экспертная комиссия нашла колесо в движении!

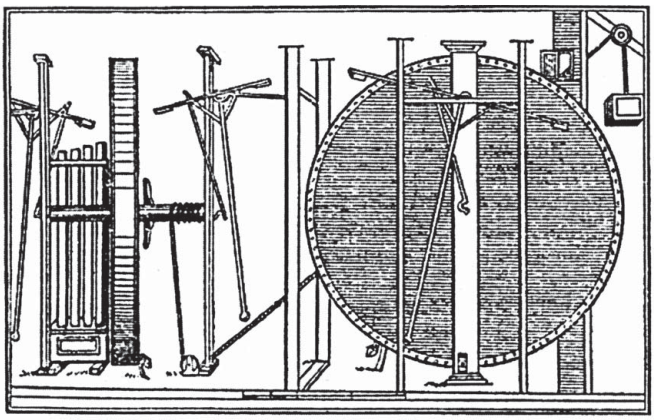


Рис. 49. Самодвижущееся колесо Орфиреуса, едва не приобретенное Петром I (со старинного рисунка)

Ландграф и этим не удовольствовался: сделан был третий опыт — двигатель запечатан был на целых два месяца. И все-таки по истечении срока его нашли движущимся!

Изобретатель получил от восхищенного ландграфа официальное удостоверение в том, что его вечный двигатель делает 50 оборотов в минуту, способен поднять 16 кг на высоту 1,5 м, а также может приводить в действие кузнечный мех и точильный станок. С этим удостоверением Орфиреус и странствовал по Европе. Вероятно, он получал порядочный доход, если соглашался уступить свою машину Петру I не менее чем за 100 000 рублей.

Весть о столь изумительном изобретении доктора Орфиреуса быстро разнеслась по Европе, проникнув далеко за пределы Германии. Дошла она и до Петра, сильно заинтересовав падкого до всяких «хитрых махин» царя.

Петр обратил внимание на колесо Орфиреуса еще в 1715 году, во время своего пребывания за границей, и тогда же поручил А. И. Остерману, известному дипломату, познакомиться с этим изобретением поближе; последний вскоре прислал подробный доклад о двигателе, хотя самой машины ему не удалось увидеть. Петр собирался даже пригласить Орфиреуса как выдающегося изобретателя к себе на службу и поручил запросить о нем мнение Христиана Вольфа, известного философа того времени (учителя Ломоносова).

Знаменитый изобретатель отовсюду получал лестные предложения. Великие мира сего осыпали его высокими милостями; поэты слагали оды и гимны в честь его чудесного колеса. Но были и недоброжелатели, подозревавшие здесь искусный обман. Находились смельчаки, которые открыто обвиняли Орфиреуса в плутовстве; предлагалась премия в 1000 марок тому, кто разоблачит обман. В одном из памфлетов, написанных с обличительной целью, мы находим рисунок, воспроизведенный здесь (рис. 50). Тайна вечного двигателя, по мнению разоблачителя, кроется просто в том, что искусно спрятанный человек тянет за веревку, намотанную, незаметно для наблюдателя, на часть оси колеса, скрытую в стойке.

Тонкое плутовство было раскрыто случайно только потому, что ученый доктор поссорился со своей женой и служанкой, посвященными в его тайну. Не случись этого, мы, вероятно, до сих пор оставались бы в недоумении относительно вечного двигателя, наделавшего столько шума. Оказывается, вечный двигатель действительно приводился в движение спрятанными людьми, незаметно дергавшими

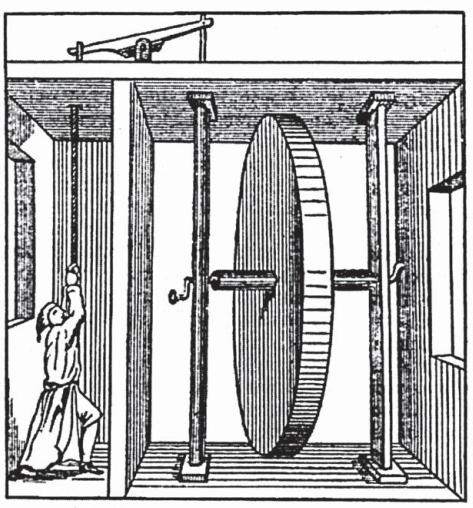


Рис. 50. Разоблачение секрета колеса Орфиреуса (со старинного рисунка)

за тонкий шнурок. Этими людьми были брат изобретателя и его служанка.

Разоблаченный изобретатель не сдавался; он упорно утверждал до самой смерти, что жена и прислуга донесли на него по злобе. Но доверие к нему было подорвано. Недаром он твердил посланцу Петра, Шумахеру, о людском злонравии и о том, что «весь свет наполнен злыми людьми, которым верить весьма невозможно».

Во времена Петра I славился в Германии еще и другой вечный двигатель — некоего Гертнера. Шумахер писал об этой машине следующее: «Господина Гертнера Perpetuum mobile, которое я в Дрездене видел, состоит из холста, песком засыпанного, и в образе точильного камня сделанной машины, которая назад и вперед сама от себя движется, но, по словам господина инвентора (изобретателя), не может весьма велика сделаться». Без сомнения, и этот двигатель не достигал своей цели и в лучшем случае представлял собой замысловатый механизм с искусно скрытым, отнюдь не вечным живым двигателем. Вполне прав был Шумахер, когда писал Петру, что французские и английские ученые «ни во что почитают все оные перепетуи мобилес и сказывают, что оное против принципиев математических».

ГЛАВА ПЯТАЯ

СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Задача о двух кофейниках

Перед вами (рис. 51) два кофейника одинаковой ширины: один — высокий, другой — низкий. Какой из них вместительнее?

Многие, вероятно не подумав, скажут, что высокий кофейник вместительнее низкого. Если бы вы, однако, стали лить жидкость в высокий кофейник, вы смогли бы налить его только до уровня отверстия его носика — дальше вода начнет выливаться. А так как отверстия носика у обоих кофейников на одной высоте, то низкий кофейник оказывается столь же вместительным, как и высокий с коротким носиком.



Рис. 51. В какой из этих кофейников можно налить больше жидкости?

Это и понятно: в кофейнике и в трубке носика, как во всяких сообщающихся сосудах, жидкость должна стоять на одинаковом уровне, несмотря на то что жидкость в носике весит гораздо меньше, чем в остальной части кофейника. Если же носик недостаточно высок, вы никак не нальете кофейник доверху: вода будет выливаться. Обычно носик устраивается даже выше краев кофейника, чтобы сосуд можно было немного наклонять, не выливая содержимого.

Чего не знали древние

Жители современного Рима до сих пор пользуются остатками водопровода, построенного еще древними: солидно возводили римские рабы водопроводные сооружения.

Не то приходится сказать о познаниях римских инженеров, руководивших этими работами; они явно недостаточно были знакомы

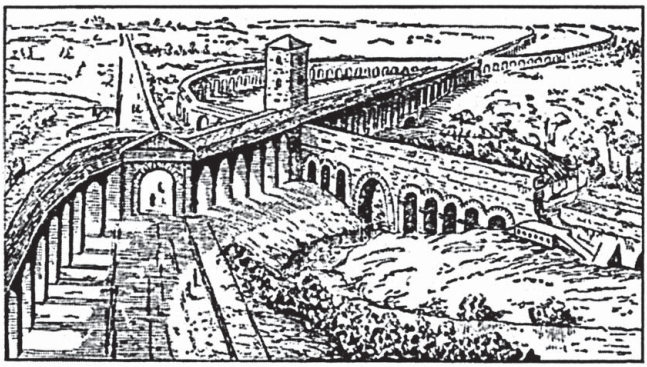


Рис. 52. Водопроводные сооружения Древнего Рима в их первоначальном виде

с основами физики. Взгляните на прилагаемый рис. 52, воспроизведенный с картины Германского музея в Мюнхене. Вы видите, что римский водопровод прокладывался не в земле, а над ней, на высоких каменных столбах. Для чего это делалось? Разве не проще было прокладывать в земле трубы, как делается теперь? Конечно проще, но римские инженеры того времени имели весьма смутное представление о законах сообщающихся сосудов. Они опасались, что в водоемах, соединенных очень длинной трубой, вода не установится на одинаковом уровне. Если трубы проложены в земле, следуя уклонам почвы, то в некоторых участках вода ведь должна течь вверх, — и вот римляне боялись, что вода вверх не потечет. Поэтому они обычно придавали водопроводным трубам равномерный уклон вниз на всем их пути (а для этого требовалось нередко либо вести воду в обход, либо возводить высокие арочные подпоры). Одна из римских труб, Аква Марциа, имеет в длину 100 км, между тем как прямое расстояние между ее концами вдвое меньше. Полсотни километров каменной кладки пришлось проложить из-за незнания элементарного закона физики!

Жидкости давят… вверх!

О том, что жидкости давят вниз, на дно сосуда, и вбок, на стенки, знают даже те, кто никогда не изучал физики. Но что они давят и *вверх*, многие даже не подозревают. Обыкновенное ламповое стекло поможет убедиться, что такое давление действительно существует.



Рис. 53. Простой способ убедиться, что жидкость давит снизу вверх

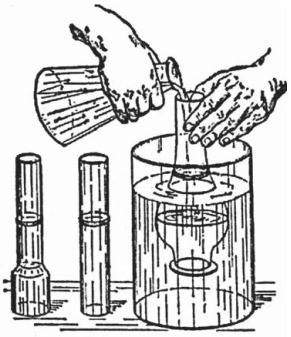


Рис. 54. Давление жидкости на дно сосуда зависит только от площади дна и от высоты уровня жидкости. На рисунке показано, как проверить это правило

Вырежьте из плотного картона кружок таких размеров, чтобы он закрывал отверстие лампового стекла. Приложите его к краям стекла и погрузите в воду, как показано на рис. 53. Чтобы кружок не отпадал при погружении, его можно придерживать ниткой, протянутой через его центр, или просто прижать пальцем. Погрузив стекло до определенной глубины, вы заметите, что кружок хорошо держится и сам, не прижимаемый ни давлением пальца, ни натяжением нитки: его подпирает вода, надавливающая на него снизу вверх.

Вы можете даже измерить величину этого давления вверх. Наливайте осторожно в стекло воду; как только уровень ее внутри стекла приблизится к уровню в сосуде, кружок отпадает. Значит, давление воды на кружок снизу уравновешивается давлением на него сверху столба воды, высота которого равна глубине кружка под водой. Таков закон давления жидкости на всякое погруженное тело. Отсюда, между прочим, происходит и та потеря веса в жидкостях, о которой говорит знаменитый закон Архимеда.

Имея несколько ламповых стекол разной формы, но с одинаковыми отверстиями, вы сможете проверить и другой закон, относящийся к жидкостям, а именно: давление жидкости на дно сосуда зависит только от площади дна и высоты уровня, от формы же сосуда оно совершенно не зависит. Проверка будет состоять в том, что вы проделаете описанный сейчас опыт с разными стеклами, погружая их на одну и ту же глубину (для чего надо предварительно приклеить к стеклам бумажные полоски на равной высоте). Вы заметите, что кружок всякий раз будет отпадать при одном и том же уровне воды в стеклах (рис. 54). Значит, давление водяных столбов различной формы одинаково, если только одинаковы их основание и высота. Обратите внимание на

то, что здесь важна именно *высота, а не длина*, потому что длинный наклонный столб давит на дно совершенно так же, как и короткий отвесный столб одинаковой с ним высоты (при равных площадях оснований).

Что тяжелее?

На одну чашку весов поставлено ведро, до краев наполненное водой. На другую — точно такое же ведро, *тоже полное до краев*, но в нем плавает кусок дерева (рис. 55). Какое ведро перетянет?

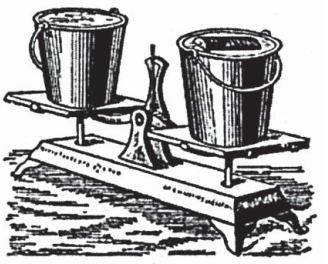


Рис. 55. Оба ведра одинаковы и наполнены водой до краев; в одном плавает кусок дерева. Которое перетянет?

Я пробовал задавать эту задачу разным лицам и получал разноречивые ответы. Одни отвечали, что должно перетянуть то ведро, в котором плавает дерево, потому что «кроме воды в ведре есть еще и дерево». Другие — что, наоборот, перетянет первое ведро, «так как вода тяжелее дерева».

Но ни то ни другое не верно: оба ведра имеют *одинаковый* вес. Во втором ведре, правда, воды меньше, нежели в первом, потому что плавающий кусок дерева вытесняет некоторый ее объем. Но, по закону плавания, всякое *плавающее* тело вытесняет своей погруженной частью ровно *столько жидкости* (по весу), *сколько весит все это тело*. Вот почему весы и должны оставаться в равновесии.

Решите теперь другую задачу. Я ставлю на весы стакан с водой и рядом кладу гирьку. Когда весы *уравновешены* гирями на чашке, я роняю гирьку в стакан с водой. Что сделается с весами?

По закону Архимеда, гирька в воде становится легче, чем была вне воды. Можно, казалось бы, ожидать, что чашка весов со стаканом поднимется. Между тем в действительности весы останутся в равновесии. Как это объяснить?

Гирька в стакане вытеснила часть воды, которая оказалась выше первоначального уровня; вследствие этого увеличивается давление на дно сосуда, так что дно испытывает добавочную силу, равную потере веса гирькой.

Естественная форма жидкости

Мы привыкли думать, что жидкости не имеют никакой *собственной* формы. Это неверно. Естественная форма всякой жидкости — шар. Обычно сила тяжести мешает жидкости принимать эту форму, и жидкость либо растекается тонким слоем, если разлита без сосуда, либо же принимает форму сосуда, если налита в него. Находясь внутри другой жидкости такого же удельного веса, жидкость, по закону Архимеда, «теряет» свой вес: она словно ничего не весит, тяжесть на нее не действует — и тогда жидкость принимает свою естественную, шарообразную форму.

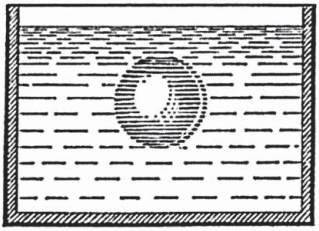


Рис. 56. Масло внутри сосуда с разбавленным спиртом собирается в шар, который не тонет и не всплывает (опыт Плато)

Прованское масло плавает в воде, но тонет в спирте. Можно поэтому приготовить такую смесь из воды и спирта, в которой масло не тонет и не всплывает. Введя в эту смесь немного масла посредством шприца, мы увидим странную вещь: масло собирается в большую круглую каплю, которая не всплывает и не тонет, а висит неподвижно* (рис. 56).

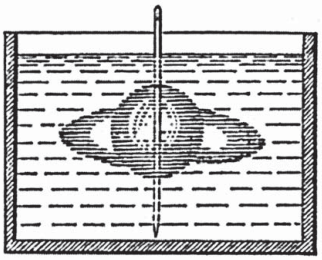


Рис. 57. Если масляный шар в спирте быстро вращать при помощи воткнутого в него стерженька, от шара отделяется кольцо

Опыт надо проделывать терпеливо и осторожно, иначе получится не одна большая капля, а несколько шариков поменьше. Но и в таком виде опыт достаточно интересен.

Это, однако, еще не все. Пропустив через центр жидкого масляного шара длинный деревянный стерженек или проволоку, вращают их. Масляный шар принимает участие в этом вращении. (Опыт удается лучше, если насадить на ось небольшой, смоченный маслом картонный кружочек, который весь оставался бы внутри шара.) Под влиянием вращения шар начинает сначала сплющиваться, а затем через несколько секунд отделяет от себя

* Чтобы форма шара не казалась искаженной, нужно производить опыт в сосуде с плоскими стенками (или в сосуде любой формы, но поставленном внутри наполненного водой сосуда с плоскими стенками).

кольцо (рис. 57). Разрываясь на части, кольцо это образует не бесформенные куски, а новые шарообразные капли, которые продолжают кружиться около центрального шара.

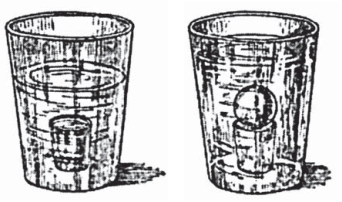


Рис. 58. Упрощение опыта Плато

Впервые этот поучительный опыт произвел бельгийский физик Плато. Здесь описан опыт Плато в его классическом виде. Гораздо легче и не менее поучительно произвести его в ином виде. Маленький стакан споласкивают водой, наполняют прованским маслом и ставят на дно большого стакана; в последний наливают осторожно столько спирта, чтобы маленький стакан был весь в него погружен. Затем по стенке большого стакана из ложечки осторожно доливают понемногу воду. Поверхность масла в маленьком стакане становится выпуклой; выпуклость постепенно возрастает и при достаточном количестве подлитой воды поднимается из стакана, образуя шар довольно значительных размеров, висящий внутри смеси спирта и воды (рис. 58).

За неимением спирта можно проделать этот опыт с анилином — жидкостью, которая при обыкновенной температуре тяжелее воды, а при 75–85 °С легче ее. Нагревая воду, мы можем, следовательно, заставить анилин плавать внутри ее, причем он принимает форму большой шарообразной капли. При комнатной температуре капля анилина уравновешивается в растворе соли*.

Почему дробь круглая?

Сейчас мы говорили о том, что всякая жидкость, освобожденная от действия тяжести, принимает свою естественную форму — шарообразную. Если вспомните сказанное раньше о невесомости падающего тела и примете в расчет, что в самом начале падения можно пренебречь ничтожным сопротивлением воздуха**, то сообразите, что падающие порции жидкости также должны принимать форму

* Из других жидкостей удобен ортотолуидин — темно-красная жидкость; при 24° она имеет такую же плотность, как и соленая вода, в которую и погружают ортотолуидин.

** Дождевые капли опускаются ускоренно только в самом начале падения; уже примерно ко второй половине первой секунды падения устанавливается *равномерное* движение: вес капли уравновешивается силой сопротивления воздуха, которая возрастает с ростом скорости капли.

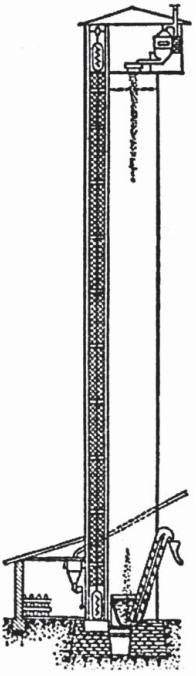


Рис. 59. Башня дроболитейного завода

шаров. И действительно, падающие капли дождя имеют форму шариков. Дробинки — не что иное, как застывшие капли расплавленного свинца, который при заводском способе изготовления заставляют падать каплями с большой высоты в холодную воду: там они затвердевают в форме совершенно правильных шариков.

Так, отлитая дробь называется «башенной», потому что при отливке ее заставляют падать с верхушки высокой «дроболитейной» башни (рис. 59). Башни дроболитейного завода — металлической конструкции и достигают в высоту 45 м; в самой верхней части располагается литейное помещение с плавильными котлами, внизу — бак с водой. Отлитая дробь подлежит еще сортировке и отделке. Капля расплавленного свинца застывает в дробинку еще во время падения; бак с водой нужен лишь для того, чтобы смягчить удар дробинки при падении и предотвратить искажение ее шарообразной формы. (Дробь диаметром больше 6 мм, так называемая картечь, изготовляется иначе — вырубкой из проволоки кусочков, потом обкатываемых.)

«Бездонный» бокал

Вы налили воды в бокал до краев. Он полон. Возле бокала лежат булавки. Может быть, для одной-двух булавок еще найдется место в бокале? Попробуйте.

Начните бросать булавки и считайте их. Бросать надо осмотрительно: бережно погружайте острие в воду и затем осторожно выпускайте булавку из руки, без толчка или давления, чтобы сотрясением не расплескать воды. Одна, две, три булавки упали на дно — уровень воды остался неизменным. Десять, двадцать, тридцать булавок... Жидкость не выливается. Пятьдесят, шестьдесят, семьдесят... Целая сотня булавок лежит на дне, а вода из бокала все еще не выливается (рис. 60).

Не только не выливается, но даже и не поднялась сколько-нибудь заметным образом над краями. Продолжайте добавлять булавки. Вторая, третья, четвертая сотня булавок очутилась в сосуде — и ни

одна капля не перелилась через край; но теперь уже видно, как поверхность воды вздулась, возвышаясь немного над краями бокала. В этом вздутии вся разгадка непонятного явления. Вода мало смачивает стекло, если оно хоть немного загрязнено жиром; края же бокала — как и вся употребляемая нами посуда — неизбежно покрываются следами жира от прикосновения пальцев. Не смачивая краев, вода, вытесняемая булавками из бокала, образует выпуклость. Вздутие незначительно на глаз, но если дадите себе труд вычислить объем одной булавки и сравните его с объемом той выпуклости, которая слегка вздулась над краями бокала, вы убедитесь, что первый объем в сотни раз меньше второго, и оттого в «полном» бокале может найтись место еще для нескольких сотен булавок. Чем шире посуда, тем больше булавок она способна вместить, потому что тем больше объем вздутия.



Рис. 60. Поразительный опыт с булавками в бокале воды

Сделаем для ясности примерный подсчет. Длина булавки — около 25 мм, толщина ее — полмиллиметра. Объем такого цилиндра нетрудно вычислить по известной формуле геометрии $\left(\frac{\pi d^2 h}{4}\right)$; он равен 5 мм^3. Вместе с головкой объем булавки не превышает 5,5 мм^3.

Теперь подсчитаем объем водяного слоя, возвышающегося над краями бокала. Диаметр бокала 9 см = 90 мм. Площадь такого круга равна около 6400 мм^2. Считая, что толщина поднявшегося слоя только 1 мм, имеем для его объема 6400 мм^3, это больше объема булавки в 1200 раз. Другими словами, «полный» бокал воды может принять еще свыше тысячи булавок! И действительно, осторожно опуская булавки, можно погрузить их целую тысячу, так что для глаз они словно займут весь сосуд и будут даже выступать над его краями, а вода все-таки еще не будет выливаться.

Любопытная особенность керосина

Кому приходилось иметь дело с керосиновой лампой, тот, вероятно, знаком с досадными неожиданностями, обусловленными одной особенностью керосина. Вы наполняете резервуар, вытираете его снаружи досуха, а через час находите его снова мокрым.

Дело в том, что вы недостаточно плотно завинтили горелку и керосин, стремясь растечься по стеклу, выполз на наружную поверхность резервуара. Если желаете оградить себя от подобных «сюрпризов», вы должны возможно плотнее завинчивать горелку*.

Эта ползучесть керосина весьма неприятным образом ощущается на судах, машины которых потребляют керосин (или нефть). На подобных судах, если не приняты меры, положительно невозможно перевозить никакие товары, кроме тех же керосина или нефти, потому что жидкости эти, выползая из баков через незаметные скважины, растекаются не только по металлической поверхности самих баков, но проникают решительно всюду, даже в одежду пассажиров, сообщая всем предметам свой неистребимый запах. Попытки бороться с этим злом остаются часто безрезультатными. Английский юморист Джером не очень преувеличивал, когда в повести «Трое в одной лодке» рассказывал о керосине следующее:

> «Я не знаю вещества, более способного просачиваться всюду, чем керосин. Мы держали его на носу лодки, а он оттуда просочился на другой конец, пропитав своим запахом все, что попадалось ему по пути. Просачиваясь сквозь обшивку, он капал в воду, портил воздух и небо, отравлял жизнь. Иногда керосиновый ветер дул с запада, иногда с востока, а иной раз это был северный керосиновый ветер или, может быть, южный, но, прилетал ли он из снежной Арктики или зарождался в песках пустыни, он всегда достигал нас, насыщенный ароматом керосина. По вечерам это благоухание уничтожало прелесть заката, а лучи месяца положительно источали керосин... Привязав лодку у моста, мы пошли прогуляться по городу, но ужасный запах преследовал нас. Казалось, весь город был им пропитан». (На самом деле, конечно, пропитаны были им лишь платья путешественников.)

Способность керосина смачивать наружную поверхность резервуаров подала повод к неправильному мнению, будто керосин может проникать сквозь металлы и стекло.

Копейка, которая в воде не тонет,

существует не только в сказке, но и в действительности. Вы убедитесь в этом, если проделаете несколько легко выполнимых опытов.

---

* Но, завинчивая горелку наглухо, не забудьте проследить за тем, чтобы резервуар не был налит до самых краев: керосин при нагревании расширяется довольно значительно (он увеличивается в объеме на десятую долю при повышении температуры на 100°), и, чтобы резервуар не лопнул, необходимо оставить место для расширения.

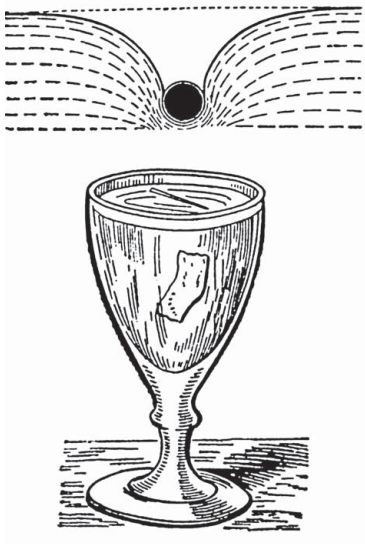


Рис. 61. Игла, плавающая на воде. *Вверху* — разрез иглы (2 мм толщины) и точная форма углубления на воде (увеличено в 2 раза). *Внизу* — способ заставить иглу плавать на воде с помощью лоскутка бумаги

Начнем с более мелких предметов — с иголок. Кажется невозможным заставить стальную иглу плавать на поверхности воды, а между тем это не так трудно сделать. Положите на поверхность воды лоскуток папиросной бумаги, а на него — совершенно сухую иголку. Теперь остается только осторожно удалить папиросную бумагу из-под иглы. Делается это так: вооружившись другой иглой или булавкой, слегка погружают края лоскутка в воду, постепенно подходя к середине; когда лоскуток весь намокнет, он упадет на дно, игла же будет продолжать плавать (рис. 61). При помощи магнита, подносимого к стенкам стакана на уровне воды, вы можете даже управлять движением этой плавающей на воде иглы.

При известной сноровке можно обойтись и без папиросной бумаги: захватив иглу пальцами посредине, уроните ее в горизонтальном положении с небольшой высоты на поверхность воды.

Вместо иглы можно заставить плавать булавку (то и другое — не толще 2 мм), легкую пуговицу, мелкие плоские металлические предметы. Наловчившись в этом, попробуйте заставить плавать и копейку.

Причина плавания этих металлических предметов та, что вода плохо смачивает металл, побывавший в наших руках и потому покрытый тончайшим слоем жира. Оттого вокруг плавающей иглы на поверхности воды образуется вдавленность, ее можно даже видеть. Поверхностная пленка жидкости, стремясь распрямиться, оказывает давление вверх на иглу и тем поддерживает ее. Поддерживает иглу также и выталкивающая сила жидкости, согласно закону плавания: игла выталкивается снизу с силой, равной весу вытесненной ею воды. Всего проще добиться плавания иглы, если смазать ее маслом; такую иглу можно прямо класть на поверхность воды, и она не потонет.

Вода в решете

Оказывается, что и носить воду в решете возможно не только в сказке. Знание физики поможет исполнить такое классически невозможное дело. Для этого надо взять проволочное решето сантиметров 15 в поперечнике и с не слишком мелкими ячейками (около 1 мм) и окунуть его сетку в растопленный парафин. Затем вынуть решето из парафина — проволока окажется покрытой тонким слоем парафина, едва заметным для глаз.

Решето осталось решетом — в нем есть сквозные отверстия, через которые свободно проходит булавка, — но теперь вы можете, в буквальном смысле слова, носить в нем воду. В таком решете удерживается довольно высокий слой воды, не проливаясь сквозь ячейки; надо только осторожно налить воду и оберегать решето от толчков.

Почему же вода не проливается? Потому что, не смачивая парафин, она образует в ячейках решета тонкие пленки, обращенные выпуклостью вниз, которые и удерживают воду (рис. 62).

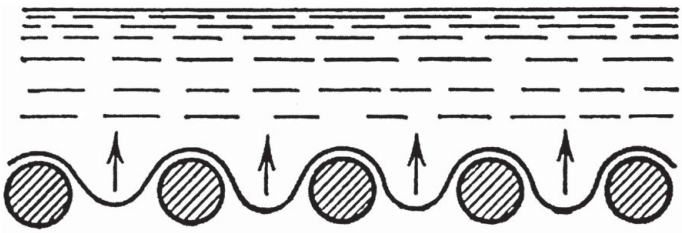


Рис. 62. Почему вода не выливается из парафинированного решета

Такое парафинированное решето можно положить на воду, и оно будет держаться на ней. Значит, возможно не только носить воду в решете, но и плавать на нем.

Этот парадоксальный опыт объясняет ряд обыкновенных явлений, к которым мы чересчур привыкли, чтобы задумываться об их причине. Смоление бочек и лодок, смазывание салом пробок и втулок, окрашивание масляной краской и вообще покрытие маслянистыми веществами всех тех предметов, которые мы хотим сделать непроницаемыми для воды, а также и прорезинивание тканей — все это не что иное, как изготовление решета вроде сейчас описанного. Суть дела и там и тут одна и та же, только в случае с решетом она выступает в необычном виде.

Пена на службе техники

Опыт плавания стальной иглы и медной монеты на воде имеет сходство с явлением, используемым в горно-металлургической промышленности для обогащения руд, т. е. для увеличения содержания в них ценных составных частей. Техника знает много способов обогащения руд; тот, который мы сейчас имеем в виду и который называется «флотацией», — наиболее действенный; он успешно применяется даже в тех случаях, когда все остальные не достигают цели.

Сущность флотации (т. е. всплывания) состоит в следующем. Тонко измельченная руда загружается в чан с водой и с маслянистыми веществами, которые способны обволакивать частицы полезного минерала тончайшими пленками, не смачиваемыми водой. Смесь энергично перемешивается с воздухом, образуя множество мельчайших пузырьков — пену. При этом частицы полезного минерала, облеченные тонкой маслянистой пленкой, приходя в соприкосновение с оболочкой воздушного пузырька, пристают к ней и повисают на пузырьке, который и выносит их вверх, как воздушный шар в атмосфере поднимает гондолу (рис. 63). Частицы же пустой породы, не облеченные маслянистым веществом, не пристают к оболочке и остаются в жидкости. Надо заметить, что воздушный пузырек пены гораздо больше по объему, нежели минеральная частица, и плавучесть его достаточна для увлечения твердой крупинки вверх. В итоге частицы полезного минерала почти все оказываются в пене, покрывающей жидкость. Пену снимают и направляют в дальнейшую обработку — для получения так называемого «концентрата», который в десятки раз богаче полезным минералом, нежели первоначальная руда.

Техника флотации разработана так тщательно, что надлежащим подбором примешиваемых жидкостей можно отделить каждый полезный минерал от пустой породы любого состава.

К самой идее флотации привела не теория, а внимательное наблюдение случайного факта. В конце XIX века американская учительница Карри Эверсон, стирая загрязненные маслом мешки, в которых хранился раньше медный колчедан, обратила внимание на то, что крупинки колчедана всплывают с мыльной пеной. Это и послужило толчком к развитию способа флотации.

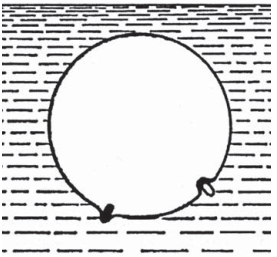


Рис. 63. Как происходит флотация

Мнимый вечный двигатель

В книгах иногда описывается в качестве настоящего вечного двигателя прибор такого устройства (рис. 64): масло (или вода), налитое в сосуд, поднимается фитилями сначала в верхний сосуд, а оттуда другими фитилями — еще выше; верхний сосуд имеет желоб для стока масла, которое падает на лопатки колеса, приводя его во вращение. Стекшее вниз масло снова поднимается по фитилям до верхнего сосуда. Таким образом струя масла, стекающая по желобку на колесо, ни на секунду не прерывается, и колесо вечно должно находиться в движении...



Рис. 64. Неосуществимая вертушка

Если бы авторы, описывающие эту вертушку, дали себе труд ее изготовить, они, конечно, убедились бы, что не только колесо не вертится, но что ни одна капля жидкости даже не попадает в верхний сосуд!

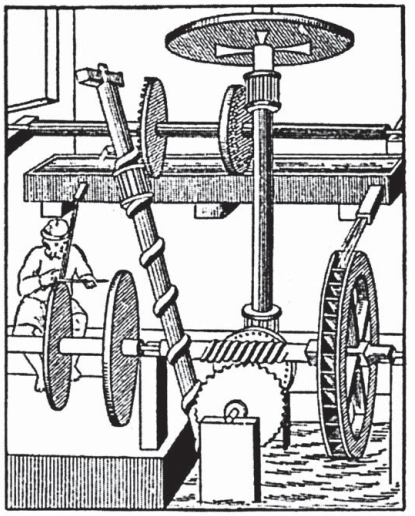


Рис. 65. Старинный проект водяного вечного двигателя для точильного камня

Это можно сообразить, впрочем, и не приступая к изготовлению вертушки. В самом деле, почему изобретатель думает, что масло должно стекать вниз с верхней, загнутой части фитиля? Капиллярное притяжение, преодолев тяжесть, подняло жидкость вверх по фитилю; но ведь та же причина удержит жидкость в порах намокшего фитиля, не давая ей капать с него. Если допустить, что в верхний сосуд нашей мнимой вертушки от действия капиллярных сил может попасть жидкость, то надо будет признать, что те же фитили, которые будто бы доставили ее сюда, сами же и перенесли бы ее обратно в нижний.

Этот мнимый вечный двигатель напоминает другую водяную машину вечного движения, придуманную еще в 1575 году итальянским механиком Страдою Старшим. Мы изображаем здесь этот забавный проект (рис. 65). Архимедов винт, вращаясь, поднимает воду в верхний бак, откуда она вытекает из лотка струей, ударяющей в лопатки наливного колеса (справа внизу). Водяное колесо вращает точильный станок, а одновременно двигает, с помощью ряда зубчатых колес, тот самый архимедов винт, который поднимает воду в верхний бак. Винт вращает колесо, а колесо — винт!.. Если бы возможны были подобные механизмы, то проще всего было бы устроить так: перекинуть веревку через блок и привязать к ее концам одинаковые гири — когда один груз опускался бы, он приподнимал бы тем самым другой груз, а тот, опускаясь с этой высоты, поднимал бы первый. Чем не вечный двигатель?

Мыльные пузыри

Умеете ли вы выдувать мыльные пузыри? Это не так просто, как кажется. И мне казалось, что здесь никакой сноровки не нужно, пока я не убедился на деле, что уменье выдувать большие и красивые пузыри — своего рода искусство, требующее упражнения. Но стоит ли заниматься таким пустым делом, как выдувание мыльных пузырей?

В общежитии они пользуются худой славой; по крайней мере, в разговоре мы вспоминаем о них для не особенно лестных уподоблений. Совсем иначе смотрит на них физик. «Выдуйте мыльный пузырь, — писал великий английский ученый Кельвин, — и смотрите на него: вы можете заниматься всю жизнь его изучением, не переставая извлекать из него уроки физики».

Действительно, волшебные переливы красок на поверхности тончайших мыльных пленок дают физику возможность измерить длину световых волн, а исследование натяжения этих нежных пленок помогает изучать законы действия сил между частицами, — тех сил сцепления, при отсутствии которых в мире не существовало бы ничего, кроме тончайшей пыли.

Те немногие опыты, которые описаны ниже, не преследуют столь серьезных задач. Это просто интересное развлечение, которое лишь познакомит нас с искусством выдувания мыльных пузырей. Английский физик Ч. Бойс в книге «Мыльные пузыри» подробно описал длинный ряд разнообразных опытов с ними. Интересующихся мы

и отсылаем к этой превосходной книге, здесь же опишем лишь простейшие опыты.

Их можно производить с раствором простого хозяйственного мыла*, но для желающих мы укажем на чисто оливковое или миндальное мыло, которое наиболее пригодно для получения крупных и красивых мыльных пузырей. Кусок такого мыла разводят осторожно в чистой холодной воде, пока не получится довольно густой раствор. Всего лучше пользоваться чистой дождевой или снеговой водой, а за неимением их — кипяченой и охлажденной водой. Чтобы пузыри держались долго, Плато советует прибавлять к мыльному раствору $^1/_3$ глицерина (по объему). С поверхности раствора удаляют ложкой пену и пузырьки, а затем погружают в него тонкую глиняную трубочку, конец которой изнутри и извне вымазан предварительно мылом. Достигают хороших результатов и с помощью соломинок, длиной сантиметров в 10, крестообразно расщепленных на конце.

Выдувают пузырь так: окунув трубку в раствор, держа трубку отвесно, так, чтобы на конце ее образовалась пленка жидкости, осторожно дуют в нее. Так как пузырь наполняется при этом теплым воздухом наших легких, который легче окружающего комнатного воздуха, то выдутый пузырь тотчас же поднимается вверх.

Если удастся сразу выдуть пузырь сантиметров в 10 диаметром, то раствор годен; в противном случае прибавляют в жидкость еще мыла до тех пор, пока можно будет выдувать пузыри указанного размера. Но этого испытания мало. Выдув пузырь, обмакивают палец в мыльный раствор и стараются пузырь проткнуть; если он не лопнет, то можно приступить к опытам; если же пузырь не выдержит — надо прибавить еще немного мыла.

Производить опыты нужно медленно, осторожно, спокойно. Освещение должно быть по возможности яркое, иначе пузыри не покажут своих радужных переливов.

Вот несколько занимательных опытов с пузырями.

Мыльный пузырь вокруг цветка. В тарелку или на поднос наливают мыльного раствора настолько, чтобы дно тарелки было покрыто слоем в 2–3 мм; в середину кладут цветок или вазочку и накрывают стеклянной воронкой. Затем, медленно поднимая воронку, дуют в ее узкую трубочку — образуется мыльный пузырь; когда же этот пузырь достигнет достаточных размеров, наклоняют воронку, как показано

* Туалетные сорта для этой цели менее пригодны.

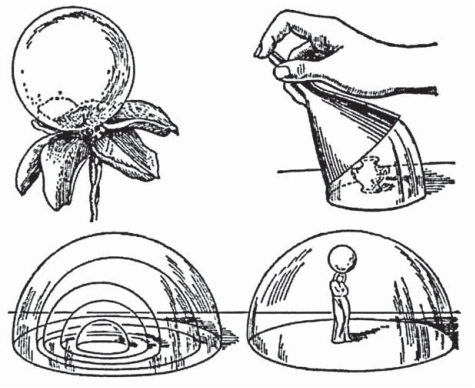


Рис. 66. Опыты с мыльными пузырями: пузырь на цветке; пузырь вокруг вазы; ряд пузырей друг в друге; пузырь на статуэтке внутри другого пузыря



Рис. 67. Как получить мыльную фигуру в форме цилиндра

на рис. 66, высвобождая из-под нее пузырь. Тогда цветок окажется лежащим под прозрачным полукруглым колпаком из мыльной пленки, переливающейся всеми цветами радуги.

Вместо цветка можно взять *статуэтку*, увенчав ее голову мыльным пузырьком (см. рис. 66). Для этого необходимо предварительно капнуть на голову статуэтки немного раствора, а затем, когда большой пузырь уже выдут, проткнуть его и выдуть внутри его маленький.

Несколько пузырей друг в друге (см. рис. 66). Из воронки, употребленной для описанного опыта, выдувают, как и в том случае, большой мыльный пузырь. Затем совершенно погружают соломинку в мыльный раствор так, чтобы только кончик ее, который придется взять в рот, остался сухим, и просовывают ее осторожно через стенку первого пузыря до центра; медленно вытягивая затем соломинку обратно, не доводя ее, однако, до края, выдувают второй пузырь, заключенный в первом, в нем — третий, четвертый и т. д.

Цилиндр из мыльной пленки (рис. 67) получается между двумя проволочными кольцами. Для этого на нижнее кольцо спускают обыкновенный шарообразный пузырь, затем сверху к пузырю прикладывают смоченное второе кольцо и, поднимая его вверх, растягивают пузырь, пока он не сделается цилиндрическим. Любопытно, что если вы поднимете верхнее кольцо на высоту бóльшую, чем длина окружности кольца, то цилиндр в одной половине сузится, в другой — расширится и затем распадется на два пузыря.

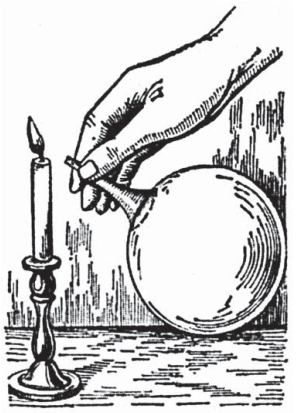


Рис. 68. Воздух вытесняется стенками мыльного пузыря

Пленка мыльного пузыря все время находится в натяжении и давит на заключенный в ней воздух; направив воронку к пламени свечи, вы можете убедиться, что сила тончайших пленок не так уж ничтожна: пламя заметно уклонится в сторону (рис. 68).

Интересно наблюдать за пузырем, когда он из теплого помещения попадает в холодное: он видимо уменьшается в объеме и, наоборот, раздувается, попадая из холодной комнаты в теплую. Причина кроется, конечно, в сжатии и расширении воздуха, заключенного внутри пузыря. Если, например, на морозе в −15 °С объем пузыря 1000 см^3 и он с мороза попал в помещение, где температура +15 °С, то он должен увеличиться в объеме примерно на

$$1000 \times 30 \times \frac{1}{273} = \text{около } 110 \text{ см}^3.$$

Следует отметить еще, что обычные представления о недолговечности мыльных пузырей не вполне правильны: при надлежащем обращении удается сохранить мыльный пузырь в продолжение целых декад. Английский физик Дьюар (прославившийся своими работами по сжижению воздуха) хранил мыльные пузыри в особых бутылках, хорошо защищенных от пыли, высыхания и сотрясения воздуха; при таких условиях ему удалось сохранять некоторые пузыри месяц и более. Лоренсу в Америке удавалось годами сохранять мыльные пузыри под стеклянным колпаком.

Что тоньше всего?

Немногие, вероятно, знают, что пленка мыльного пузыря представляет собой одну из самых тонких вещей, какие доступны невооруженному зрению. Обычные предметы сравнения, служащие в нашем языке для выражения тонкости, чрезвычайно грубы по сравнению с мыльной пленкой. «Тонкий, как волос», «тонкий, как папиросная бумага» — означают огромную толщину рядом с толщиной стенки

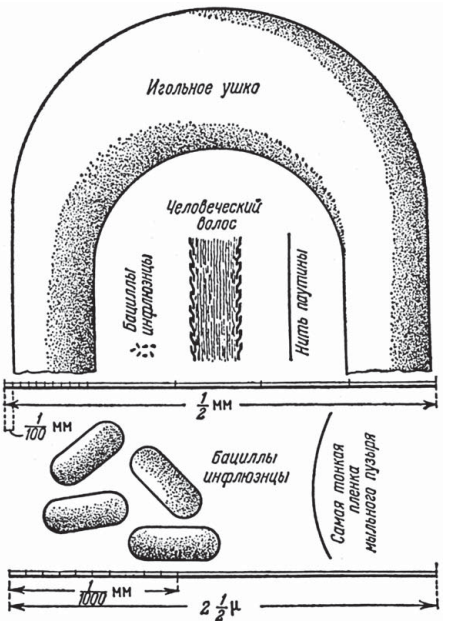


Рис. 69. *Вверху* — игольное ушко, человеческий волос, бациллы и паутинная нить, увеличенные в 200 раз. *Внизу* — бациллы и толщина мыльной пленки, увеличенные в 40 000 раз. 1μ = 0,0001 см

мыльного пузыря, которая в 5000 раз тоньше волоса и папиросной бумаги. При увеличении в 200 раз человеческий волос имеет толщину около сантиметра, разрез же мыльной пленки даже в таком увеличении еще недоступен зрению. Требуется увеличение еще в 200 раз, чтобы разрез стенки мыльного пузыря усматривался в виде тонкой линии; волос же при таком увеличении (в 40 000 раз!) будет иметь свыше 2 м в толщину. Рис. 69 дает наглядное представление об этих соотношениях.

Сухим из воды

Положите монету на большую плоскую тарелку, налейте столько воды, чтобы она покрыла монету, и предложите гостям взять ее прямо руками, не замочив пальцев.

Эта, казалось бы, невозможная задача довольно просто решается с помощью стакана и горящей бумажки. Зажгите бумажку, положи-



Рис. 70. Как собрать всю воду на тарелке под стакан, опрокинутый вверх дном

те ее горящей внутрь стакана и быстро поставьте стакан на тарелку близ монеты, дном вверх. Бумажка погаснет, стакан наполнится белым дымом, а затем под ним сама собой соберется вся вода с тарелки. Монета же, конечно, останется на месте, и через минуту, когда она обсохнет, вы сможете взять ее, не замочив пальцев.

Какая сила вогнала воду в стакан и поддерживает ее на определенной высоте? Атмосферное давление. Горящая бумажка нагрела в стакане воздух, давление его от этого возросло, и часть газа вышла наружу. Когда бумажка погасла, воздух снова остыл, но при охлаждении его давление ослабело и под стакан вошла вода, вгоняемая туда давлением наружного воздуха.

Вместо бумажки можно пользоваться спичками, воткнутыми в пробочный кружок, как показано на рис. 70.

Весьма нередко приходится слышать и даже читать неверное объяснение этого старинного опыта*. А именно говорят, что при этом «сгорает кислород» и потому количество газа под стаканом уменьшается.

Такое объяснение грубо ошибочно. Главная причина только в *нагревании* воздуха, а вовсе не в поглощении части кислорода горящей бумажкой. Это следует, во-первых, из того, что можно обойтись и без горящей бумажки, а просто нагреть стакан, сполоснув его кипятком. Во-вторых, если вместо бумажки взять смоченную спиртом вату, которая горит дольше и сильнее нагревает воздух, то вода поднимается чуть не до половины стакана; между тем известно, что кислород составляет только $^1/_5$ всего объема воздуха. Наконец, нужно иметь

* Первое его описание и правильное объяснение находим у древнего физика Филона Византийского, жившего около I в. до н. э.

в виду, что вместо «сгоревшего» кислорода образуется углекислый газ и водяной пар; первый, правда, растворяется в воде, но пар остается, занимая отчасти место кислорода.

Как мы пьем?

Неужели и над этим можно задуматься? Конечно. Мы приставляем стакан или ложку с жидкостью ко рту и «втягиваем» в себя их содержимое. Вот это-то простое «втягивание» жидкости, к которому мы так привыкли, и надо объяснить. Почему в самом деле жидкость устремляется к нам в рот? Что ее увлекает? Причина такова: при питье мы расширяем грудную клетку и тем разрежаем воздух во рту; *под давлением наружного воздуха* жидкость устремляется в то пространство, где давление меньше, и таким образом проникает в наш рот. Здесь происходит то же самое, что произошло бы с жидкостью в сообщающихся сосудах, если бы над одним из этих сосудов мы стали разрежать воздух: под давлением атмосферы жидкость в этом сосуде поднялась бы. Наоборот, захватив губами горлышко бутылки, вы никакими усилиями не «втянете» из нее воду в рот, так как давление воздуха во рту и над водой одинаково.

Итак, строго говоря, мы пьем не только ртом, но и *легкими*; ведь расширение легких — причина того, что жидкость устремляется в наш рот.

Улучшенная воронка

Кому случалось наливать через воронку жидкость в бутылку, тот знает, что нужно время от времени воронку приподнимать, иначе жидкость из нее не выливается. Воздух в бутылке, не находя выхода, удерживает своим давлением жидкость в воронке. Правда, немного жидкости стечет вниз, так что воздух в бутылке чуть сожмется давлением жидкости. Но стесненный в уменьшенном объеме воздух будет иметь увеличенную упругость, достаточную, чтобы уравновесить своим давлением вес жидкости в воронке. Понятно, что, приподнимая воронку, мы открываем сжатому воздуху выход наружу, и тогда жидкость вновь начинает литься.

Поэтому весьма практично устраивать воронки так, чтобы суженная часть их имела продольные гребни на наружной поверхности, гребни, мешающие воронке вплотную приставать к горлышку.

Тонна дерева и тонна железа

Общеизвестен шуточный вопрос: что тяжелее — тонна дерева или тонна железа? Не подумавши, обыкновенно отвечают, что тонна железа тяжелее, вызывая дружный смех окружающих.

Шутники, вероятно, еще громче рассмеются, если им ответят, что тонна дерева тяжелее, чем тонна железа. Такое утверждение кажется уж ни с чем не сообразным, — и однако, строго говоря, это ответ верный!

Дело в том, что закон Архимеда применим не только к жидкостям, но и к газам. Каждое тело в воздухе теряет из своего веса столько, сколько весит вытесненный телом объем воздуха.

Дерево и железо тоже, конечно, теряют в воздухе часть своего веса. Чтобы получить истинные их веса, нужно потерю прибавить. Следовательно, истинный вес дерева в нашем случае равен 1 тонне + вес воздуха в объеме дерева; истинный вес железа равен 1 тонне + вес воздуха в объеме железа.

Но тонна дерева занимает гораздо больший объем, нежели тонна железа (раз в 15), поэтому истинный вес тонны дерева больше истинного веса тонны железа! Выражаясь точнее, мы должны были бы сказать: истинный вес того дерева, которое в воздухе весит тонну, больше истинного веса того железа, которое весит в воздухе также одну тонну.

Так как тонна железа занимает объем в $^1/_8$ м^3, а тонна дерева — около 2 м^3, то разность в весе вытесняемого ими воздуха должна составлять около 2,5 кг. Вот насколько тонна дерева в действительности тяжелее тонны железа!

Человек, который ничего не весил

Быть легким не только как пушинка, но и стать легче воздуха*, чтобы, избавившись от докучных оков тяжести, свободно подняться высоко над землей, куда угодно, — вот мечта, которая с детства кажется многим заманчивой. При этом обыкновенно забывают об од-

* Пушинка, вопреки распространенному мнению, не только не легче воздуха, но в сотни раз тяжелее его. Парит же она в воздухе лишь потому, что обладает весьма большой поверхностью, так что сопротивление воздуха ее движению велико по сравнению с ее весом.

ном — что люди могут свободно двигаться на Земле только потому, что они *тяжелее воздуха*. В сущности, «мы живем на дне воздушного океана», — как провозгласил Торичелли, и если бы почему-либо мы сделались вдруг в тысячу раз легче — стали бы легче воздуха, — то неизбежно должны были бы всплыть к поверхности этого воздушного океана. С нами случилось бы то же, что произошло с пушкинским гусаром: «Всю склянку выпил; верь не верь — но кверху вдруг взвился я пухом». Мы поднялись бы вверх на целые километры, пока не достигли бы области, где плотность разреженного воздуха равна плотности нашего тела. Мечты о свободном витании над горами и долинами рассыпались бы прахом, так как, освободившись от оков тяжести, мы сделались бы пленниками другой силы — атмосферных течений.

Писатель Уэллс избрал такое необыкновенное положение сюжетом для одного из своих научно-фантастических рассказов. Чересчур полный человек желал во что бы то ни стало избавиться от своей полноты. А у рассказчика будто бы как раз имелся чудодейственный рецепт, который обладал способностью избавлять тучных людей от их чрезмерного веса. Толстяк выпросил у него рецепт, принял лекарство, — и вот какого рода неожиданные сюрпризы поразили рассказчика, когда, придя навестить своего знакомца, он постучал у его дверей:

«Дверь долго не открывалась. Я слышал, как повернулся ключ, затем голос Пайкрафта (так звали толстяка. — *Я. П.*) произнес:

— Войдите.

Я повернул ручку и открыл дверь. Естественно, я ожидал увидеть Пайкрафта.

И знаете ли — его не было! Кабинет был в беспорядке: тарелки и блюда стояли между книгами и письменными принадлежностями, несколько стульев было опрокинуто, но Пайкрафта не было...

— Я здесь, старина! Закройте дверь, — сказал он.

И тогда я нашел его. Он находился у самого карниза, в углу у двери, точно кто-нибудь приклеил его к потолку. Лицо у него было сердитое и выражало страх.

— Если что-нибудь подастся, то вы, Пайкрафт, упадете и сломаете себе шею, — сказал я.

— Я рад был бы этому, — заметил он.

— Человеку ваших лет и вашего веса предаваться такой гимнастике... Однако как вы там, черт возьми, держитесь? — спросил я.

И вдруг я увидел, что он вовсе не держится, а плавает там наверху, как надутый газом пузырь.



Рис. 71. «„Я здесь, старина!..“ — сказал Пайкрафт»

Он сделал усилие, чтобы оторваться от потолка и сползти вдоль стены ко мне. Он ухватился за рамку гравюры, она подалась, и он снова полетел к потолку. Он хлопнулся о потолок, и тогда я догадался, почему выдающиеся части и углы его тела запачканы мелом. Он снова, с большой осторожностью, попробовал спуститься при помощи камина.

— Это лекарство, — запыхтел он, — было слишком действенно. Потеря веса почти абсолютная.

Тут я все понял.

— Пайкрафт! — сказал я. — Ведь вам нужно было лечение от *полноты*, а вы всегда называли это *весом*... Да постойте же, я вам помогу, — сказал я, взяв несчастного за руки и дергая вниз.

Он заплясал по комнате, стараясь твердо встать где-нибудь. Курьезное зрелище! Это было очень похоже на то, как если бы я в ветреный день старался удержать парус.

— Стол этот, — сказал несчастный Пайкрафт, изнемогавший от пляски, — очень прочен и тяжел. Если бы вам удалось засунуть меня под него...

Я это сделал. Но и засунутый под письменный стол, он шатался там, как привязанный воздушный шар, ни минуты не оставаясь в покое.

— Одно лишь очевидно, — сказал я, — именно то, чего вы не должны делать. Если вы вздумаете выбраться, например, из дома, то будете подниматься все выше и выше...

Я подал мысль, что следует приспособиться к своему новому положению. Я намекнул, что ему нетрудно будет научиться ходить по потолку на руках.

— Я не могу спать, — пожаловался он.

Я указал ему, что вполне возможно прикрепить к кроватной сетке мягкий тюфяк, привязать к нему все нижние предметы тесьмами и застегивать на боку одеяло и простыню.

Ему воздвигли в комнате лестницу, и все кушанья ставились на библиотечный шкаф. Мы напали также на остроумную выдумку, благодаря которой Пайкрафт мог спуститься на пол, когда желал: она просто заключалась в том, что „Британская энциклопедия“ была помещена на верхнюю полку открытого шкафа. Толстяк сейчас же вытащил пару томов и, держа их в руках, спустился на пол.

Я провел в его квартире целых два дня. С буравчиком и молотком в руках я соорудил здесь всевозможные остроумные приспособления для него: провел проволоку, чтобы он мог достать звонки, и т. д.

Я сидел возле камина, а он висел в своем любимом углу, у карниза, прибивая турецкий ковер к потолку, когда мне в голову пришла мысль.

— Э, Пайкрафт! — воскликнул я. — Все это совершенно излишне! Свинцовая подкладка под одеждой, и дело сделано!

Пайкрафт чуть не расплакался от радости.

— Купите, — сказал я, — листового свинца и нашейте его под свое платье. Носите сапоги со свинцовыми подошвами, держите в руках чемодан из цельного свинца, и готово дело! Вы не будете уже тогда пленником здесь; можете поехать за границу, можете путешествовать. Вам никогда не придется бояться кораблекрушения: стоит вам только сбросить с себя некоторые части одежды или всю ее, и вы всегда сможете полететь по воздуху».

Все это представляется с первого взгляда вполне согласным с законами физики. Нельзя, однако, оставить без возражений иных подробностей рассказа. Наиболее серьезное возражение — то, что, утратив вес своего тела, толстяк все же не поднялся бы к потолку!

В самом деле, по закону Архимеда, Пайкрафт должен был бы «всплыть» к потолку в том случае, если бы вес его платья, со всем содержимым его карманов, был меньше веса воздуха, вытесняемого тучным его телом. Чему равен вес воздуха в объеме человеческого тела, нетрудно вычислить, если вспомнить, что вес нашего тела почти равен весу такого же объема воды. Мы весим килограммов 60, вода в равном объеме — около того же, а воздух обычной плотности в 770 раз легче воды; значит, в объеме, равном объему нашего тела, воздух весит 80 г. Как ни грузен был мистер Пайкрафт, он едва ли весил больше 100 кг и, следовательно, не мог вытеснить больше 130 г. Неужели же костюм, обувь, бумажник и все прочее, что было на Пайкрафте, весило не больше 130 г? Конечно больше. А если так, то толстяк должен был оставаться на полу комнаты, правда в довольно неустойчивом положении, но все же не всплывать к потолку, «как привязанный воздушный шар». Только раздевшись донага, Пайкрафт должен был бы действительно всплыть к потолку. В одежде же он должен был бы уподобиться человеку, подвязанному к шару-прыгуну; небольшое усилие мускулов, легкий прыжок уносил бы его высоко над землей, откуда он в безветренную погоду плавно опускался бы обратно*.

* Подробно о шарах-прыгунах см. главу четвертую моей книги «Занимательная механика».

Вечные часы

В этой книге мы рассмотрели уже несколько мнимых вечных двигателей и выяснили безнадежность попыток их изобрести. Теперь побеседуем о даровом двигателе, т. е. о таком двигателе, который способен работать неопределенно долго без всяких забот с нашей стороны, так как черпает нужную ему энергию из неистощимых ее запасов в окружающей среде. Все, конечно, видели барометр — ртутный или металлический. В первом барометре вершина ртутного столбика постоянно то поднимается, то опускается, в зависимости от перемен атмосферного давления; в металлическом — от той же причины постоянно колеблется стрелка. В XVIII веке один изобретатель использовал эти движения барометра для завода часового механизма и таким образом построил часы, которые сами собой заводились и шли безостановочно, не требуя никакого завода. Известный английский механик и астроном Фергюссон видел это интересное изобретение и отозвался о нем (в 1774 году) так:

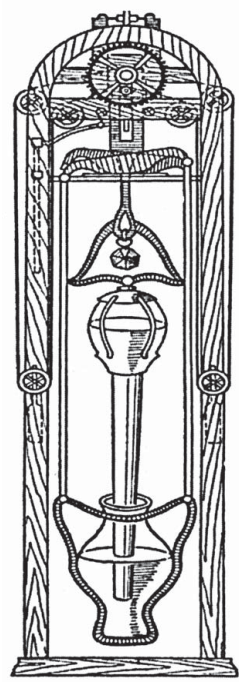


Рис. 72. Устройство дарового двигателя XVIII века

«Я осмотрел вышеописанные часы, которые приводятся в непрерывное движение подъемом и опусканием ртути в своеобразно устроенном барометре; нет основания думать, чтобы они когда-либо остановились, так как накопляющаяся в них двигательная сила была бы достаточна для поддержания часов в ходу на целый год даже после полного устранения барометра. Должен сказать со всей откровенностью, что, как показывает детальное знакомство с этими часами, они являются самым остроумным механизмом, какой мне когда-либо случалось видеть, — и по идее, и по выполнению».

К сожалению, часы эти не сохранились до нашего времени — они были похищены, и местонахождение их неизвестно. Остались, впрочем, чертежи их конструкции, выполненные упомянутым астрономом, так что есть возможность их восстановить.

В состав механизма этих часов входит ртутный барометр крупных размеров. В стеклянной урне, подвешенной в раме, и в опрокинутой над ней горлышком вниз большой колбе заключается

около 150 кг ртути. Оба сосуда укреплены подвижно один относительно другого; искусной системой рычагов достигается то, что при увеличении атмосферного давления колба опускается и урна поднимается, при уменьшении же давления — наоборот. Оба движения заставляют вращаться небольшое зубчатое колесо всегда в одну сторону. Колесо неподвижно только при полной неизменности атмосферного давления, но во время пауз механизм часов движется прежде накопленной энергией падения гирь. Нелегко устроить так, чтобы гири одновременно поднимались вверх и двигали своим падением механизм. Однако старинные часовщики были достаточно изобретательны, чтобы справиться с этой задачей. Оказалось даже, что энергия колебаний атмосферного давления заметно превышала потребность, т. е. гири поднимались быстрее, чем опускались; понадобилось поэтому особое приспособление для периодического выключения падающих гирь, когда они достигали высшей точки.

Легко видеть важное принципиальное отличие этого и подобных ему даровых двигателей от вечных двигателей. В даровых двигателях энергия не создается из ничего, как мечтали устроить изобретатели вечного двигателя; она черпается извне, в нашем случае — из окружающей атмосферы, где она накопляется солнечными лучами. Практически даровые двигатели были бы столь же выгодны, как и настоящие вечные двигатели, если бы конструкция их была не слишком дорога по сравнению с доставляемой ими энергией (как в большинстве случаев и бывает).

Немного далее мы познакомимся с другими типами дарового двигателя и покажем на примере, почему промышленное использование подобных механизмов оказывается, как правило, совершенно невыгодным.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Когда Октябрьская железная дорога длиннее — летом или зимой?

На вопрос: «Какой длины Октябрьская железная дорога?» — кто-то ответил:

— Шестьсот сорок километров в среднем; летом метров на триста длиннее, чем зимой.

Неожиданный ответ этот не так нелеп, как может показаться. Если длиной железной дороги называть длину *сплошного* рельсового пути, то он и в самом деле должен быть летом длиннее, чем зимой. Не забудем, что от нагревания рельсы удлиняются — на каждый градус Цельсия более чем на одну 100 000-ю своей длины. В знойные летние дни температура рельса может доходить до 30–40° и выше; иногда рельс нагревается солнцем так сильно, что обжигает руку. В зимние морозы рельсы охлаждаются до –25° и ниже. Если остановиться на разнице в 55° между летней и зимней температурами, то, умножив общую длину пути 640 км на 0,00001 и на 55, получим около $^1/_3$ км! Выходит, что и в самом деле рельсовый путь между Москвой и Ленинградом летом на треть километра, т. е. примерно метров на 300, длиннее, нежели зимой.

Изменяется здесь, конечно, не длина дороги, а только сумма длин всех рельсов. Это не одно и то же, потому что рельсы железнодорожного пути не примыкают друг к другу вплотную: между их стыками оставляются небольшие промежутки — запас для свободного удлинения рельсов при нагревании*. Наше вычисление показывает,

* Зазор этот, при длине рельсов 8 м, должен иметь при 0° размер 6 мм. Для полного закрытия такого зазора нужно повышение температуры рельса до 65 °С. При укладке *трамвайных* рельсов нельзя, по техническим условиям, оставлять зазоров. Это обычно не вызывает искривления рельсов, так как вследствие погружения их в почву температурные колебания не так велики, да и самый способ скрепления рельсов препятствует боковому их искривлению. Однако в очень сильный зной трамвай-

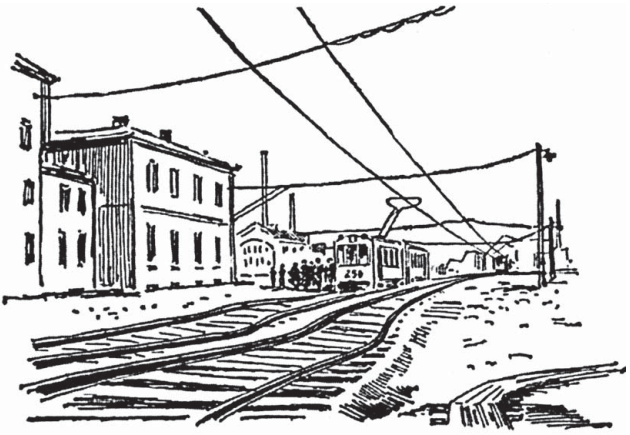


Рис. 73. Изгибание трамвайных рельсов вследствие сильного нагревания

что сумма длин всех рельсов увеличивается за счет общей длины этих пустых промежутков; общее удлинение в летние знойные дни достигает 300 м по сравнению с величиной ее в сильный мороз. Итак, *железная* часть Октябрьской дороги действительно летом на 300 м длиннее, нежели зимой.

Безнаказанное хищение

На линии Ленинград — Москва каждую зиму пропадает совершенно бесследно несколько сотен метров дорогóй телефонной и телеграфной проволоки, и никто этим не обеспокоен, хотя виновник исчезновения хорошо известен. Конечно, и вы знаете его: похититель этот — мороз. То, что мы говорили о рельсах, вполне применимо и к проводам, с той лишь разницей, что медная телефонная проволока удлиняется от теплоты в 1,5 раза больше, чем сталь. Но здесь уже нет никаких пустых промежутков, и потому мы без всяких оговорок можем утверждать, что *телефонная линия Ленинград — Москва зимой*

ные рельсы все же искривляются, как наглядно показывает прилагаемый рис. 73, исполненный с фотографии.

То же случается иногда и с рельсами железнодорожного пути. Дело в том, что на уклонах подвижной состав поезда при движении увлекает рельсы за собой (иной раз даже вместе со шпалами), в итоге на таких участках пути зазоры нередко исчезают и рельсы прилегают друг к другу концами вплотную.

метров на 500 короче, нежели летом. Мороз безнаказанно каждую зиму похищает чуть не полкилометра проволоки, не внося, впрочем, никакого расстройства в работу телефона или телеграфа и аккуратно возвращая похищенное при наступлении теплого времени.

Но когда такое сжатие от холода происходит не с проводами, а с мостами, последствия бывают подчас весьма ощутимы. Вот что сообщали в декабре 1927 года газеты о подобном случае:

«Необычайные для Франции морозы, стоящие в течение нескольких дней, послужили причиной серьезного повреждения моста через Сену, в самом центре Парижа. Железный остов моста от мороза сжался, отчего вздулись и затем рассыпались кубики на покрывающей его мостовой. Проезд по мосту временно закрыт».

Высота Эйфелевой башни

Если теперь нас спросят, какова высота Эйфелевой башни, то прежде, чем ответить: «Триста метров», вы, вероятно, осведомитесь: «В какую погоду — холодную или теплую?»

Ведь высота столь огромного железного сооружения не может быть одинакова при всякой температуре. Мы знаем, что железный стержень длиной 300 м удлиняется на 3 мм при нагревании его на один градус. Приблизительно на столько же должна возрастать и высота Эйфелевой башни при повышении температуры на 1°. В теплую, солнечную погоду железный материал башни может нагреться в Париже градусов до +40, между тем как в холодный, дождливый день температура его падает до +10°, а зимою до 0°, даже до −10° (большие морозы в Париже редки). Как видим, колебания температуры доходят до 40 и более градусов. Значит, высота Эйфелевой башни может колебаться на 3 × 40 = 120 мм, или на 12 см (больше длины этой строки).

Прямые измерения обнаружили даже, что Эйфелева башня еще чувствительнее к колебаниям температуры, нежели воздух: она нагревается и охлаждается быстрее и раньше реагирует на внезапное появление солнца в облачный день. Изменения высоты Эйфелевой башни были обнаружены с помощью проволоки из особой никелевой стали, обладающей способностью почти не изменять своей длины при колебаниях температуры. Замечательный сплав этот носит название «инвар» (от латинского «неизменный»).

Итак, в жаркий день вершина Эйфелевой башни поднимается выше, чем в холодный, на кусочек, равный длине этой строки и сделанный из железа, которое, впрочем, не стоит ни одного лишнего сантима.

От чайного стакана к водомерной трубке

Раньше чем разлить чай по стаканам, опытная хозяйка, заботясь об их целости, не забывает положить в них ложки, особенно если они серебряные. Житейский опыт выработал вполне правильный прием. На чем он основан?

Уясним себе прежде, почему вообще стаканы трескаются от горячей воды.

Причина — неравномерное расширение стекла. Горячая вода, налитая в стакан, прогревает его стенки не сразу: сначала нагревается внутренний слой стенок, в то время как наружный не успевает еще нагреться. Нагретый внутренний слой тотчас же расширяется, наружный же остается пока неизменным и испытывает, следовательно, сильный напор изнутри. Происходит разрыв — стекло лопается.

Не думайте, что вы обеспечите себя от таких «сюрпризов», если обзаведетесь толстыми стаканами. Толстые стаканы — как раз самые непрочные в этом отношении: они лопаются чаще, нежели тонкие. Это и понятно: тонкая стенка прогревается быстрее, в ней быстрее устанавливаются равномерная температура и одинаковое расширение, — не так, как в толстом, медленно прогревающемся слое стекла.

Об одном только не надо забывать, выбирая тонкую стеклянную посуду: тонкими должны быть не только боковые стенки, но и дно стакана. При наливании горячей воды нагревается главным образом дно; если оно толсто, стакан растрескается, как бы тонки ни были его стенки. Легко лопаются также стаканы и фарфоровые чашки с толстым кольцеобразным выступом внизу.

Чем стеклянный сосуд тоньше, тем увереннее можно подвергать его нагреванию. Химики пользуются очень тонкими сосудами и кипятят в них воду прямо на горелке, не тревожась за целость сосуда.

Конечно, идеальной посудой была бы такая, которая вовсе не расширялась бы при нагревании. Чрезвычайно мало расширяется *кварц* — в 15–20 раз меньше, чем стекло. Толстый сосуд из прозрачного кварца может быть как угодно нагрет — он не лопнет. Мож-

но смело бросить кварцевый сосуд, нагретый до красного каления, в ледяную воду, не опасаясь за его целость*. Это связано отчасти и с тем, что теплопроводность у кварца значительно больше, чем у стекла.

Стаканы лопаются не только при быстром нагревании, но и при резком охлаждении. Причина — неравномерное *сжатие*: наружный слой, охлаждаясь, стягивается и сильно сдавливает внутренний слой, еще не успевший охладиться и сжаться. Поэтому не следует, например, банку с горячим вареньем выставлять на резкий холод, погружать в холодную воду и т. п.

Вернемся, однако, к чайной ложечке в стакане. На чем основано ее предохраняющее действие?

Резкое различие в нагревании внутреннего и наружного слоев стенок бывает лишь тогда, когда в стакан сразу наливается очень горячая вода; вода теплая не вызывает резкой разницы в нагревании, следовательно, и в натяжении различных частей стекла. От теплой воды посуда не лопается. Что же происходит, если в стакан положена ложечка? Попав на дно, горячая жидкость, прежде чем нагреть стекло (которое плохо проводит тепло), успевает отдать часть своей теплоты хорошему проводнику — металлу; температура жидкости понижается; из горячей она делается теплой и потому почти безвредной. Дальнейшее же приливание горячего чая не столь уже опасно для стакана, так как он успел немного прогреться.

Словом, металлическая ложка в стакане (особенно если она массивна) сглаживает неравномерность нагревания стакана и тем предотвращает растрескивание стекла.

Но почему лучше, если ложка серебряная? Потому что серебро — хороший проводник тепла; серебряная ложка быстрее отнимает теплоту от воды, нежели медная. Вспомните, как серебряная ложка в стакане с горячим чаем обжигает руку! По этому признаку вы даже можете безошибочно определять материал ложки: медная ложка пальцев не обжигает.

Неравномерное расширение стеклянных стенок ставит под угрозу целость не только чайных стаканов, но и ответственных частей парового котла — его водомерных трубок, по которым определяется высота воды в котле. Внутренние слои этих стеклянных трубок, нагреваемые горячим паром и водой, расширяются больше наружных.

* Кварцевая посуда удобна для лабораторного употребления еще тем, что она очень тугоплавка: кварц размягчается только при 1700°.

К натяжению, порождаемому этой причиной, прибавляется еще сильное давление пара и воды в трубке, отчего она легко может лопнуть. Чтобы предотвратить это, изготовляют иногда водомерные трубки из двух слоев стекла разных сортов: внутренний слой имеет меньший коэффициент расширения, нежели наружный.

Легенда о сапоге в бане

«Отчего зимою день короткий и ночь длинная, а летом — наоборот? День зимою оттого короткий, что, подобно всем прочим предметам, видимым и невидимым, от холода сжимается, а ночь от возжения светильников и фонарей расширяется, ибо согревается».

Курьезное рассуждение «войска Донского отставного урядника» из рассказа Чехова вызывает у вас улыбку своей явной несообразностью. Однако люди, которые смеются над подобными «учеными» рассуждениями, нередко сами создают теории, пожалуй, столь же несообразные. Кому не приходилось слышать или даже читать о сапоге в бане, не влезающем на разгоряченную ногу будто бы потому, что «нога при нагревании увеличилась в объеме»? Этот знаменитый пример сделался чуть не классическим, а между тем ему дают совершенно превратное объяснение.

Прежде всего температура человеческого тела в бане почти не повышается; повышение температуры тела в бане не превосходит 1°, много 2° (на полке́). Человеческий организм успешно борется с тепловыми влияниями окружающей среды и поддерживает собственную температуру на определенной точке.

Но при нагревании на 1–2° увеличение объема нашего тела так ничтожно, что его нельзя заметить при надевании сапог. Коэффициент расширения твердых и мягких частей человеческого тела не превосходит нескольких десятитысячных. Следовательно, ширина ступни и толщина голени могли бы увеличиться всего на какую-нибудь сотую долю сантиметра. Неужели же сапоги шьются с точностью до 0,01 см — толщины волоса?

Но факт, конечно, несомненен: сапоги трудно надевать после бани. Причина, однако, не в тепловом расширении, а в приливе крови, в разбухании наружного покрова, во влажной поверхности кожи и тому подобных явлениях, не имеющих ничего общего с тепловым расширением.

Как устраивались чудеса

Древнегреческий механик Герон Александрийский, изобретатель фонтана, носящего его имя, оставил нам описание двух остроумных способов, с помощью которых египетские жрецы обманывали народ, внушая ему веру в чудеса.

На рис. 74 вы видите пустотелый металлический жертвенник, а под ним — скрытый в подземелье механизм, приводящий в движение двери храма. Жертвенник стоял снаружи его. Когда разводят огонь, воздух внутри жертвенника вследствие нагревания сильнее давит на воду в сосуде, скрытом под полом; из сосуда вода вытесняется по трубке и выливается в ведро, которое, опускаясь, приводит в действие механизм, вращающий двери (рис. 75). Изумленные зрители, ничего не подозревающие о скрытой под полом установке, видят перед собой «чудо»: как только на жертвеннике запылает огонь, двери храма, «внемля молитвам жреца», растворяются словно сами собой...

Другое мнимое «чудо», устраивавшееся жрецами, изображено на рис. 76. Когда на жертвеннике запылает пламя, воздух, расширяясь, выводит масло из нижнего резервуара в трубки, скрытые внутри фигур жрецов, и тогда масло чудесным образом само подливается в огонь... Но стоило жрецу, заведующему этим жертвенником, неза-

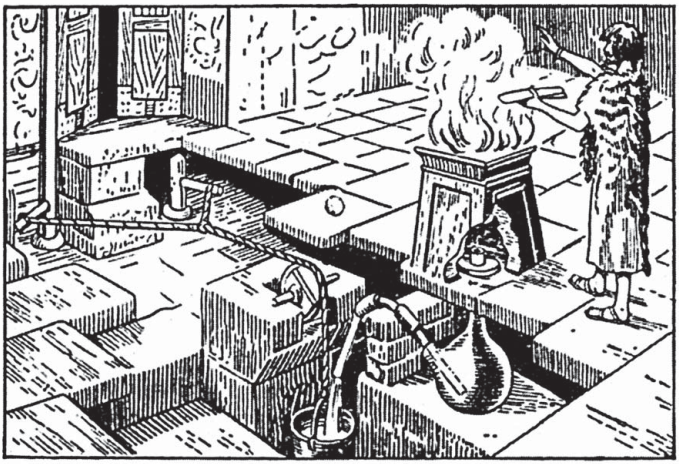


Рис. 74. Разоблачение «чуда» египетских жрецов: двери храма открываются действием жертвенного огня

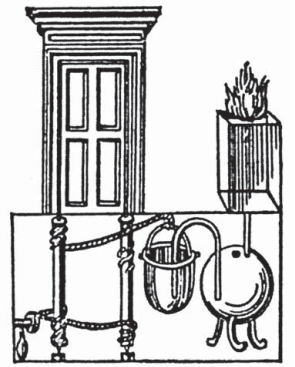


Рис. 75. Схема устройства дверей храма, которые сами открываются, когда на жертвеннике пылает огонь (см. рис. 74)



Рис. 76. Другое мнимое «чудо» древности: масло само подливается в жертвенное пламя

метно вынуть пробку из крышки резервуара — и излияние масла прекращалось (потому что избыток воздуха свободно выходил через отверстие); к этой уловке жрецы прибегали тогда, когда приношение молящихся было слишком скудно.

Часы без завода

Мы уже описывали раньше *(Глава 5*, «Вечные часы») часы без завода (вернее, без специального завода), устройство которых основано на переменах в давлении атмосферы. Опишем теперь подобные же самозаводящиеся часы, основанные на тепловом расширении.

Механизм их изображен на рис. 77. Главная часть его — стержни Z_1 и Z_2, сделанные из особого металлического сплава с большим коэффициентом расширения. Стержень Z_1 упирается в зубцы колеса X так, что при *удлинении* этого стержня от нагревания зубчатое колесо немного поворачивается. Стержень Z_2 зацепляет за зубцы колеса Y *при укорочении от холода* и поворачивает его в том же направ-

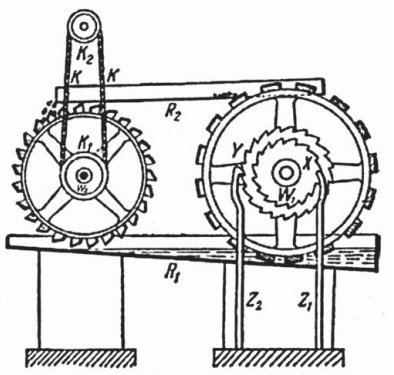


Рис. 77. Часы, которые заводятся сами собой

лении. Оба колеса насажены на вал W_1, при вращении которого поворачивается большое колесо с черпаками. Черпаки захватывают ртуть, налитую в нижний желоб, и переносят в верхний; отсюда ртуть течет к левому колесу, также с черпаками; наполняя последние, ртуть заставляет колесо вращаться; при этом приходит в движение цепь *KK*, охватывающая колеса K_1 (на общем валу W_2 с большим колесом) и K_2, последнее колесо закручивает заводную пружину часов.

Что же делается с ртутью, вылившейся из черпаков левого колеса? Она стекает по наклонному желобу R_1 снова к правому колесу, чтобы отсюда опять начать свое перемещение.

Механизм, как видим, должен двигаться, не останавливаясь, до тех пор, пока будут удлиняться или укорачиваться стержни Z_1 и Z_2. Следовательно, для завода часов необходимо только, чтобы температура воздуха попеременно то повышалась, то понижалась. Но это именно и происходит само собой, не требуя забот с нашей стороны: всякая перемена в температуре окружающего воздуха вызывает удлинение или укорочение стержней, вследствие чего медленно, по постоянно закручивается пружина часов.

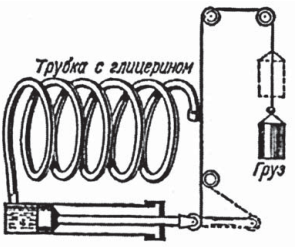


Рис. 78. Схема устройства самозаводящихся часов другого образца

Можно ли назвать эти часы вечным двигателем? Конечно нет. Часы будут идти неопределенно долго, пока не износится механизм, но источником их энергии служит теплота окружающего воздуха; работа теплового расширения накопляется этими часами по маленьким порциям, чтобы непрерывно расходовать ее на движение часовых стрелок. Это даровой двигатель, так как не требует забот и расходов на поддержание своей работы. Но он не творит энергии из ничего: первоисточником его энергии является теплота Солнца, согревающего Землю.

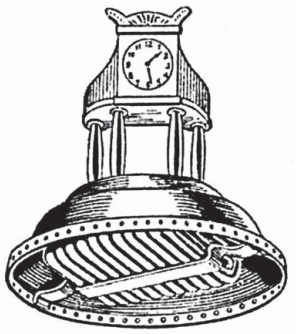


Рис. 79. Самозаводящиеся часы, в цоколе часов скрыта трубка с глицерином

Другой образчик самозаводящихся часов сходного устройства изображен на рис. 78 и 79. Здесь главной частью является глицерин, расширяющийся с повышением температуры воздуха и поднимающий при этом некоторый грузик; паде-

ние груза и движет механизм часов. Так как глицерин затвердевает лишь при –30 °С, а кипит при 290 °С, то механизм этот пригоден для часов на городских площадях и других открытых местах. Колебания температуры на 2° уже достаточно для обеспечения хода таких часов. Один экземпляр их испытывался в течение года и показал вполне удовлетворительный ход, хотя в течение всего года к механизму не прикасалась ничья рука.

Выгодно ли по тому же принципу устраивать двигатели более крупные? На первый взгляд кажется, что подобный даровой двигатель должен быть очень экономичен. Вычисление дает, однако, иной результат. Для завода обыкновенных часов на целые сутки нужно энергии всего около $^1/_7$ килограммометра. Это составляет в *секунду* круглым счетом 600 000-ю долю килограммометра; а так как лошадиная сила равна 75 кгм в секунду, то мощность одного часового механизма составляет всего 45 000 000-ю долю лошадиной силы. Значит, если стоимость расширяющихся стержней первых часов или приспособления вторых оценим хотя бы в одну копейку, то капитальный расход на одну лошадиную силу подобного двигателя составит

$$1 \text{ коп.} \times 45\,000\,000 = 450\,000 \text{ руб.}$$

Почти полмиллиона рублей на 1 лошадиную силу; пожалуй, дороговато для дарового двигателя...

Поучительная папироса

На коробке лежит папироса (рис. 80). Она дымится с обоих концов. Но дым, выходящий через мундштук, опускается *вниз*, между тем как с другого конца он вьется *вверх*. Почему? Ведь, казалось бы, с той и с другой стороны выделяется один и тот же дым.

Да, дым один и тот же, но над тлеющим концом папиросы имеется восходящее течение нагретого воздуха, которое и успевает охладиться и не увлекается уже вверх; а так как частицы дыма сами по себе тяжелее воздуха, то они и опускаются вниз.

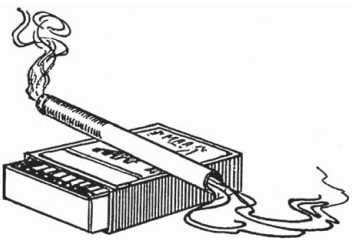


Рис. 80. Почему дым папиросы у одного конца поднимается вверх, у другого — опускается вниз?

Лед, не тающий в кипятке

Возьмите пробирку, наполните водой, погрузите в нее кусочек льда, а чтобы он не всплыл вверх (лед легче воды), придавите его свинцовой пулей, медным грузиком и т. п.; при этом, однако, вода должна иметь свободный доступ ко льду. Теперь приблизьте пробирку к спиртовой лампочке так, чтобы пламя лизало лишь верхнюю часть пробирки (рис. 81). Вскоре вода начинает кипеть, выделяя клубы пара. Но странная вещь: лед на дне пробирки не тает! Мы имеем перед собой словно маленькое чудо: лед, не тающий в кипящей воде...

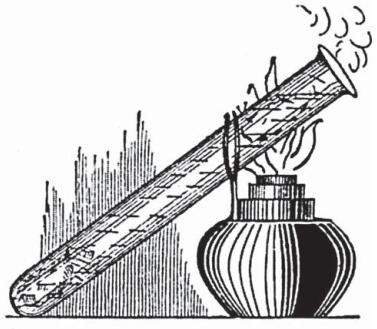


Рис. 81. Вода в верхней части кипит, между тем лед внизу не тает

Разгадка кроется в том, что на дне пробирки вода вовсе не кипит, а остается *холодной*; она кипит только вверху. У нас не «лед в кипятке», а «лед под кипятком». Расширяясь от тепла, вода становится легче и не опускается на дно, а остается в верхней части пробирки. Течения теплой воды и перемешивание слоев будут происходить лишь в верхней части пробирки и не захватят нижних, более плотных слоев. Нагревание может передаваться вниз лишь путем теплопроводности, но теплопроводность воды чрезвычайно мала.

На лед или под лед?

Желая нагреть воду, мы помещаем сосуд с водой над пламенем, а не сбоку от него. И поступаем вполне правильно, так как воздух, нагреваемый пламенем, становится более легким, вытесняется со всех сторон *кверху* и обтекает наш сосуд.

Следовательно, помещая нагреваемое тело над пламенем, мы используем теплоту источника самым выгодным образом.

Но как поступить, если мы хотим, напротив, *охладить* какое-либо тело с помощью льда? Многие, по привычке, помещают тело *надо* льдом — ставят, например, кувшин молока поверх льда. Это нецелесообразно: ведь воздух *надо льдом*, охладившись, *опускается вниз* и заменяется окружающим теплым воздухом. Отсюда практический вывод: если хотите остудить напиток или кушанье, помещайте его *не на лед, а под лед*.

Поясним подробнее. Если поставить сосуд с водой на лед, то охладится лишь самый нижний слой жидкости, остальная же часть будет окружена неохлажденным воздухом. Напротив, если положить кусок льда *поверх* крышки сосуда, то охлаждение его содержимого пойдет быстрее. Охлажденные верхние слои жидкости будут опускаться, заменяясь теплой жидкостью, поднимающейся снизу, пока не охладится вся жидкость в сосуде*. С другой стороны, охлажденный воздух вокруг льда также будет опускаться вниз и окружит собой сосуд.

Почему дует от закрытого окна?

Часто дует от окна, которое закрыто совершенно плотно и не имеет ни малейшей щели. Это кажется странным. Между тем здесь нет ничего удивительного.

Воздух комнаты почти никогда не находится в покое; в нем существуют невидимые для глаза течения, порождаемые нагреванием и охлаждением воздуха. От нагревания воздух разрежается и, следовательно, становится легче; от охлаждения, напротив, уплотняется, становится тяжелее. Легкий нагретый воздух от батареи центрального отопления или теплой печи вытесняется холодным воздухом вверх, к потолку, а воздух охлажденный, тяжелый, возле окон или холодных стен, стекает вниз, к полу.

Эти течения в комнате легко обнаружить с помощью детского воздушного шара, если подвязать к нему небольшой груз, чтобы шар не упирался в потолок, а свободно парил в воздухе. Выпущенный близ натопленной печки, такой шар путешествует по комнате, увле-

* Чистая вода охлаждается при этом не до 0°, а только до температуры 4 °С, при которой она имеет наибольшую плотность. Но на практике и не встречается надобности охлаждать напитки до нуля.

каемый невидимыми воздушными течениями: от печки под потолком к окну, там опускается к полу и возвращается к печке, чтобы вновь путешествовать по комнате.

Вот почему зимой мы чувствуем, как дует от окна, особенно у ног, хотя рама так плотно закрыта, что наружный воздух не может проходить сквозь щели.

Таинственная вертушка

Из тонкой папиросной бумаги вырежьте прямоугольничек. Перегните его по средним линиям и снова расправьте: вы будете знать, где центр тяжести вашей фигуры. Положите теперь бумажку на острие торчащей иглы так, чтобы игла подпирала ее как раз в этой точке.

Бумажка останется в равновесии: она подперта в центре тяжести. Но от малейшего дуновения она начнет вращаться на острие.

Пока приборчик не обнаруживает ничего таинственного. Но приблизьте к нему руку, как показано на рис. 82; приближайте осторожно, чтобы бумажка не была сметена током воздуха. Вы увидите странную вещь: бумажка начнет вращаться, сначала медленно, потом все быстрее. Отодвиньте руку — вращение прекратится. Приблизьте — опять начнется.

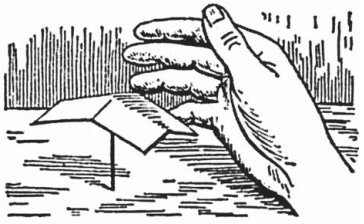


Рис. 82. Почему бумажка вертится?

Это загадочное вращение одно время — в семидесятых годах XIX века — давало многим повод думать, что тело наше обладает какими-то сверхъестественными свойствами. Любители мистического находили в этом опыте подтверждение своим туманным учениям об исходящей из человеческого тела таинственной силе. Между тем причина вполне естественна и очень проста: воздух, нагретый снизу вашей рукой, поднимается вверх и, напирая на бумажку, заставляет ее вращаться, подобно всем известной спиральной «змейке» над лампой, потому что, перегибая бумажку, вы придали ее частям легкий уклон.

Внимательный наблюдатель может заметить, что описанная вертушка вращается в определенном направлении — от запястья, вдоль ладони, к пальцам. Это можно объяснить разницей температур на-

званных частей руки: концы пальцев всегда холоднее, нежели ладонь; поэтому близ ладони образуется более сильный восходящий ток воздуха, который и ударяет в бумажку сильнее, чем ток, порождаемый теплотой пальцев*.

Греет ли шуба?

Что сказали бы вы, если бы вас стали уверять, будто шуба нисколько *не греет*? Вы подумали бы, конечно, что с вами шутят. А если бы вам стали доказывать это утверждение на ряде опытов? Проделайте, например, такой опыт. Заметьте, сколько показывает термометр, и закутайте его в шубу. Через несколько часов выньте. Вы убедитесь, что он не нагрелся даже и на четверть градуса: сколько показывал раньше, столько показывает и теперь. Вот и доказательство, что шуба не греет. Вы могли бы заподозрить, что шубы даже *холодят*. Возьмите два пузыря со льдом: один закутайте в шубу, другой оставьте в комнате незакрытым. Когда лед во втором пузыре растает, разверните шубу — вы увидите, что здесь он почти и не начинал таять. Значит, шуба не только не согрела лед, но как будто даже холодила его, замедляя таяние!

Что можно возразить? Как опровергнуть эти доводы? Никак. Шубы действительно не греют, если под словом «греть» разуметь *сообщение теплоты*. Лампа греет, печка греет, человеческое тело греет, потому что все эти предметы являются источниками теплоты. Но шуба в этом смысле слова нисколько не греет. *Она своего тепла не дает, а только мешает теплоте нашего тела уходить от него*. Вот почему теплокровное животное, тело которого само является источником тепла, будет чувствовать себя в шубе теплее, чем без нее. Но термометр не порождает собственного тепла, и его температура не изменится от того, что мы закутаем его в шубу. Лед, обернутый в шубу, дольше сохраняет свою низкую температуру, потому что шуба — весьма плохой проводник теплоты — замедляет доступ к нему тепла извне, от комнатного воздуха.

* Можно заметить также, что при лихорадке и вообще при повышенной температуре вертушка движется гораздо быстрее. Этому поучительному приборчику, когда-то многих смущавшему, было в свое время посвящено даже небольшое физико-физиологическое исследование, доложенное в Московском медицинском обществе в 1876 г. (Н. П. Нечаев. «Вращение легких тел действием тепла руки»).

В таком же смысле, как шуба, снег греет землю; будучи, подобно всем порошкообразным телам, плохим проводником тепла, он мешает теплу уходить из покрытой им почвы. В почве, защищенной слоем снега, термометр показывает нередко градусов на десять больше, чем в почве, не покрытой снегом.

Итак, на вопрос, греет ли нас шуба, надо ответить, что шуба только помогает нам греть самих себя. Вернее было бы говорить, что мы греем шубу, а не она нас.

Какое время года у нас под ногами?

Когда на поверхности земли лето, какое время года на глубине, например, трех метров под ее поверхностью?

Вы думаете, что и там лето? Ошибаетесь! Времена года на поверхности земли и в почве вовсе не одни и те же, как можно подумать. Почва чрезвычайно плохо проводит теплоту. В Ленинграде водопроводные трубы на глубине 2 м не замерзают в самые суровые морозы. Колебания температуры, происходящие на поверхности земли, распространяются в глубь почвы очень медленно и достигают разных слоев ее с большим опозданием. Непосредственные измерения, например, в Слуцке (Ленинградской области) показали, что на глубину 3 м самый теплый момент года приходит с опозданием в 76 дней, а самый холодный — с опозданием в 108 дней. Это значит, что если самый жаркий день над землей был, скажем, 25 июля, то на глубине 3 м он наступит лишь 9 октября! Если самый холодный день был 15 января, то на указанной глубине он наступит в мае! Для более глубоких слоев почвы опоздания будут еще значительнее.

С углублением в почву температурные колебания не только опаздывают, но и ослабевают, а на некоторой глубине затухают совершенно: круглый год, в течение целых столетий, неизменно стоит там одна и та же постоянная температура, именно — средняя годовая температура данного места. В погребах Парижской обсерватории, на глубине 28 м, полтора столетия хранится термометр, помещенный сюда еще Лавуазье, и за полтораста лет он даже не дрогнул, неизменно показывая одну и ту же температуру (+11,7 °С).

Итак, в почве, которую мы попираем ногами, никогда не бывает того же времени года, какое стоит на ее поверхности. Когда над почвой зима, на глубине трех метров еще осень — правда, не та осень,

которая была раньше, на поверхности земли, а с более умеренным понижением температуры; когда же над землей лето, в глубину доходят слабые отголоски зимних морозов.

Это важно иметь в виду всякий раз, когда заходит речь об условиях жизни подземных животных (например, личинок майского жука) и подземных частей растений. Мы не должны удивляться, например, тому, что в корнях наших деревьев размножение клеточек совершается именно в холодную половину года и что деятельность так называемой камбиальной ткани замирает почти на весь теплый сезон, — как раз обратно, чем в стволе, над землей.

Зимнее отопление летним солнцем

Начнем с немногих интересных цифр. Ученым удалось измерить, сколько калорий посылает Солнце, заливающее своими лучами какую-нибудь определенную площадку. Если взять Москву, то каждый квадратный метр ее площади получает от Солнца в три зимних месяца (ноябрь, декабрь, январь) 30 тыс. калорий, зато в весенние и летние месяцы — 500 тыс. калорий. Сколько квадратных метров занимает наша столица, столько раз по полмиллиона калорий дает ей Солнце в течение теплого периода года. Куда же девается все это огромное количество теплоты? Бóльшая часть его вновь теряется и рассеивается в те же самые сутки, когда теплота накопилась. Только очень незначительная часть прогревает почву на небольшую глубину, да и то ненадолго: едва наступят первые осенние холода, накопленная в почве теплота снова выходит и рассеивается.

Короче сказать, щедрые дары дневного светила не сохраняются нами, а проносятся словно мимо нас. Нельзя ли этот огромный тепловой капитал, сам плывущий в наши руки, каким-нибудь способом удержать и сохранить впрок?

Над этой идеей размышлял в последние годы своей жизни выдающийся московский физик проф. В. А. Михельсон, скончавшийся в феврале 1927 г. Мысли его вылились в строгий и стройный план использования летнего солнечного тепла для зимнего отопления московских зданий и постепенного улучшения климата нашей столицы. Проект этот, тщательно разработанный покойным ученым, был напечатан в свое время в специальном «Журнале прикладной физики».

Михельсон исходил в своих расчетах из следующей справки. Московский дом, занимающий площадь в тысячу квадратных метров, получает от Солнца в течение семи месяцев (весной и летом) 500 000 × 1000 = 500 000 000 калорий. Для отопления же этого дома в продолжение пяти осенне-зимних месяцев нужно израсходовать 360 000 000 калорий.

«Следовательно, — заключает ученый, — Солнце вообще на каждое здание посылает количество тепла, с избытком покрывающее всю его потребность в зимнем отоплении. Задача заключается в том, как поглотить и сохранить эту солнечную теплоту с весны и лета до зимы, как предохранить ее от бесполезного рассеяния».

Место, где по проекту Михельсона предполагается накапливать и сохранять солнечную теплоту, находится — где бы вы думали? — под землей, на глубине 20 и более метров.

На первый взгляд кажется нелепым прятать дары солнечных лучей глубоко в темное подземелье. Однако дело представится не столь несообразным, если вспомним, как хорошо почва хранит теплоту. Почва — превосходный теплоизолятор; она очень медленно пропускает сквозь себя теплоту.

«Если нам удастся, — пишет Михельсон, — в течение лета прогреть солнечной теплотой мощный слой земли под городом на глубине между 20 и 30 м, то теплота эта к зиме распространится во все стороны в бока, вверх и вниз не более как на 10 м и не успеет даже дойти до земной поверхности».

Как же предполагал автор проекта накапливать впрок под землей теплоту, посылаемую Солнцем?

Чтобы понять основную идею этого остроумного проекта, напомним два элементарных физических факта. Всем известно явление холода при испарении: испаряющаяся жидкость охлаждает окружающие предметы (вспомним холод в мокром платье), т. е. отнимает от них теплоту. Менее известно обратное явление: пары, сгущающиеся снова в жидкость, возвращают теплоту, нагревают окружающие предметы. Еще Уатт, изобретатель паровой машины, с удивлением заметил, что «вода в форме пара в состоянии, сгущаясь, нагреть до 100° вшестеро большее по весу количество жидкой воды». Отметив еще и другой факт — что газ при сжатии нагревается, — обратимся снова к проекту Михельсона.

Весною и летом крыши наших домов залиты солнечными лучами и, конечно, нагреваются ими. Теплота эта утрачивается ночью при остывании крыши, она излучается в окружающее пространство. Идея Михельсона состоит, как уже сказано, в том, чтобы не давать этой теплоте рассеиваться бесплодно, а сохранять ее впрок и пользоваться ею зимой для отопления жилищ. Система труб на крышах домов должна непрерывно отводить нагреваемую в них Солнцем воду под землю на глубину 20–30 м ниже фундамента.

На такую глубину внешние температурные колебания не проникают — это слой постоянной температуры, равной в Москве плюс 6°С. Циркулируя по проложенным в почве трубам, вода, нагревшаяся на крыше, будет отдавать почве избыток тепла, а остыв, вновь будет перекачана на крышу, чтобы, нагревшись, опять поступить под почву, и т. д. Короче, теплота, полученная летом от Солнца, будет запасаться в почвенных слоях под домом (рис. 83).

Расскажем теперь, как можно будет воспользоваться накопленной теплотой подземной печки для зимнего отопления жилищ.

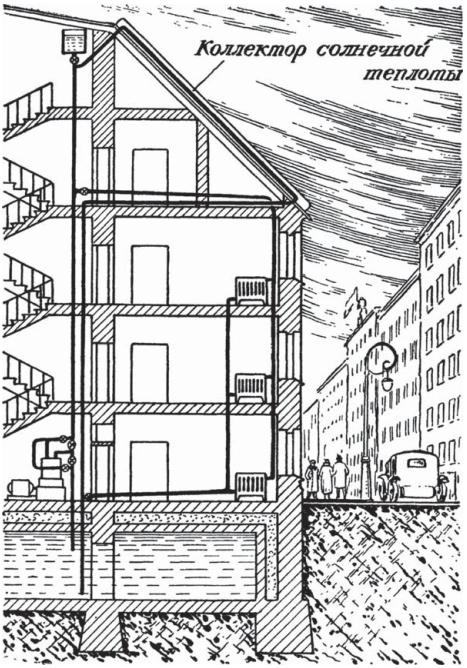


Рис. 83. Проект зимнего отопления домов теплотой летнего солнца

Михельсон предлагает для этого такую установку. Сеть труб на крыше в зимнее время выключается. Тепловатая подземная вода поступает в особый сосуд (испаритель) со змеевиком, в котором вследствие искусственного понижения давления испаряется какая-нибудь жидкость, например спирт. Пары спирта поглощают при своем образовании часть теплоты воды, окружающей змеевик. Затем действием особого насоса они перекачиваются в змеевик другого сосуда (сгустителя), где вследствие повышенного давления вновь сгущаются в жидкость, отдавая теплоту воде, которая окружает змеевик. Эта поступающая из почвы вода может быть благодаря указанному процессу нагрета до 55° (по расчетам В. А. Михельсона). Такая вода уже достаточно тепла для водяного отопления.

Конечно, необходим некоторый расход топлива (или электрической энергии), чтобы поддерживать циркуляцию — впрочем, очень медленную — воды по трубам от крыши в почву, а также для работы насоса при испарителе и сгустителе. Но расход этот весьма невелик. Расчет показывает, что в установке Михельсона топливо используется в три раза выгоднее, чем в самой совершенной из существующих систем отопления. Другими словами, проект обещает экономию топлива в 60%. Если вспомним, что отопление жилищ составляет главную статью расхода топлива, поглощающую больше, чем вся промышленность, то значение подобной экономии станет в наших глазах еще важнее.

Конечно, для осуществления всего этого потребуются капитальные подземные работы.

«Под городом, — пишет Михельсон, — придется произвести значительные горные работы: заложить несколько шахт глубиною в 30 м, а затем на глубинах 20 и 30 м проложить двойную сеть горизонтальных штолен с трубами для циркуляции воды. Густота сети труб должна быть такова, чтобы в течение шести месяцев, с апреля по сентябрь, можно было сплошь прогреть солнечной теплотой слой материка в 20 или 30 м мощности. Какую толщу и до какой степени удастся прогреть, это будет зависеть главным образом от того, какую площадь солнечных поглотителей можно будет устроить на крышах города.

Одни и те же трубы, наполненные водою, будут служить как для летнего прогревания почвы, так и для отопления города зимой. Летом подземная сеть труб через посредство насосов соединяется с сетью поглощательной, расположенной на крышах. Зимой подземная сеть соединяется с испарителями всех отопительных машин, которые повышают температуру до 55° и питают котлы водяного отопления. В темные месяцы (ноябрь — февраль) поглотители солнечной энергии выключаются. В ясные

дни марта, когда отопление все же нужно, можно совершенно исключить подземную сеть и питать испарители отопительных машин непосредственно подогретой водой, спускающейся с крыш».

Этим не исчерпывается все то, что обещает дать проект Михельсона в случае осуществления. Можно рассчитать сеть труб на крышах так, чтобы приход тепла от Солнца за год был больше расхода его на отопление. Тогда к концу года будет всякий раз оставаться неизрасходованный запас теплоты. Этот запас с каждым годом будет расти, потому что к прежним остаткам будет прибавляться новый. Что же в результате всего этого получится?

«Средняя годовая температура почвы будет постепенно повышаться. Зимнее промерзание почвы очень скоро исчезнет. Через много лет это постепенное накопление тепла в почве может весьма заметно отразиться на климате города и притом тем больше, чем больше площадь города. Снежный покров будет исчезать раньше и устанавливаться позднее, чем в окружающей области. Общее повышение температуры почвы, а следовательно, и воздуха, уменьшит потребность в отоплении. Поэтому накопление тепла в почве и изменение городского климата будут идти ускоренным темпом. Тогда весь город будет как бы теплым оазисом, перенесенным из более южных широт в северные».

Вы видите, что весь климат нашей столицы может в сравнительно короткий срок измениться до неузнаваемости — из засыпаемого снегом уголка Севера превратиться в ласкаемый теплым воздухом благодатный край субтропического пояса...

Бумажная кастрюля

Взгляните на рис. 84: яйцо варится в воде, налитой в бумажный колпак! «Но ведь бумага сейчас загорится, и вода зальет лампу», — скажете вы. Попробуйте же сделать опыт, взяв для него плотную пергаментную бумагу и надежно прикрепив ее к проволоке. Вы убедитесь, что бумага нисколько не пострадает от огня. Причина в том, что вода может быть нагрета в открытом сосуде только до температуры кипения, т. е. до 100°; поэтому нагреваемая вода, обладающая к тому же большой теплоемкостью, поглощая избыток теплоты бумаги, не дает ей нагреться заметно выше 100°, т. е. настолько, чтобы она могла воспламениться. (Практичнее будет пользоваться небольшой бумажной коробкой в форме, изображенной на рис. 85.) Бумага не загорается, если даже пламя лижет ее.



Рис. 84. Яйцо варится в бумажной кастрюле

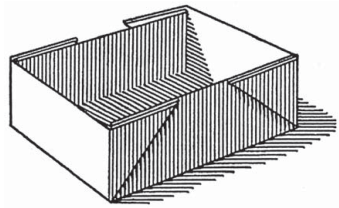


Рис. 85. Бумажная коробка для кипячения воды

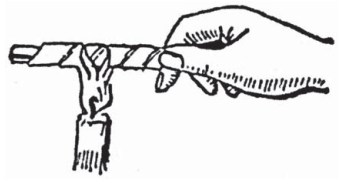


Рис. 86. Несгораемая бумажка

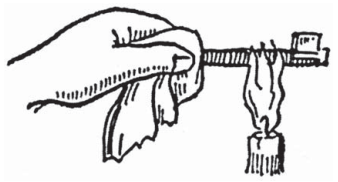


Рис. 87. Несгораемая нитка

К тому же роду явлений относится и печальный опыт, который невольно проделывают рассеянные люди, ставящие самовар без воды: самовар распаивается. Причина понятна: припой сравнительно легкоплавок, и только тесное соседство воды спасает его от опасного повышения температуры. Нельзя также нагревать запаянные кастрюли без воды. В старых пулеметах Максима нагревание воды предохраняло оружие от расплавления.

Вы можете, далее, расплавить, например, свинцовую пломбу в коробочке, сделанной из игральной карты. Надо только подвергать действию пламени именно то место бумаги, которое непосредственно соприкасается со свинцом: металл, как сравнительно хороший проводник тепла, быстро отнимает от бумаги тепло, не давая ей нагреться заметно выше температуры плавления, т. е. 335° (для свинца); такая температура недостаточна для воспламенения бумаги.

Хорошо удается также следующий опыт (рис. 86): толстый гвоздь или железный (еще лучше медный) прут обмотайте *плотно* узкой бумажной полоской, наподобие винта. Затем внесите прут с бумажной полоской в пламя. Огонь будет лизать бумагу, закоптит ее, но не сожжет, пока прут не раскалится. Разгадка опыта — в хорошей теплопроводности металла; со стеклянной палочкой подобный опыт не удался бы. Рис. 87 изображает сходный опыт с несгораемой ниткой, *туго* намотанной на ключ.

Почему лед скользкий?

На гладко натертом полу легче поскользнуться, нежели на обыкновенном. Казалось бы, то же самое должно происходить на льду, т. е. *гладкий* лед должен быть более скользок, нежели лед бугорчатый, шероховатый.

Но если вам случалось везти нагруженные ручные санки через неровную, бугристую ледяную поверхность, вы могли убедиться, что, вопреки ожиданиям, сани проскальзывали по такой поверхности заметно легче, чем по гладкой. Шероховатый лед более скользок, чем зеркально гладкий! Это объясняется тем, что скользкость льда зависит главным образом не от гладкости, а от совершенно особой причины: от того, что температура плавления льда понижается при увеличении давления.

Разберем, что происходит, когда мы катаемся в санях или на коньках. Стоя на коньках, мы опираемся на очень маленькую площадь, всего в несколько квадратных миллиметров. И на эту небольшую площадь целиком давит вес нашего тела. Если вы вспомните сказанное в главе второй о давлении, то поймете, что конькобежец давит на лед со значительной силой. Под большим давлением лед тает при пониженной температуре; если, например, лед имеет температуру –5°, а давление коньков понизило точку плавления льда, попираемого коньками, более чем на 5°, то эти части льда будут таять*. Что же получается? Теперь между полозьями коньков и льдом находится тонкий слой воды, — неудивительно, что конькобежец скользит. И как только он переместит ноги в другое место, там произойдет то же самое. Всюду под ногами конькобежца лед превращается в тонкий слой воды. Такими свойствами из всех существующих тел обладает только лед; один советский физик назвал его «единственным скользким телом в природе». Прочие тела гладки, но не скользки.

* Теоретически можно вычислить, что для понижения точки таяния льда на 1° требуется весьма значительное давление в 130 кг на квадратный сантиметр. Производят ли сани или конькобежец такое огромное давление на лед? Если распределить вес саней (или конькобежца) на поверхность полозьев (или коньков), то получатся числа гораздо меньшие. Это доказывает, что ко льду прилегает *вплотную* далеко не вся поверхность полоза, а лишь незначительная часть ее. (При теоретическом расчете предполагается, что при плавлении и лед, и вода находятся под одинаковым давлением. Автор же описывает примеры, когда вода, образующаяся при плавлении, находится при атмосферном давлении. В этом случае требуется меньшее давление для понижения точки таяния льда. — *Примеч. ред.*)

Теперь мы можем вернуться к вопросу о том, гладкий или шероховатый лед более скользок. Мы знаем, что один и тот же груз давит тем сильнее, чем на меньшую площадь он опирается. В каком же случае человек оказывает на опору большее давление: когда он стоит на зеркально-гладком или на шероховатом льду? Ясно, что во втором случае: ведь здесь он опирается лишь на немногие выступы и бугорки шероховатой поверхности. А чем больше давление на лед, тем обильнее плавление и, следовательно, лед тем более скользок (если только полоз достаточно широк; для узкого полоза коньков, врезающегося в бугорки, это неприложимо — энергия движения расходуется здесь на срезывание бугорков).

Понижением точки таяния льда под значительным давлением объясняется и множество других явлений обыденной жизни. Благодаря этой особенности льда отдельные куски его смерзаются вместе, если их сильно сдавливать. Мальчик, сжимая в руках комья снега при игре в снежки, бессознательно пользуется именно этим свойством ледяных крупинок (снежинок) смерзаться под усиленным давлением, понижающим температуру их таяния. Катая снежный ком для снежной бабы, мы опять-таки пользуемся указанной особенностью льда: снежинки в местах соприкосновения, в нижней части кома, смерзаются под тяжестью надавливающей на них массы. Вы понимаете теперь, конечно, почему в сильные морозы снег образует рассыпающиеся снежки, а баба плохо лепится. Под давлением ног прохожих снег на тротуарах постепенно уплотняется в лед: снежинки смерзаются в сплошной пласт.

Задача о ледяных сосульках

Случалось ли вам задумываться над тем, как образуются ледяные сосульки, которые мы часто видим свешивающимися с крыш?

В какую погоду образовались сосульки: в оттепель или в мороз? Если в оттепель, то как могла замерзнуть вода при температуре выше нуля? Если в мороз, то откуда могла взяться вода на крыше?

Вы видите, что задача не так проста, как кажется сначала. Чтобы могли образоваться ледяные сосульки, нужно в одно и то же время иметь *две температуры*: для таяния — выше нуля и для замерзания — ниже нуля.

На самом деле так и есть: снег на склоне крыши тает, потому что солнечные лучи нагревают его до температуры *выше* нуля, а стекающие

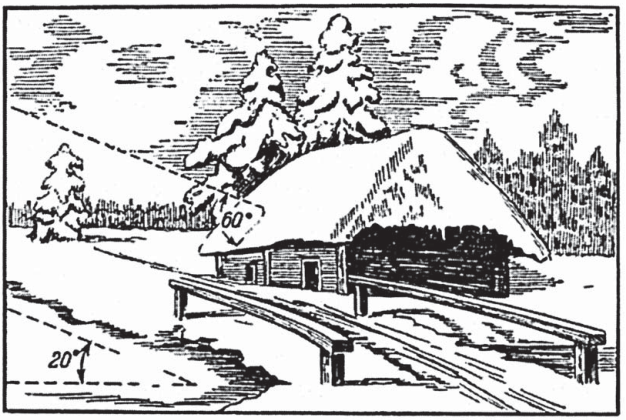


Рис. 88. Лучи Солнца греют наклонную крышу сильнее, чем горизонтальную земную поверхность (числа указывают величину углов)

капли воды у края крыши замерзают, потому что здесь температура *ниже* нуля. (Конечно, мы говорим не о том случае образования сосулек, который обусловлен теплотой отапливаемого под крышей помещения.)

Представьте такую картину. Ясный день; мороз всего в 1–2 °С. Солнце заливает все своими лучами; однако же эти косые лучи не нагревают землю настолько, чтобы снег мог таять. Но на склон крыши, обращенный к солнцу, лучи падают *не полого, как на землю, а круче, под углом, более близким к прямому.* Известно, что освещение и нагревание лучами тем больше, чем больший угол составляют лучи с плоскостью, на которую они падают. (Действие лучей пропорционально *синусу этого угла*; для случая, изображенного на рис. 88, снег на крыше получает тепла в 2,5 раза больше, нежели равная площадь снега на горизонтальной поверхности, потому что синус 60° больше синуса 20° в 2,5 раза.) Вот почему скат крыши нагревается сильнее и снег на нем может таять. Оттаявшая вода стекает и каплями свисает с края крыши. Но под крышей температура *ниже* нуля, и капля, охлаждаемая к тому же испарением, замерзает. На замерзшую каплю натекает следующая, также замерзающая; затем третья капля, и т. д.; постепенно образуется маленький ледяной бугорок. В другой раз при такой же погоде эти ледяные наплывы еще удлиняются, и в результате образуются сосульки, вырастающие наподобие известковых сталактитов в подземных пещерах. Так возникают сосульки на крышах сараев и вообще неотапливаемых помещений.

Та же причина вызывает на наших глазах и более грандиозные явления: ведь различие в климатических поясах и временах года обусловлено в значительной степени* изменением угла падения солнечных лучей. Солнце от нас зимой почти на таком же расстоянии, как и летом; оно одинаково удалено от полюсов и экватора (различия в расстоянии настолько ничтожны, что не имеют значения). Но наклон солнечных лучей к поверхности Земли близ экватора больше, чем у полюсов; летом этот угол больше, чем зимой. Это вызывает заметные различия в температуре дня и, следовательно, в жизни всей природы.

* Но не всецело: другая важная причина заключается в неодинаковой продолжительности дня, т. е. того промежутка времени, в течение которого Солнце согревает Землю. Обе причины, впрочем, обусловлены одним астрономическим фактом — наклоном земной оси к плоскости обращения Земли вокруг Солнца.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ЛУЧИ СВЕТА

Пойманные тени

Ой, тени, тени черные,
Кого вы не нагоните?
Кого не перегоните?
Вас только, тени черные,
Нельзя поймать — обнять!

Некрасов

Прадеды наши умели если не ловить свои тени, то извлекать из них пользу: с помощью теней рисовали «силуэты» — теневые изображения человеческой фигуры.

В наши дни благодаря фотографии каждый имеет возможность получить свой портрет или запечатлеть черты дорогих ему людей.

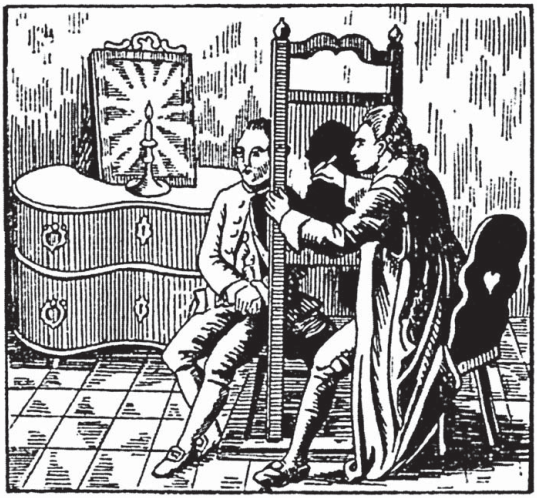


Рис. 89. Старинный способ получения силуэтных портретов

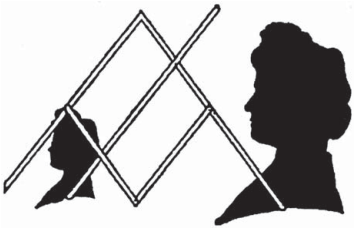


Рис. 90. Уменьшение силуэтного портрета



Рис. 91. Силуэт Шиллера (1790)

Но в XVIII веке люди не были так счастливы: портреты, заказываемые художникам, стоили больших денег и были доступны лишь немногим. Вот почему так распространены были *силуэты*: до известной степени они заменяли тогда современные фотографии. Силуэты — пойманные и закрепленные тени. Они получались механическим путем и в этом отношении напоминают противоположную им светопись. Мы пользуемся *светом*, предки наши для той же цели пользовались его отсутствием — *тенью*.

Как зарисовывались силуэты, понятно из рис. 89. Голову поворачивали так, чтобы тень давала характерный профиль, и обводили карандашом ее очертания. Затем контур заливали тушью, вырезали и наклеивали на белую бумагу — силуэт готов. При желании уменьшали его с помощью особого прибора — пантографа (рис. 90).

Не думайте, что простой темный абрис не может дать представления о характерных чертах оригинала. Напротив, удачный силуэт отличается иногда поразительным сходством с оригиналом.

Эта особенность теневых изображений — при простоте контуров давать сходство с оригиналом — заинтересовала некоторых художников, которые стали рисовать в таком роде целые сцены, ландшафты и т. п. Постепенно рисование силуэтов создало целую школу художников.

Курьезно происхождение самого слова «силуэт»: оно заимствовано от фамилии французского министра финансов середины XVIII века Этьена де Силуэта, призывавшего своих расточительных современников к разумной бережливости и упрекавшего французскую

знать в чрезмерных тратах на картины и портреты. Дешевизна теневых портретов подала повод шутникам называть их портретами «à la Silhouette» («по Силуэту»).

Цыпленок в яйце

Свойствами теней вы можете воспользоваться, чтобы показать товарищам интересную шутку. Из промасленной бумаги устройте экран; для этого достаточно затянуть такой бумагой квадратный вырез в листе картона. Позади экрана поместите две лампы; зрители будут сидеть впереди него, по другую сторону. Одну лампу, например левую, зажгите.

Между зажженной лампой и экраном поставьте на проволоке овальный кусок картона, и тогда на экране появится, конечно, силуэт яйца. (Правая лампа пока не зажжена.) Теперь вы заявляете гостям, что приведете в действие «рентгеновский аппарат», который обнаружит внутри яйца... цыпленка! И действительно, через мгновение гости видят, как силуэт яйца словно светлеет по краям, а в середине его довольно отчетливо вырисовывается силуэт цыпленка (рис. 92).

Разгадка фокуса проста: вы зажигаете правую лампу, на пути лучей которой помещен картонный контур цыпленка. Часть овальной тени, на которую накладывается тень от «цыпленка», освещена правой лампой, поэтому края «яйца» светлее внутренней части. Зрители же, сидящие по ту сторону экрана и ничего не подозревающие о ваших действиях, могут, пожалуй, — если они несведущи в физике и анатомии — вообразить, что вы в самом деле пропустили через куриное яйцо рентгеновские лучи.

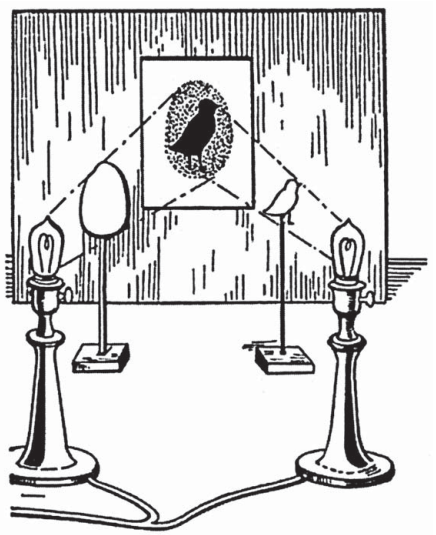


Рис. 92. Мнимый рентгеновский снимок

Сигнал с Луны

Кто видел поучительный фильм «Космический рейс», тот, вероятно, помнит эпизод с яркой вспышкой на Луне, произведенной, чтобы сигнализировать земным астрономам о благополучном прибытии первых космических путешественников на место назначения. У многих зрителей при этом рождается сомнение, правдоподобна ли эта деталь: мыслимо ли в земные телескопы уловить световой сигнал, посланный с Луны? Не потребуется ли для этого чересчур невероятная, совершенно недостижимая яркость?

Конечно, яркость источника света должна быть при этом чрезвычайно значительна, но все же не такая, которая превышает технические возможности человека. Для этого достаточны даже и наличные средства современной техники. В настоящее время существуют осветительные установки, посылающие свет такой яркости, что, будь они на Луне, их можно было бы обнаружить с Земли в сильные телескопы. В Чикаго (Америка), например, установлен авиационный маяк силою света 2000 миллионов свечей. Для сопоставления укажем, что сила света обычного маяка, огонь которого должен быть виден с большого расстояния, обычно не превышает 60 миллионов свечей. Чикагский авиамаяк виден с расстояния 400 километров. В телескоп, увеличивающий в тысячу раз, свет этого маяка мог бы быть виден с дистанции 400 тысяч километров, т. е. с расстояния Луны. Находись такой источник света на темной половине Луны, его можно было бы заметить в большие телескопы земных обсерваторий. Отсутствие на Луне атмосферы, облаков и тумана облегчило бы подобное наблюдение.

Карикатурные фотографии

Многие не знают, что фотографический аппарат можно устроить и без увеличительного стекла (объектива), пользуясь просто маленьким круглым отверстием. Изображения получаются при этом менее яркие. Любопытное видоизменение такой камеры без объектива представляет «щелевая» камера, в которой вместо дырочки имеются две пересекающиеся щели. В передней части камеры помещаются две дощечки: в одной сделана вертикальная щель, в другой — горизонтальная. Если обе дощечки прилегают друг к другу вплотную,

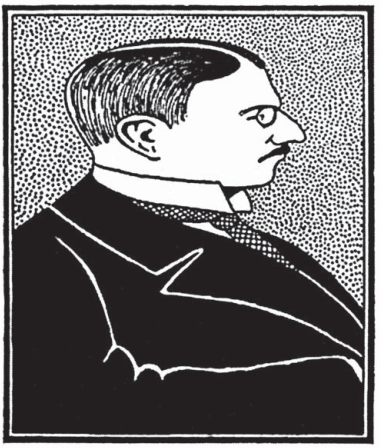


Рис. 93. Фотография-карикатура, полученная с помощью щелевой камеры. Изображение растянуто горизонтально

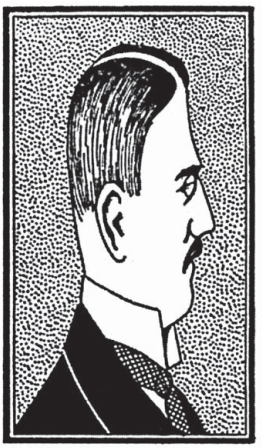


Рис. 94. Карикатурная фотография, вытянутая вертикально (получена щелевой камерой)

изображение получается такое же, как и у камеры с дырочкой, т. е. неискаженное. Совсем иное наблюдается, если дощечки находятся на некотором расстоянии одна от другой (их нарочно делают подвижными); тогда изображение курьезным образом искажается (рис. 93 и 94). Получается скорее карикатура, нежели фотография.

Чем же объясняется такое искажение? Рассмотрим случай, когда горизонтальная щель находится впереди вертикальной (рис. 95). Через первую щель *C* лучи от вертикальных линий фигуры *D* (креста) пройдут как через простое отверстие; задняя щель нисколько не изменит хода этих лучей. Следовательно, изображение вертикальной линии получится на матовом стекле *A* в том масштабе, который отвечает расстоянию стекла *A* от стенки *C*.

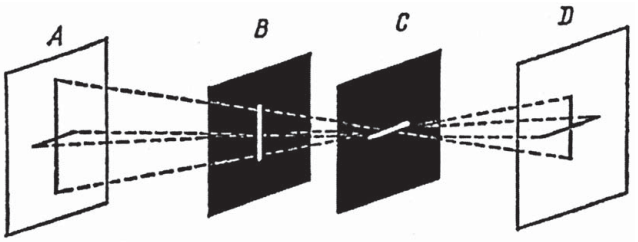


Рис. 95. Почему щелевая камера дает искаженные изображения

Иначе изобразится на стекле *горизонтальная* линия при том же расположении щелей. Через первую (горизонтальную) щель лучи пройдут беспрепятственно, не перекрещиваясь, пока не достигнут вертикальной щели *B*; через эту щель лучи пройдут как через дырочку и дадут на матовом стекле *A* изображение в том масштабе, который отвечает расстоянию *A* от *второй* перегородки *B*.

Короче говоря, для *вертикальных* линий, при данном расположении щелей, как бы существует одна только *передняя* щель; для *горизонтальных*, напротив, — одна только *задняя*. А так как передняя щель *дальше* от матового стекла, нежели задняя, то все вертикальные протяжения должны получиться на стекле *A* в большем масштабе, нежели горизонтальные: изображение будет как бы вытянуто по вертикальному направлению.

Наоборот, при обратном расположении щелей должны получиться изображения, вытянутые в горизонтальном направлении (ср. рис. 93 и 94).

Понятно, что при *косом* размещении щелей будут получаться искажения соответственно иного рода.

Такой камерой можно пользоваться для получения не одних лишь карикатур. Она пригодна и для более серьезных практических целей — например, для того, чтобы приготовить варианты архитектурных украшений, узоров для ковров, обоев и т. п., вообще получать орнаменты и узоры, по желанию растянутые или сжатые в определенном направлении.

Задача о солнечном восходе

Вы наблюдали восход Солнца ровно в 5 часов. Но известно, что свет распространяется не мгновенно: требуется некоторое время, чтобы лучи успели дойти от источника света до глаза наблюдателя. Можно поэтому задать вопрос: в котором часу наблюдали бы вы тот же восход, если бы свет распространялся мгновенно?

Свет пробегает расстояние от Солнца до Земли за 8 минут. Казалось бы, что при *мгновенном* распространении света мы должны были бы увидеть восход Солнца на 8 минут ранее, т. е. в 4 часа 52 минуты.

Для многих, вероятно, будет полной неожиданностью, что такой ответ совершенно неверен. Ведь Солнце «восходит» оттого, что наш земной шар повертывает в уже *освещенное пространство* новые точ-

ки своей поверхности. Поэтому при мгновенном распространении света вы заметили бы восход Солнца *в тот же самый момент*, что и при последовательном его распространении, т. е. ровно в 5 часов*.

Другое дело, если вы наблюдаете (в телескоп) появление на краю Солнца какого-нибудь выступа (протуберанца): при мгновенном распространении света вы заметили бы его на 8 минут раньше.

Скорость света

Свет распространяется со скоростью 300 000 км/с; это известно каждому, кто знаком с начатками физики. Но мало кто подозревает, какие изумительные, почти чудесные следствия можно вывести из столь простого факта. Знаменитый французский астроном К. Фламмарион в своей повести «По волнам бесконечности» изложил эти любопытные следствия в форме беседы между неким ученым *Кверенсом* и воображаемым «духом» его учителя *Люмена*, умершего в 1864 году; дух будто бы рассказывает ученику о своих странствованиях во Вселенной.

Эту беседу мы и приводим далее в сжатом извлечении**.

ПО ВОЛНАМ БЕСКОНЕЧНОСТИ

К. Фламмариона

I. Очевидец прошлого

Люмен. — Не могу объяснить, какая сила заставила меня мчаться с непостижимой быстротой в небесном пространстве. Вскоре я заметил, что приближаюсь к великолепному Солнцу, сияющему чистым,

---

* Если же принять во внимание так называемую «атмосферную рефракцию», то результат получится еще более неожиданный. Рефракция искривляет путь лучей в воздухе и тем самым позволяет нам видеть восход Солнца *ранее* его геометрического появления над горизонтом. Но при мгновенном распространении света рефракции быть не может, так как преломление обусловливается различием скорости света в разных средах. Отсутствие же рефракции повлечет за собой то, что наблюдатель увидит восход Солнца немного *позже*, чем при немгновенном распространении света; разница эта, завися от широты места наблюдения, температуры воздуха и других условий, колеблется от 2 минут до нескольких суток и даже более (в полярных широтах). Получается любопытный парадокс: при мгновенном (т. е. бесконечно быстром) распространении света мы наблюдали бы восход Солнца позже, чем при немгновенном! Дальнейшее развитие этой задачи см. в книге «Знаете ли вы физику?».

** Заголовки отрывкам даны мною. Точное заглавие произведения — «Рассказы о бесконечном». Оно написано в 1872 г.

белым светом. Солнце это было окружено множеством планет, из которых каждая охвачена одним или несколькими кольцами. Под влиянием той же таинственной силы я очутился на одном из этих колец.

Я остановил свое внимание на маленьком земном шаре, возле которого я узнал Луну. Вскоре я заметил белые снега Северного полюса, желтый треугольник Африки, общее очертание океана. Затем я стал последовательно различать на краю лазури океана какой-то выступ темно-бурого цвета. При дальнейшем исследовании передо мной выступил посреди него город. Без труда узнал я, что этот клочок материка — Франция, а видимый мною город — Париж. Вся эта картина освещалась ярким Солнцем, но, к моему удивлению, холмы были покрыты снегом, как будто в январе, между тем как я оставил Землю в октябре.



Я остановил свой взор на обсерватории. Каково же было мое удивление, когда, вглядываясь пристальнее, я заметил, что аллеи, которая вела к обсерватории, уже не существует и что там разбиты какие-то маленькие садики! Продолжая исследования, я все более убеждался в том, что Париж сильно изменился. Однако я стал узнавать кварталы, улицы и здания такими, какими они были во время моей молодости. Вскоре я окончательно убедился, что видел не новый Париж, а тот, каким он был в конце XVIII столетия.

С напряженным вниманием продолжал я свои наблюдения. Посреди площади Согласия я увидел эшафот, окруженный грозным отрядом войска. Телега, возница которой был одет в красное, увозила труп Людовика XVI; многие были обезглавлены.

Мне было крайне интересно проследить собственными глазами великую драму 1793 года — драму, о которой так много говорится в истории. Очевидность того, что предо мною Париж 21 января 1793 года, была до такой степени осязательна, что я не мог более сомневаться. Убедившись в этом, я тотчас же обратился к физике, которая должна была дать мне разъяснение загадки.

Прежде всего я определил положение Земли. Данные эти помогли мне узнать звезду, в системе которой я находился. Этой звездой могла быть единственно лишь Альфа в созвездии Возничего, назы-

ваемая также Капеллой. Я был на одной из планет, принадлежащих к системе этой звезды. Я мог вспомнить расстояние, отделяющее эту звезду от Земли; зная расстояние, нетрудно вычислить, в какое время пробежит его свет: луч, исходящий из Капеллы, достигнет Земли не ранее чем через 71 год 8 месяцев и 24 дня. Понятно, что и луч, исходящий от Земли, употребит такое же время, чтобы достигнуть Капеллы.

Кверенс. — Но если свет этой звезды доходит до нас почти через 72 года, то значит, мы видим это светило в том состоянии, в каком оно находилось 72 года тому назад?

Люмен. — Вы как нельзя лучше поняли меня. Ни одного небесного тела не видим мы таким, каково оно в действительности. Мы видим картину *минувшего* состояния неба, а не того, в котором оно находится в настоящее время. Если бы видимые нами небесные тела сегодня были разрушены какой-либо катастрофой, мы все еще продолжали бы видеть их в течение многих столетий.

Легко применить эту теорию к разъяснению странного факта, очевидцем которого я был. Если с Земли Капелла кажется такою, какова она была семьдесят два года назад, то и, наоборот, с Капеллы Земля видна в том состоянии, в каком она находилась за 72 года до наблюдения. Конечно, с первого взгляда кажется невероятной возможность сделаться очевидцами событий давно минувших веков. Но все же это не производит такого подавляющего впечатления, как то, что я сейчас сообщу.

II. Десятилетия протекают в один час

Люмен. — Отвернувшись от сцен, совершавшихся на площади, я почувствовал, что мое внимание инстинктивно привлекается к одному зданию в старинном стиле. Перед боковой его дверью я заметил группу из пяти человек. Я узнал между ними моего отца, но таким, каким я никогда его не видел; узнал я также мою мать и одного из двоюродных братьев, который умер сорок лет тому назад. Не могу описать, насколько сильно я был поражен удивлением. В глазах у меня как бы помутилось, и я перестал различать предметы. С минуту казалось, что меня увлекает какой-то вихрь. Когда я снова стал ясно различать предметы, то заметил толпу детей, бегущих по площади Пантеона, вероятно из школы, так как они несли с собой книги и тетради. Двое из них, казалось, вели между собой жаркий спор, который грозил окончиться дракой. Третий приблизился, чтобы

разнять их, но его оттолкнули так, что он повалился наземь. К упавшему ребенку подбежала женщина. Это была моя мать. В продолжение моей семидесятилетней жизни мне приходилось испытать много неожиданного, но никогда еще не чувствовал я такого волнения, как тогда, когда я узнал в этом ребенке — самого себя!

Кверенс. — Как! Самого себя?

Люмен. — Можете себе представить, как я был поражен! Я находился сразу в двух видах: там, на Земле, и здесь, в пространстве... Последовательно шли передо мною все годы, проведенные мною в Париже. Я видел, как я поступил в университет, увидал себя на выпускном экзамене в Политехнической школе. Так проходил передо мною год за годом. Я видел себя во время женитьбы, путешествий, ученых занятий и т. д. Вместе с тем я присутствовал при последовательной смене картин новейшей истории.

Кверенс. — Что же, события эти быстро проходили перед вашими глазами?

Люмен. — По-видимому, панорама эта промелькнула передо мною менее чем в сутки.

Кверенс. — Однако если вы видели перед собою происшествия всех 72 лет вашей жизни, то вы должны были употребить на это тоже 72 года, а не несколько часов?

Люмен. — Сейчас объясню, отчего мне вовсе не нужно было ждать еще 72 года, чтобы проследить все происшествия моей жизни.

Продолжая следить за моей жизнью, я пришел к последним годам. Я увидел друзей, с которыми сошелся за последнее время, в том числе также и вас; увидел свою дочь, ее детей, мое семейство, весь кружок знакомых. Наконец пришла минута, когда я увидел себя лежащим на смертном одре и присутствовал в качестве зрителя при собственной смерти...

Оказалось, что, поглощенный созерцанием, я покинул Капеллу и быстро уносился к Земле. Я вернулся на Землю и проник в свою комнату в тот момент, когда меня собирались хоронить. Так как в этом обратном путешествии я шел навстречу световым лучам, то расстояние, отделявшее меня от Земли, беспрестанно уменьшалось. Световые лучи, исходившие от Земли, должны были пробегать до меня все меньшее и меньшее расстояние, и таким



образом промежутки времени последовательных явлений все более сокращались.

Когда вход в склеп был завален камнем, Солнце уже погасло в пурпурно-золотых своих лучах. Я увидел сверкающую Капеллу, которая блистала чистым, ярким сиянием. Тогда я снова позабыл про Землю и поддался очарованию манившей меня Капеллы. Я понесся к ней с быстротой, значительно превосходившей скорость света.

III. Обратный ход мировой истории

Спустя несколько времени я захотел опять взглянуть на Землю и после внимательного исследования увидел полуостров, который в виде треугольника сероватого цвета врезался в Черное море. На западном берегу его я различил войска, состоящие из земных моих братьев и умерщвляющие друг друга с яростным ожесточением. Я стал размышлять о варварском обычае войны и с грустью подумал, что в этом уголке Крыма пало 800 000 человек... Затем облака закрыли от меня Европу.

Я находился в пространстве между Капеллой и Землей. Спустя немного я взглянул на Париж и был весьма удивлен, видя, что на улицах его происходит восстание. Всматриваясь внимательнее, я различил баррикады, построенные на улицах. Передо мною были июльские дни 1848 года! Мой разум тщетно старался понять, каким образом могло случиться, что я видел события 1848 года *после* событий 1854 года...

Немного позже я увидел Париж в день торжественного празднества. Толстый, краснощекий король проезжал в великолепной коляске через Новый мост. Молодые девушки, одетые в белые платья, стояли на тротуарах моста. Это было, очевидно, возвращение Бурбонов во Францию.

Я понимал возможность видеть давно минувшее событие, но видеть события *в обратном порядке* казалось мне чересчур фантастическим. Я решил, что вижу перед собой не Землю, но другое, подобное ей тело, история которого протекала как раз в обратном порядке.

Общий вид планеты тем временем значительно изменился. Париж, Лион и Гавр до чрезвычайности переменились и стали гораздо меньше. Зато Версаль достиг как будто апогея своего величия. Предо мною, повторяю, развертывалась история Франции, хотя и в обратной последовательности событий. После республики наступило самодержавие, а затем эпоха феодализма. На террасе Бастилии я увидел

Людовика XI. Несколько позже, взглянув на площадь в Руане, я увидел пламя, пожирающее Орлеанскую деву.

После того как мне пришлось быть свидетелем Седьмого крестового похода, я увидел Третий крестовый поход, где я узнал Фридриха Барбароссу по его бороде. Затем я присутствовал при Первом крестовом походе. Таким образом, я был очевидцем событий древнейших времен истории Франции. Парижа более не существовало, и воды Сены мирно струились мимо берегов, поросших травой и ивами.

Центр цивилизации переместился на юг. Я увидел Рим императорских времен во всем его величии. Позже пришлось мне быть свидетелем грандиозного извержения Везувия, которое засыпало Геркуланум и Помпеи.



Немного позже я увидел труп Юлия Цезаря на костре. После времен Цезаря предо мною предстал период консулов, а затем Лациума. Я видел, как толпы египетских рабов строили пирамиды. Галлия (нынешняя Франция) была покрыта сплошными болотами, и жители ее сильно походили на дикарей, населяющих острова Океании. Предо мною был каменный век...

Еще позже я увидел, что владычество над природою переходит к какой-то крупной породе обезьян, к медведям, львам, гиенам, носорогам. Наконец пришло время, когда я не только не мог рассмотреть ни одного человека на поверхности этого небесного тела, но даже не встретил нигде и следа того, что там существовал когда-то человеческий род. Планета походила на огромный шар расплавленного металла, окруженный металлическими же парáми. Солнце, которое прежде освещало его, теперь уже не превосходило его блеском и само стало увеличиваться в объеме, так что для меня сделалось ясно, что планета должна будет кончить свое существование, слившись с солнечной атмосферой.

Быть очевидцем кончины мира случается не каждому. Мысль эта привела меня в такой экстаз, что я не мог удержаться, чтобы не воскликнуть:

«Так вот он, конец мира!»

«Это не конец, — возразил мне какой-то внутренний голос, — а начало Земли. Ты видел перед собою всю историю Земли, посто-

янно удаляясь от этой планеты с быстротой, превосходящей скорость света»...

Сознание это не произвело на меня поражающего впечатления. Некоторые подробности событий заставили меня давно уже смутно подозревать нечто подобное.

IV. Сражение навыворот

Возьму для примера сражение при Ватерлоо. Как только я различил поле сражения, я прежде всего заметил груды распростертых на земле трупов, зловещую жатву смерти. Сквозь туман увидел я Наполеона, державшего под уздцы лошадь и приближавшегося к полю битвы, двигаясь задом наперед. Сопровождавшие его офицеры пятились подобным же образом. Некоторые орудия открыли уже огонь. Освоившись с местностью, я стал замечать, что мертвые солдаты начинают оживать и бодро становятся на ноги. Солдаты воскресали целыми рядами, и вскоре число оживших стало уже довольно значительным. Мертвые лошади следовали примеру людей, а на воскресших конях тотчас же появлялись всадники. Как только две или три тысячи солдат возвращались к жизни, они немедленно устанавливались в правильные ряды. Обе враждебные армии наконец сошлись вместе, и сражение началось с остервенением. Когда началась битва, солдаты с обеих сторон стали воскресать. Французы, англичане, пруссаки, немцы, ганноверцы, бельгийцы — серые шинели, синие, красные, зеленые, белые мундиры — встают с поля смерти и также начинают сражаться.



Страннее всего было то, что чем ожесточеннее и грознее разгоралось сражение, тем более возрастало число сражающихся. При каждом удачном пушечном выстреле куча мертвых немедленно воскресала и становилась в ряды. Обе неприятельские армии в продолжение целого дня поражали друг друга картечью, ядрами, гранатами, пулями, штыками, прикладами, шпагами и саблями, а когда наконец битва прекратилась, с обеих сторон не оказалось ни одного мертвого и ни одного раненого! Разодранные мундиры сами собой пришли в порядок, и войска построились в колонны. Затем обе армии медленно удалились одна за другой.

V. Вверх по реке времен

Кверенс. — Я не понимаю этого явления и буду вам очень благодарен, если вы мне объясните его причину.

Люмен. — Вы могли бы сами догадаться, так как вам известно, что я удалялся от Земли с быстротою, *превышающей* скорость света.

Представьте себе сначала, что вы удаляетесь от Земли со скоростью, *равною* скорости света. Тогда вы будете постоянно иметь перед глазами изображение Земли в том виде, в каком она находилась в момент вашего отправления. Если бы вы путешествовали таким образом в продолжение тысячи и даже ста тысяч лет, вас всегда сопровождало бы то же самое изображение; его можно сравнить с фотографией, остающейся всегда в неизменном виде, тогда как сам оригинал давно уже изменился и состарился.

Предположите теперь, что вы удаляетесь от Земли с быстротой, *превышающей* скорость света. Что произойдет? Вы будете *обгонять* лучи света, отправившиеся с Земли раньше вас, т. е. будете настигать ежесекундно улетающие в пространство фотографии всего, что происходило на земном шаре. Двигаясь скорее света, вы встретите на пути лучи, отправившиеся с Земли в предшествовавшие годы и несущие с собой, так сказать, фотографические изображения, соответствующие этим годам.

Путешествуя в пространстве со скоростью, превосходящей быстроту света, вы последовательно встречаете изображение все более и более древних времен. Таким образом вы можете странствовать по реке времен вверх по течению.

Так ли?

Мы закончили наши выписки из повести Фламмариона о следствиях немгновенного распространения света. Повесть была написана тогда, когда еще не было известно, что скорость света есть наибольшая возможная скорость в природе и что сложение весьма больших скоростей происходит не по тому закону, который мы прилагаем к скоростям обычным. Исследования последних десятилетий, приведшие к так называемой теории относительности, обнаружили, что допущение скорости, превышающей скорость света, противоречит законам природы. А наблюдатель, придуманный Фламмарионом и наделенный способностью воспринимать лучи света, должен, ко-

нечно, подчиняться физическим законам. Рассуждения французского астронома заключают в себе и другие погрешности. Повторим вкратце утверждения Фламмариона:

1) С большого отдаления можно видеть земные события, совершившиеся ранее момента наблюдения.

2) Удаляясь от Земли со скоростью, *равною* скорости света, можно видеть земные явления остановившимися.

3) Удаляясь от Земли быстрее света, можно видеть земные явления в обратном порядке.

Рассмотрим каждое утверждение особо.

1) Первый пункт, с точки зрения Фламмариона, не заключал ошибки. Но при современных взглядах, отвергающих возможность путешествовать быстрее света, он несостоятелен. Безусловно, с некоторого расстояния можно видеть на Земле давно совершившиеся события. Но чтобы *земной* наблюдатель не опоздал их увидеть, он должен перенестись к месту наблюдения скорее, чем достигает туда свет: иначе соответствующие лучи успеют уже проскользнуть мимо этого места. Но, как учит теория относительности, двигаться быстрее света, обогнать его, невозможно. Значит, *земной наблюдатель ни при каких условиях не может быть очевидцем прошедших земных событий*. Их мог бы наблюдать местный обитатель системы Капеллы или другой звезды, но так как он не может ничего знать о нашем *настоящем*, то видимые им события не произведут на него впечатления прошедших.

2) Утверждение второе было бы неправильно даже и при допущении возможности двигаться со скоростью света. Ведь если свет и наблюдатель движутся с одинаковой скоростью, то значит, они находятся *в покое* один относительно другого. При таких условиях световые волны не могут восприниматься наблюдателем. Представьте себе летчика, удаляющегося со скоростью пули от обстреливающего его пулемета; может ли какая-нибудь пуля попасть в него? Конечно нет: закрыв глаза, он даже не будет знать, что движется среди тучи пуль.

3) Третье утверждение тоже было бы ошибочно, даже если бы возможна была скорость, превышающая скорость света. Люмен только *в моменты остановок* увидел бы, одну за другой, картины того, что происходит на Земле. Но, двигаясь *непрерывно*, он не мог бы увидеть ничего, по крайней мере в той стороне, где Земля находится. Он может увидать Землю — как это ни странно — только в противоположной стороне!

Чтобы пояснить этот неожиданный вывод, рассмотрим следующий грубый пример. Представьте себе пушку, которая ежесекундно выбрасывает по ядру, и вообразите, что эти ядра несутся в пространстве все далее и далее с равномерной скоростью. Тогда по некоторой прямой линии будут непрерывно двигаться ядра, отделенные друг от друга одинаковыми промежутками. Представьте себе теперь, что вы сами несетесь вперед по этой линии со скоростью большею, чем скорость ядер. Разве ядра будут ударять вас *сзади*, со стороны пушки? Нет, они будут ударять вас *спереди*, или, вернее, вы будете налетать на них, встречая сначала те ядра, которые выпущены недавно, потом те, которые вылетели ранее. Если при этом вы не знаете, где находится пушка, и не чувствуете своего собственного движения, то вам покажется, что ядра налетают на вас спереди, и вы вообразите, будто именно там, впереди, находится извергающее их орудие.

Замените ядра световыми волнами, а себя — Люменом: вы легко поймете, что Люмен должен был бы при подобных условиях видеть Землю не там, где она находится, а как раз в противоположной точке. Земные явления предстали бы пред ним не только в *обратной последовательности*, но и видны были бы совсем не там, где Люмен ожидал их увидеть*.

По океану Вселенной

Говоря о странствованиях в мировом пространстве, интересно указать и на другую особенность света, менее известную, но подававшую некоторым пылким умам надежду осуществить возможность путешествовать по океану Вселенной. Я говорю о *давлении* света.

> «Когда мы наблюдаем, — говорит один английский физик**, — как плотина размывается во время шторма, нам легко верится, что морские волны производят давление на берег, о который они ударяются. Но трудно поверить, что микроскопические световые волны также давят на всякий предмет, на который они падают; что зажженная лампа, например, посылает волны, производящие давление на самый источник света и на всякую поверхность, которую они освещают. А между тем нам теперь достоверно известно, что свет производит подобного рода давление».

* Ошибки, отмеченные в п. 2 и 3, настолько бросаются в глаза, что, будучи еще школьником, я обратил на них внимание астронома, переведшего повесть Фламмариона, а немного позднее сообщил о них и ее автору.

** Проф. Пойнтинг в книге «Давление света».

Спешу прибавить, что давление это крайне ничтожно; лучи Солнца давят на земную поверхность с силою около *полумиллиграмма* на каждый квадратный метр или полкило на квадратный километр. Вся обращенная к Солнцу сторона земного шара испытывает от солнечных лучей давление в 60 тысяч тонн. Цифра эта кажется, конечно, колоссальной, но она много потеряет в ваших глазах, если я скажу вам, что она меньше той силы, с которой Земля притягивается Солнцем, в 60 *миллионов миллионов* раз! В сущности, это давление представляет ведь «только» вес тысячи паровозов.

Для мелких тел отношение между силой светового давления и силой притяжения выражается более крупной дробью, чем для земного шара. Это и понятно, так как сила давления лучей света пропорциональна *поверхности* тела, а сила притяжения — пропорциональна *массе*. Если бы поперечник земного шара был вдвое меньше, то объем, а следовательно, и масса его уменьшились бы в 8 раз, поверхность же — в 4 раза; вследствие этого притяжение уменьшилось бы в 8 раз, но давление лучей — всего в 4 раза.

Отсюда вытекает любопытное следствие. Так как отталкивающая сила лучей Солнца с уменьшением поперечника освещаемого тела убывает медленнее, нежели притягательная, то ясно, что при некоторой достаточно малой величине тела обе силы должны сравняться. Вычислено, что микроскопически маленькая водяная капелька (или частица другого вещества плотности воды) диаметром менее тысячной доли миллиметра, находясь на расстоянии Земли, испытывает со стороны Солнца давление, равное его притяжению. Другими словами, такая капелька как бы не притягивается Солнцем. Для еще более мелких капель сила светового давления должна уже *превышать силу* солнечного притяжения, т. е. такая капля *будет отталкиваться лучами Солнца*. Перевес светового давления над притяжением дает, правда, в данном случае ничтожную силу, — но ведь и масса этой капельки неизмеримо мала.

Неудивительно, что скорость, которую лучи света сообщают такой капельке, может достигать нескольких сотен, даже тысяч километров в секунду.

Теперь не покажется странным, что мельчайшие бактерии и особенно их споры (зародыши) могли бы, достигнув верхних границ атмосферы, покидать нашу планету и уноситься в беспредельное мировое пространство с огромной, притом все возрастающей скоростью в тысячи километров в секунду. Шведский ученый Сванте Аррениус

допускал даже, что этим путем могут переноситься с планеты на планету зародыши жизни...

Такая скорость более чем достаточна для преодоления силы земного притяжения: мы знаем, что тела уже при скорости 11 км/с должны навсегда удалиться от земной поверхности.

Если у вас живое воображение, то при чтении этих строк вы, наверное, подумали: а не может ли и человек воспользоваться тем же способом для межпланетного путешествия? Нет, потому что для этого необходимо было бы соорудить снаряд, для которого отношение поверхности к массе было бы такое же выгодное, как у мельчайших бактерий.

Технически это совершенно неосуществимо, и мысль (нередко высказываемая романистами) странствовать по океану Вселенной, пользуясь давлением световых лучей, является несбыточной мечтой*.

---

* Разбор этой идеи имеется в моей книге «Межпланетные путешествия».

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

ОТРАЖЕНИЕ И ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА

Видеть сквозь стены

В девяностых годах XIX века продавался любопытный прибор под громким названием «рентгеновский аппарат». Помню, как я был озадачен, когда еще школьником впервые взял в руки эту остроумную выдумку: трубка давала возможность видеть буквально сквозь непрозрачные предметы! Я различал окружающее не только через толстую бумагу, но и через лезвие ножа, непроницаемое даже для подлинных рентгеновских лучей. Нехитрый секрет устройства этой игрушки сразу станет вам ясен, если вы взглянете на рис. 96, изображающий прообраз описываемой трубки. Четыре зеркальца, наклоненных под углом в 45°, отражают лучи несколько раз, ведя их, так сказать, в обход непрозрачного предмета.

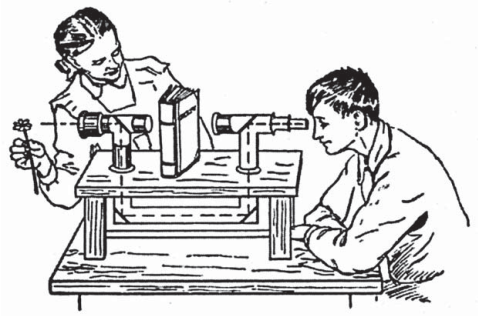


Рис. 96. Мнимый рентгеновский аппарат



Рис. 97. Перископ

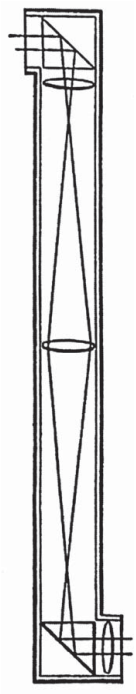


Рис. 98. Схема перископа подводной лодки

В военном деле широко пользуются подобными же приборами. Сидя в траншее, можно следить за неприятелем, не поднимая головы над землей и, следовательно, не подставляя себя под огонь неприятеля, если смотреть в прибор, который называется «перископом» (рис. 97).

Чем длиннее путь лучей света от места вступления в перископ до глаза наблюдателя, тем меньше поле зрения, видимое в прибор. Чтобы увеличить поле зрения, применяется система оптических стекол. Однако стекла поглощают часть света, проникающего в перископ; ясность видимости предметов от этого страдает. Сказанное ставит известные границы высоте перископа; два десятка метров уже являются высотой, приближающейся к пределу; более высокие перископы дают чересчур малое поле зрения и неотчетливые изображения, особенно в пасмурную погоду.

Капитан подводной лодки наблюдает за атакуемым судном также посредством перископа — длинной трубки, конец которой выступает над водой. Эти перископы гораздо сложнее, чем сухопутные, но сущность та же: лучи отражаются от зеркала (или призмы), укрепленного в выступающей части перископа, идут вдоль трубы, отражаются в нижней ее части и попадают в глаз наблюдателя (рис. 98).

Говорящая «отрубленная» голова

«Чудо» это нередко показывалось в странствующих по провинции «музеях» и «паноптикумах». Непосвященного оно положительно ошеломляет: вы видите перед собой небольшой столик с тарелкой, а на тарелке лежит... живая человеческая голова, которая двигает глазами, говорит, ест! Под столиком спрятать туловище как будто негде. Хотя подойти вплотную к столу нельзя — вас отделяет от него барьер, — все же вы ясно видите, что под столом ничего нет.

Когда вам придется быть свидетелем такого «чуда», попробуйте закинуть в пустое место под столиком скомканную бумажку. Загадка сразу разъяснится: бумажка отскочит от... зеркала! Если она и не

долетит до стола, то все же обнаружит существование зеркала, так как в нем появится ее отражение (рис. 99).



Рис. 99. Секрет «отрубленной» головы

Достаточно поставить по зеркалу между ножками стола, чтобы пространство под ним казалось издали пустым, — разумеется, в том лишь случае, если в зеркале не отражается обстановка комнаты или публика. Вот почему комната должна быть пуста, стены совершенно одинаковы, пол выкрашен в однообразный цвет, без узоров, а публика держится от зеркала на достаточном расстоянии.

Секрет прост до смешного, но пока не узнаешь, в чем он заключается, прямо теряешься в догадках.

Иногда фокус обставляется еще эффектнее. Фокусник показывает сначала пустой столик: ни под ним, ни над ним ничего нет. Затем приносится из-за сцены закрытый ящик, в котором будто бы и хранится «живая голова без туловища» (в действительности же ящик пустой). Фокусник ставит этот ящик на стол, откидывает переднюю стенку — и изумленной публике представляется говорящая человеческая голова. Читатель, вероятно, уже догадался, что в верхней доске стола имеется откидная часть, закрывающая отверстие, через которое сидящий под столом, за зеркалами, просовывает голову, когда на стол ставят пустой ящик без дна. Фокус видоизменяют и на иной лад, но перечислять все варианты мы здесь не станем: увидев, читатель разгадает их сам.

Впереди или сзади?

Есть немало вещей домашнего обихода, с которыми многие люди обращаются нецелесообразно. Мы уже указывали раньше, что иные не умеют пользоваться льдом для охлаждения: ставят охлаждаемые напитки на лед, вместо того чтобы помещать их *под* лед. Оказывается, что и обыкновенным зеркалом не все умеют пользоваться. Сплошь и рядом, желая хорошо разглядеть себя в зеркале, ставят лампу *позади* себя, чтобы «осветить свое отражение», вместо того чтобы осветить самих себя! Многие женщины поступают именно таким образом. Наша читательница, без сомнения, догадается поместить лампу *впереди* себя.

Можно ли видеть зеркало?

Вот еще доказательство недостаточного знакомства нашего с обыкновенным зеркалом: на поставленный в заголовке вопрос большинство отвечает неправильно, хотя все глядятся в зеркало ежедневно.

Те, кто убежден, что зеркало можно видеть, ошибаются. Хорошее чистое зеркало невидимо. Можно видеть раму зеркала, его края, предметы, в нем отражающиеся, но самого зеркала, если только оно не загрязнено, видеть нельзя. Всякая *отражающая* поверхность, в отличие от поверхности *рассеивающей*, сама по себе невидима. (*Рассеивающей* называется такая поверхность, которая разбрасывает лучи света по всевозможным направлениям. В общежитии мы называем отражающие поверхности полированными, а рассеивающие — матовыми.)

Все трюки, фокусы и иллюзии, основанные на использовании зеркал, — хотя бы, например, сейчас описанный опыт с головой — основаны именно на том, что само зеркало невидимо, а видны лишь отражающиеся в нем предметы.

Животные у зеркала

Любопытно — хотя и не совсем с точки зрения физики, — как относятся к своему отражению в зеркале животные. Многие животные попросту не видят его. Мне никак не удавалось добиться того, чтобы кошка заметила свое отражение. Возможно, что иллюзия разрушается для нее отсутствием тех обонятельных впечатлений, которые в ее сознании сопутствуют зрительному образу живой кошки. Не потому ли животные на водопое безбоязненно относятся к отражению своей головы в воде? Опытов с собаками и с лошадьми я не проводил и был бы благодарен читателям за соответствующие сообщения. Зато не подлежит сомнению, что обезьяны вполне поддаются иллюзии зеркала. Вот что рассказывает наблюдатель из Ленинградского зоологического сада:

> «Зеркало было прибито в открытом вольере к стене, на уровне пола. Утром два гамадрила хотели выйти в наружную клетку, но, увидев в ней новый предмет, испугались и убежали. Долго они выглядывали, не решаясь выйти. Привлекаемые блеском нового предмета и ободренные его неподвижностью, они наконец медленно вышли в вольер, отвертываясь и держась на почтительном расстоянии от зеркала. Повернувшись, что-

бы еще раз взглянуть на этот загадочный предмет, они неожиданно увидели свои изображения, но, приняв их за новых товарищей, радостно закричали и побежали сообщить новость другим гамадрилам.

Все население вольера собралось перед зеркалом. Обезьяны протягивали руки новым товарищам, что-то лепетали и, по-видимому, приглашали их присоединиться к ним.

Но упорство, проявленное новыми товарищами, не желавшими войти в вольер, стало раздражать обезьян, их речь утратила оттенок нежного дружелюбия, а на лицах появились гримасы. Новые земляки из зеркала продолжали молчать, отвечали такими же гримасами и кривляниями, что еще более раздражало обезьян.

Несколько раз работница приносила гамадрилам пищу, но они не обращали на нее никакого внимания и не отходили от зеркала. Наконец принесли лакомое блюдо — гоголь-моголь, и проголодавшиеся обезьяны пошли на зов работницы. Но, отойдя несколько шагов от зеркала и повернувшись к нему, они вдруг заметили, что и новые товарищи уходят! Боязнь потерять их была так велика, что обезьяны отказались от гоголь-моголя и снова начали исследовать зеркало. Убедившись, что оно не является открытой дверью, через которую можно войти, гамадрилы попробовали заглянуть за него, пытались оторвать его от стены, но все усилия их остались тщетными, и тайна появления новых знакомых осталась неразгаданной.

Поздно вечером вконец измученные бесплодными усилиями и голодовкой обезьяны ушли на ночевку, а с наступлением утра снова все сидели вокруг зеркала. Упорство и постоянство, с которым они возвращались к нему каждое утро, пытаясь разрешить тайну появления новых товарищей, были поразительны. Обезьяны перестали нормально питаться и целые дни сидели около зеркала. Через неделю зеркало пришлось убрать, и жизнь вольера вошла в свою колею».

Кого мы видим, глядя в зеркало?

«Разумеется, самих себя, — ответят многие, — наше изображение в зеркале есть точнейшая копия нас самих, сходная с нами во всех подробностях».

Не угодно ли, однако, убедиться в этом сходстве? У вас на правой щеке родинка — у вашего двойника правая щека чиста, но на левой щеке есть пятнышко, которого у вас на этой щеке не имеется. Вы зачесываете волосы *направо* — ваш двойник зачесывает их *налево*. У вас правая бровь выше и гуще левой; у него, напротив, эта бровь ниже и реже, нежели левая. Вы носите часы в правом кармане жилета, а записную книжку в левом кармане пиджака; ваш зеркальный двойник

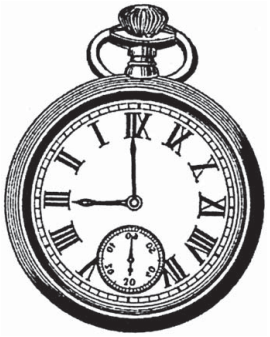


Рис. 100. Такие часы имеет при себе двойник, которого вы видите в зеркале

имеет иные привычки: его записная книжка хранится в правом кармане пиджака, часы — в левом жилетном. Обратите внимание на циферблат его часов. У вас таких часов никогда не бывало: расположение и начертание цифр на них необычайное; например, цифра восемь изображена так, как ее нигде не изображают — «IIX», и помещена на месте двенадцати; двенадцати же нет совсем; после шести следует пять, и т. д.; кроме того, движение стрелок на часах вашего двойника обратно обычному.

Наконец, у вашего зеркального двойника есть физический недостаток, от которого вы, надо думать, свободны: он левша. Он пишет, шьет, ест левой рукой, и, если вы выразите готовность с ним поздороваться, он протянет вам левую руку.

Нелегко решить, грамотен ли ваш двойник. Во всяком случае, грамотен как-то по-особенному. Едва ли удастся вам прочесть хоть одну строку из той книги, которую он держит, или какое-нибудь слово в тех каракулях, которые он выводит своей левой рукой.

Таков тот человек, который притязает на полное сходство с вами! А вы хотите судить по нему о внешнем виде вас самих...

Шутки в сторону: если вы думаете, что, глядя в зеркало, видите самих себя, — вы заблуждаетесь. Лицо, туловище и одежда у большинства людей не строго симметричны (хотя мы этого обычно не замечаем): правая половина не вполне сходна с левой. В зеркале все особенности правой половины переходят к левой, и наоборот, так что перед нами является фигура, производящая зачастую совсем иное впечатление, чем наша собственная.

Рисование перед зеркалом

Нетождественность зеркального отражения с оригиналом еще заметнее выступает в следующем опыте.

Поставьте перед собой отвесно на стол зеркало, положите перед ним бумажку и попробуйте нарисовать на ней какую-нибудь фигуру, например прямоугольник с диагоналями. Но не смотрите при

этом прямо на свою руку, а следите лишь за движениями руки, отраженной в зеркале.

Вы убедитесь, что столь легкая на вид задача почти невыполнима. В течение многих лет наши зрительные впечатления и двигательные ощущения успели прийти в определенное соответствие. Зеркало нарушает эту связь, так как представляет глазам движения нашей руки в искаженном виде. Давнишние привычки будут протестовать против каждого вашего движения: вы хотите провести линию вправо, а рука тянет влево, и т. п.

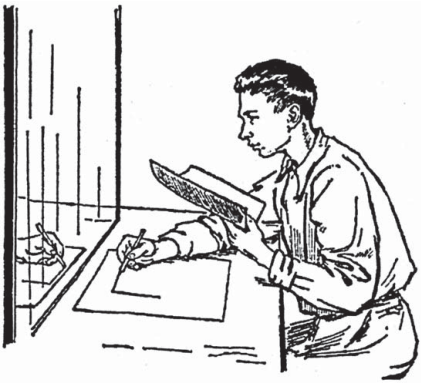


Рис. 101. Рисование перед зеркалом

Еще больше неожиданных странностей вы встретите, если вместо простого чертежа попробуете рисовать перед зеркалом более сложные фигуры или писать что-нибудь, глядя на строки в зеркале: выйдет комичная путаница!

Те отпечатки, которые получаются на пропускной бумаге, — тоже изображения зеркально симметричные. Рассмотрите надписи, испещряющие вашу пропускную бумагу, и попробуйте прочесть их. Вам не разобрать ни одного слова, даже вполне отчетливого: буквы имеют необычный наклон влево, а главное, последовательность штрихов в них не та, к какой вы привыкли. Но приставьте к бумаге зеркало под прямым углом — и вы увидите в нем все буквы написанными так, как вы привыкли их видеть. Зеркало дает симметричное отражение того, что само является симметричным изображением обыкновенного письма.

Расчетливая поспешность

Мы знаем, что в однородной среде свет распространяется прямолинейно, т. е. скорейшим путем. Но свет избирает скорейший путь также и в том случае, когда не идет от одной точки к другой непосредственно, а достигает ее, предварительно отразившись от зеркала.

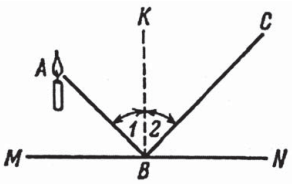


Рис. 102. Угол отражения *2* равен углу падения *1*

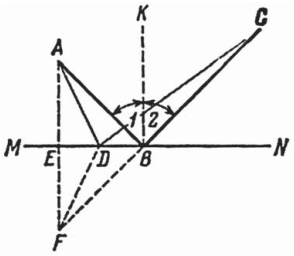


Рис. 103. Свет, отражаясь, избирает кратчайший путь

Проследим за его путем. Пусть буква *A* на рис. 102 обозначает источник света, линия *MN* — зеркало, а линия *ABC* — путь луча от свечи до глаза *C*. Прямая *KB* перпендикулярна к *MN*.

По законам оптики, угол отражения *2* равен углу падения *1*. Зная это, легко доказать, что из всех возможных путей от *A* к C, с попутным достижением зеркала *MN*, путь *ABC* — самый скорый. Для этого сравним путь луча *ABC* с каким-нибудь другим, например с *ADC* (рис. 103). Опустим перпендикуляр *AE* из точки *A* на *MN* и продолжим его далее до пересечения с продолжением луча *BC* в точке *F*. Соединим также точки *F* и *D*. Убедимся прежде всего в равенстве треугольников *ABE* и *EBF*. Они — прямоугольные, и у них общий катет *EB*; кроме того, углы *EFB* и *EAB* равны между собой, так как соответственно равны углам *2* и *1*. Следовательно, *AE* = *EF*. Отсюда вытекает равенство прямоугольных треугольников *AED* и *EDF* по двум катетам и, следовательно, равенство *AD* и *DF*.

Ввиду этого мы можем путь *ABC* заменить равным ему путем *CBF* (так как *AB* = *FB)*, а путь *ADC* — путем *CDF*. Сравнивая же между собой длины *CBF* и *CDF*, видим, что прямая линия *CBF* короче ломаной *CDF*. Отсюда путь *ABC* короче *ADC*, что и требовалось доказать!

Где бы ни находилась точка *D*, путь *ABC* всегда будет короче пути *ADC*, если только угол отражения равен углу падения. Значит, свет действительно избирает самый короткий и самый скорый путь из всех возможных между источником, зеркалом и глазом. На это обстоятельство впервые указал еще Герон Александрийский, замечательный греческий механик и математик II века.

Полет вороны

Умение находить кратчайший путь в случаях, подобных сейчас рассмотренным, может пригодиться для решения некоторых головоломок. Вот пример одной из таких задач.



Рис. 104. Задача о вороне. Найти кратчайший путь до забора

На ветке дерева сидит ворона. Внизу, на дворе, рассыпаны зерна. Ворона спускается с ветки, схватывает зерно и садится на забор. Спрашивается, где должна она схватить зерно, чтобы путь ее был кратчайшим (рис. 104)?

Задача эта совершенно сходна с той, которую мы только что рассмотрели. Нетрудно поэтому дать правильный ответ: ворона должна подражать лучу света, т. е. лететь так, чтобы угол *1* был равен углу *2* (рис. 105). Мы уже видели, что в таком случае путь оказывается кратчайшим.

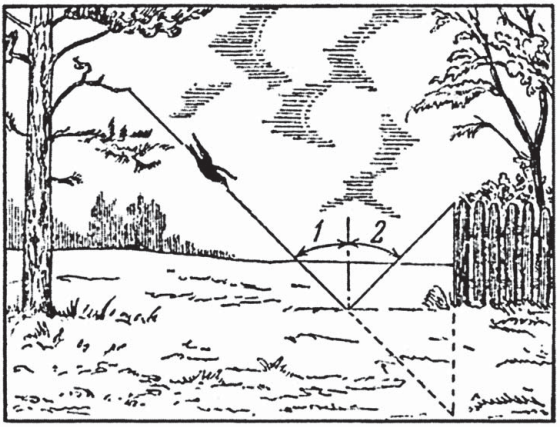


Рис. 105. Решение задачи о вороне

Новое и старое о калейдоскопе

Всем известна хорошая игрушка, носящая название калейдоскопа: горсточка пестрых осколков отражается в двух или трех плоских зеркальцах и образует удивительно красивые фигуры, разнообразно меняющиеся при малейшем повороте калейдоскопа. Хотя калейдоскоп довольно общеизвестен, мало кто подозревает, какое огромное число разнообразных фигур можно получить с его помощью. Допустим, вы держите в руках калейдоскоп с 20 стеклышками и 10 раз в минуту поворачиваете его, чтобы получить новое расположение отражающихся стеклышек. Сколько времени понадобится вам, чтобы пересмотреть все получающиеся при этом фигуры?

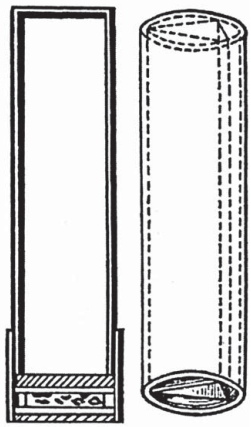


Рис. 106. Калейдоскоп

Самое пылкое воображение не предусмотрит правильного ответа на этот вопрос. Океаны высохнут и горные цепи сотрутся, прежде чем будут исчерпаны все узоры, чудесным образом скрытые внутри вашей маленькой игрушки, потому что для осуществления всех их понадобится по крайней мере 500 000 миллионов лет. Свыше пятисот миллионов тысячелетий нужно вращать наш калейдоскоп, чтобы пересмотреть все его узоры!

Бесконечно разнообразные, вечно меняющиеся узоры калейдоскопа давно интересуют декораторов-художников, фантазия которых не может соперничать с неистощимой изобретательностью этого прибора. Калейдоскоп создает подчас узоры поразительной красоты, могущие служить прекрасными мотивами для орнаментов на обоях, для узоров на различных тканях и т. п.

Но в широкой публике калейдоскоп не вызывает уже того живого интереса, с каким встречен он был лет сто назад, когда был еще новинкой. Его воспевали в прозе и стихах.

Калейдоскоп изобретен был в Англии в 1816 году и через год-полтора проник уже в Россию, где был встречен с восхищением. Баснописец А. Измайлов в журнале «Благонамеренный» (июль 1818 года) писал о калейдоскопе в следующих выражениях:

«Прочитав объявление о калейдоскопе, достаю сие чудесное орудие —

Смотрю — и что ж в моих глазах?
В фигурах разных и звездах

Сапфиры, яхонты, топазы,
И изумруды, и алмазы,
И аметисты, и жемчуг,
И перламутр — все вижу вдруг!
Лишь сделаю рукой движенье —
И новое в глазах явленье!

Не только в стихах, но и в прозе невозможно описать того, что видишь в калейдоскопе. Фигуры переменяются при каждом движении руки и одна на другую не походят. Какие прелестные узоры! Ах, если бы можно было вышивать их на канве! Но где взять такие яркие шелка? Вот самое приятное занятие от безделки и от скуки. Гораздо лучше смотреть в калейдоскоп, нежели раскладывать гранпасьянс.

Утверждают, будто калейдоскоп известен был еще в XVII столетии. Ныне недавно он возобновлен и усовершенствован в Англии, оттуда месяца два назад перешел во Францию. Один из тамошних богачей заказал калейдоскоп в 20 000 франков. Вместо разноцветных стеклышек и бус велел он положить жемчуг и драгоценные каменья».

Далее баснописец рассказывает забавный анекдот о калейдоскопе и наконец заключает статью меланхолическим замечанием, чрезвычайно характерным для эпохи крепостничества и отсталости:

«Известный своими превосходными оптическими инструментами императорский физикомеханик Роспини делает и продает калейдоскопы по 20 рублей. Без сомнения, гораздо более найдется на них охотников, нежели на физические и химические лекции, от которых — к сожалению и удивлению — благонамеренный господин Роспини не получил никакой себе выгоды».

Долго калейдоскоп оставался не более чем любопытной игрушкой и только в наши дни получил полезное применение для составления узоров. Изобретен прибор, с помощью которого можно фотографировать калейдоскопические узоры и таким образом механически придумывать всевозможные орнаменты.

«Дворцы иллюзий и миражей»

Какие ощущения испытали бы мы, если бы, уменьшенные до размеров стеклянного осколка, очутились внутри калейдоскопа? Существует способ выполнить такой опыт на деле. Эту чудесную возможность имели в 1900 году посетители Всемирной Парижской выставки, где большим успехом пользовался так называемый «дворец иллю-

зий» — нечто вроде калейдоскопа, но только неподвижного. Вообразите шестиугольный зал, каждая стена которого представляет собой огромное зеркало идеальной полировки. В углах зеркального зала устроены архитектурные украшения в виде колонн и карнизов, сливающихся с лепкой потолка. Зритель внутри такого зала видел себя словно затерянным в невообразимой толпе похожих на него людей в бесконечной анфиладе зал и колонн; они окружали его со всех сторон и простирались вдаль, насколько видел глаз. Залы, заштрихованные на рис. 107 горизонтально, получаются вследствие однократного отражения; в результате двукратного отражения получаются изображения, заштрихованные перпендикулярно к первым, т. е. еще 12 залов. Троекратное отражение присоединяет к ним еще 18 залов (косая штриховка); залы множатся с каждым отражением, и общее число их зависит от совершенства полировки и от параллельности зеркал, занимающих противоположные грани призматического зала. Практически различались еще залы, получавшиеся в результате 12-го отражения, т. е. видимый горизонт обнимал 468 залов.

Причина «чуда» ясна всякому, кто знаком с законами отражения света: ведь тут имеются 3 пары параллельных зеркал и 10 пар зеркал, поставленных под углом; неудивительно, что они дают такое множество отражений. Еще любопытнее те оптические эффекты, которые были достигнуты на Парижской выставке в так называемом «дворце миражей». Устроители этого «дворца» присоединили к бес-

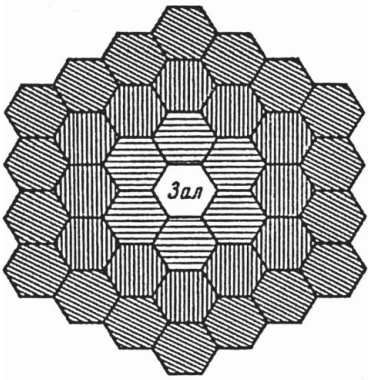


Рис. 107. Троекратное отражение стен центрального зала дает 36 залов

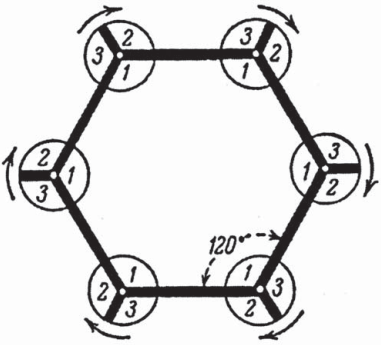


Рис. 108

численным отражениям еще мгновенную перемену всей картины. Они как бы устроили *подвижный*, огромных размеров калейдоскоп, внутри которого помещались зрители.

Перемена обстановки в этом «дворце миражей» достигалась следующим образом: зеркальные стены на некотором расстоянии от ребер разрезаны вдоль, и полученный угол может вращаться вокруг оси, заменяясь другим. Из рис. 108 видно, что можно произвести три замены, соответствующие углам *1*, *2* и *3*. Теперь представьте себе, что все углы, обозначенные цифрой *1*, заключают в себе обстановку тропического леса, все углы *2* — обстановку арабского зала, а углы *3* — индийского храма. Одним движением скрытого механизма, поворачивающего углы, тропический лес превращается в храм или в арабский зал. Весь секрет «волшебства» основан на таком простом физическом явлении, как отражение световых лучей.

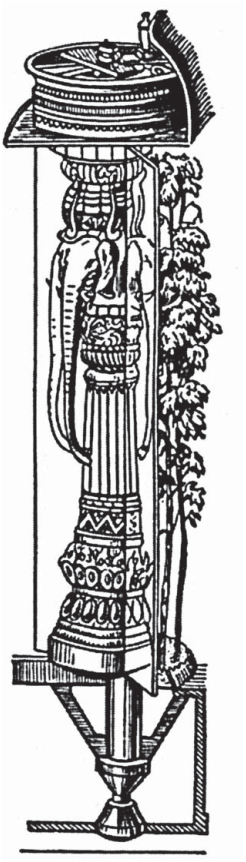
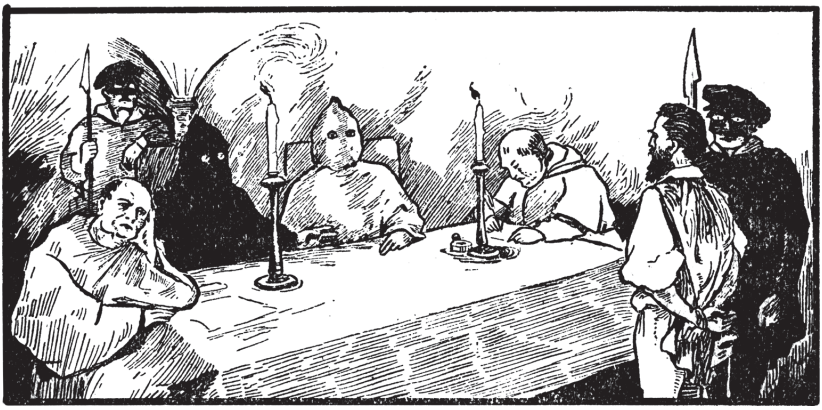


Рис. 109. Секрет «дворца миражей»

На эффекте отражения в параллельных зеркалах основано старинное гадание с зеркалами. Гадающий видел перед собой далеко уходящий ряд отражений свечей, которые помещены между двумя зеркалами. Жуткое впечатление, производимое этой картиной на суеверно настроенного человека, прекрасно передано Фетом:

Зеркало в зеркало с трепетным лепетом
Я при свечах навела,
В два ряда свет, — и таинственным трепетом
Чудно горят зеркала...
Страшно припомнить душой оробелою:
Там за спиной нет огня...
Тяжкое что-то над шеею белою
Плавает, давит меня!
Ну как уставят гробами дубовыми
Весь этот ряд между свеч?

Некогда этим свойством зеркал пользовалась, говорят, инквизиция: для терзания своих жертв она изобрела особую «пытку зеркалами», с которой читатель может познакомиться по приводимому здесь рассказу.



ПЫТКА ЗЕРКАЛАМИ

Рассказ

(Перевод с английского)

I

За столом сидел инквизитор. Он сказал:

— Ты упорствуешь, отказываешься вернуться в объятия Святой Церкви. За это мы приговариваем тебя к тому, чтобы ты побыл сам с собой. Да возненавидишь ты себя во прахе и теле твоем и обретешь раскаяние, ведущее к спасению души.

Этих слов я не понял. Впрочем, не понимал я и ничего остального; только угадывал, что какой-нибудь несчастный страдалец под пыткой обронил мое имя в надежде смягчить свои мучения. Меня схватили на одной из мадридских улиц и отвели в тюрьму инквизиции. Много недель пробыл я там; наконец меня вызвали на следствие.

После допроса меня снова отвели в камеру, похожую на прежнюю. Это была комнатка приблизительно в три квадратных метра, которая освещалась окошечком под потолком. Я поднял голову и увидел, что окно чем-то закрыли. Была в ней и кровать, хоть сон в этих стенах редко бывал отдыхом.

Тяжелая дверь затворилась за мной. Я остался один, понимая, что буду страдать, — но как страдать, не знал. «Побудь наедине с собою». Что могли значить эти слова? Ведь я и так несколько недель провел в одиночном заключении.

Вечер подходил; ничего не случилось, и мои опасения начали замирать. Наконец я заснул, почти успокоенный.

II

В сумраке раннего утра я проснулся и, устремив глаза в темноту, заметил, что за ночь произошла странная перемена. Как раз против моей кровати мерцал свет; раньше его не было. Остальные стены казались прозрачными; странные тени колебались на них.

Я лежал, раздумывая, что бы это значило. Вдруг над моей головой послышался легкий стук; комната окончательно потемнела. Ждал я несколько часов, но лучи зари не проникали в мою комнату. Вот над головой вспыхнул легкий свет; в отверстии на середине потолка показались пальцы, снова исчезли, повесив зажженную лампу. Наконец я мог видеть...

Что видеть? Моим первым ощущением был полный ужас. Голова у меня закружилась. Мне казалось, что я один среди дикого вихря; из каждого угла смотрели на меня страшные лица. Фантастические огоньки качались повсюду, куда ни падал мой взгляд. Казалось, камера моя разрослась, сделалась бесконечной.

Потом я понял, в чем дело. За ночь стены, потолок и пол моей камеры заменили зеркалами. Даже дверь и окно закрывали теперь зеркала.

Лицо, смотревшее на меня с пятидесяти сторон сразу, было моим собственным лицом. Я так давно не видел его! Теперь оно было дико и ужасно. Его окаймляла борода, и мои глаза так изменились, что я невольно задал себе вопрос: как еще они переменятся?

Только через несколько часов нашел я в себе достаточно мужества, чтобы посмотреть *кругом* себя. И невозможно передать, какое это было страшное зрелище! Смотрел ли я направо или налево, вверх или вниз — я видел себя в сотне фантастических поз. Были фигуры, стоявшие ко мне лицом, обращенные ко мне спиной, боком. Тут я держался на голове, там — видел себя в перспективе сверху. *Части* моей фигуры виднелись повсюду, куда ни обращались мои глаза.

Я боялся шевельнуться — так ужасно было волнение, которое порождали среди призраков зеркал самые легкие мои движения. Если я поднимал руку, это движение повторялось толпой фигур на тысячу ладов.

Я старался не открывать глаз, но мысль, что кругом меня были миллионы закрытых глаз, как бы в насмешку надо мною, заставляла мои веки снова подниматься.

Так прошел день ужасного страдания. Я понимал, что еще несколько таких суток превратят меня в безумца. Из отверстия в середине потолка ко мне спустили пищу, но я не мог дотронуться до нее.

Мои мучители, вероятно, поняли, что конец настанет раньше, чем они желали, — и на следующее утро я проснулся в обыкновенной камере. Я думаю, никогда вид голых тюремных стен не вызывал такого удовольствия. Я провел почти счастливый день, надеясь, что пытка моя окончена.

Но не так действовала инквизиция! На следующее утро зеркала снова появились, с той разницей, что раньше они были совершенно гладки, теперь же их заменили искривленными. Каждый, когда-либо смотревший в кривое зеркало, знает, что это значит. Мои отражения, бывшие просто бесчисленными, теперь сделались безобразными. Чудовищные губы, уродливые глаза усмехались мне со стен, и ужасные, несоразмерные существа неожиданно изменялись при каждом моем движении. Дьявольское жилище не могло быть хуже моей камеры. Мне хотелось броситься на пол, но я знал, что там встретит меня какая-нибудь страшная карикатура на меня...

Очевидно, преследователи хотели довести меня до безумия; я хорошо знал их и потому верил, что они еще не достигли предела в своей дьявольской изобретательности. Будь у меня какое-нибудь орудие, я разбил бы на тысячи осколков проклятые зеркала; но ничего подходящего для моей цели я не мог найти в камере.

Бежать? Невозможно! Раздумывая об этом, я случайно увидел закрытую отдушину в середине потолка, через которую вешали лампу в страшные утра. Тогда я замечал только руку: она поднимала часть зеркала, оттягивая ее назад, а потом вешала лампу на крючок.

На следующее утро я с жаром ждал появления руки. Когда она просунулась в люк, я подпрыгнул и схватился за нее. Раздался дикий крик; человеческое тело рухнуло из отверстия на пол.

Не медля ни минуты, я сорвал с убитого или оглушенного тюремщика плащ и маску и надел их на себя. Потом посадил моего пленника и, став на его плечо, как на подножку, подпрыгнул к люку, который вел в комнату наверху.

Я добрался до трапа и благополучно вылез из камеры.

Что почувствует мой пленник, когда он очнется, окруженный адскими зеркалами? Думая об этом, я пожалел, что ко мне не попал сам Великий инквизитор.

Почему и как преломляется свет?

То, что при переходе из одной среды в другую луч света преломляется, многим представляется странным капризом природы. Кажется непонятным, почему свет не сохраняет в новой среде первоначального своего направления, а избирает ломаный путь. Кто так думает, тот, вероятно, с удовлетворением узнает, что луч света претерпевает, в сущности, то же самое, что происходит и с марширующей колонной бойцов, пересекающей границу между почвой, удобной для ходьбы, и почвой неудобной. Вот что говорит об этом Джон Гершель, знаменитый астроном и физик XIX века.

> «Представьте себе отряд солдат, идущий по местности, разделенной прямой границей на две полосы, из которых одна гладкая, ровная и удобная для ходьбы, другая — кочковатая, затруднительная, так что ходьба по ней не может совершаться столь быстро. Предположим сверх того, что фронт отряда составляет угол с пограничной линией между двумя полосами, так что солдаты достигают этой границы не все одновременно, а последовательно один за другим. Тогда каждый солдат, переступив границу, очутится на почве, по которой он не может более подвигаться так быстро, как до того времени. Он не сможет уже держаться на одной линии с остальной частью шеренги, еще находящейся на лучшей почве, и будет от нее отставать с каждой секундой все больше. Так как каждый солдат, достигая границы, испытывает одинаковое затруднение в ходьбе, то, если солдаты не нарушат строя, не рассеются, а будут продолжать маршировать правильной колонной, вся та часть колонны, которая переступила границу, будет неизбежно отставать от остальной и составит с ней поэтому тупой угол в точке пересечения границы. И так как необходимость ходить в ногу, не перебивая дороги друг другу, заставит каждого солдата шагать прямо перед собой, под прямым углом к новому фронту, то путь, который он пройдет по переходе границы, будет, во-первых, перпендикулярен к новому фронту, а во-вторых, будет так относиться к тому пути, какой был бы пройден в случае отсутствия замедления, как новая скорость к прежней».

В малом виде вы можете воспроизвести это наглядное подобие преломления света у себя на столе. Накройте половину стола скатер-

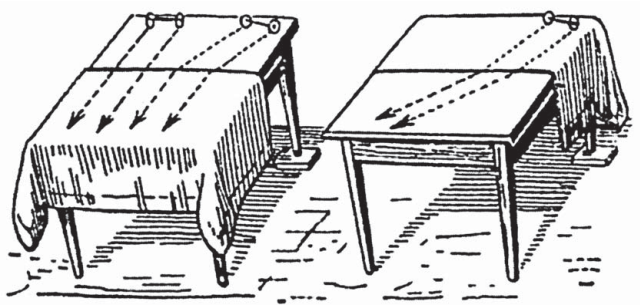


Рис. 110. Опыт, поясняющий преломление света

тью (рис. 110) и, слегка наклонив стол, заставьте скатываться по нему пару колесиков, наглухо посаженных на общую ось (например, от сломанного детского паровоза или другой игрушки). Если направление движения колес и край скатерти составляют прямой угол, преломления пути не происходит. Вы имеете в этом случае иллюстрацию оптического правила: луч, перпендикулярный к плоскости раздела сред, не преломляется. При направлении, наклонном к краю скатерти, путь колес изламывается на этом краю, т. е. на границе между средами с различной скоростью движения в них. Легко заметить, что при переходе из части стола, где скорость движения больше (непокрытая часть), в ту часть, где скорость меньше (скатерть), направление пути («луч») приближается к «перпендикуляру падения». В обратном случае наблюдается удаление от этого перпендикуляра.

Из этого можно, между прочим, почерпнуть важное указание, вскрывающее сущность рассматриваемого явления, а именно, что преломление обусловлено различием скорости света в обеих средах. Чем больше различие в скорости, тем значительнее преломление; так называемый «показатель преломления», характеризующий величину излома лучей, есть не что иное, как отношение этих скоростей. Когда вы читаете, что показатель преломления при переходе из воздуха в воду есть $^4/_3$, то вы вместе с тем узнаете, что свет движется в воздухе примерно в 1,3 раза скорее, чем в воде.

А в связи с этим находится и другая поучительная особенность распространения света. Если в случае отражения световой луч следует *кратчайшим* путем, то в случае преломления он избирает *скорейший* путь: никакое другое направление не приводит луч так скоро к месту назначения, как этот изломанный путь.

Когда длинный путь проходится быстрее, чем короткий?

Но неужели ломаный путь может быстрее привести к цели, чем прямой? Да, в тех случаях, когда скорость движения в различных частях пути различна. Вспомните, что приходится делать жителям деревни, расположенной между двумя железнодорожными станциями в соседстве с одной из них. Чтобы попасть скорее на дальнюю станцию, они едут на лошади сначала в *обратном* направлении, к ближайшей станции, там садятся в поезд и едут к месту назначения. Им *короче* было бы, разумеется, прямо ехать туда на лошади, но они предпочитают более длинный путь на лошади и в вагоне, потому что он приводит к цели *скорее*.

Уделим минуту внимания еще одному примеру. Кавалерист должен прибыть с донесением из точки *A* к палатке командира в точке *C* (рис. 111). Его отделяют от палатки полоса глубокого песка и полоса луга, разграниченные между собой прямой линией *EF*. По песчаной почве лошадь движется *вдвое медленнее*, чем по лугу. Какой же путь должен выбрать кавалерист, чтобы достигнуть палатки в кратчайшее время?

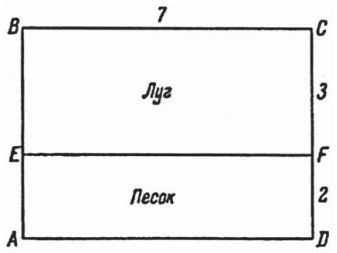


Рис. 111. Задача о кавалеристе. Найти скорейший путь из *A* в *C*

На первый взгляд кажется, что самый скорый путь — прямая линия, проведенная от *A* до C. Но это совершенно ошибочно, и я не думаю, чтобы нашелся кавалерист, который выбрал бы такой путь. Медленное движение по песку наведет его на правильную мысль сократить эту медленную часть пути, прорезав песчаную полосу по менее косой линии; конечно, тем самым удлинится вторая часть пути — по лугу; но так как по лугу можно двигаться вдвое быстрее, то удлинение пути не перевесит полученной выгоды, и в общем итоге путь будет проделан в меньший промежуток времени. Другими словами, путь кавалериста должен *преломиться* на границе обоих родов почвы, и притом так, чтобы путь по лугу составлял с перпендикуляром к границе больший угол, чем путь по песчаной почве.

Кто знаком с геометрией, именно с теоремой Пифагора, тот может проверить, что прямой путь *AC* действительно не является путем

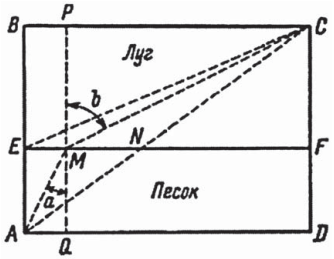


Рис. 112. Решение задачи о кавалеристе. Скорейший путь *AMC*

скорейшим и что при тех размерах для ширины полос и расстояний, которые мы здесь имеем в виду, можно скорее достичь цели, если направиться, например, по ломаной *AEC* (рис. 112).

На рис. 111 указано, что ширина песчаной полосы 2 км, луговой — 3 км, а расстояние *BC* — 7 км. Тогда вся длина *AC* (см. рис. 112) равна, по теореме Пифагора, $\sqrt{5^2 + 7^2} = \sqrt{74} = 8{,}60$ км

Часть *AN* — путь по песку — этого отрезка составляет, как легко сообразить, $^2/_5$ этой величины, т. е. 3,44 км. Так как по песку движение происходит вдвое медленнее, чем по лугу, то 3,44 км песчаного пути равнозначны, в смысле требуемого времени, 6,88 км по лугу. И следовательно, весь смешанный путь по прямой *AC*, равный 8,60 км, соответствует 12,04 км пути по лугу.

Сделаем такое же «приведение к лугу» и для ломаного пути *AEC*. Часть *AE* = 2 км и соответствует 4 км пути по лугу.

Часть $EC = \sqrt{3^2 + 7^2} = \sqrt{58} = 7{,}61$ км. Итого весь ломаный путь *AEC* отвечает 4 + 7,61 = 11,61 км.

Итак, короткий прямой путь соответствует 12,04 км движения по лугу, а длинный ломаный — всего только 11,61 км по той же почве. Длинный путь, как видите, дает выгоду в 12,04 – 11,61 = 0,43 км, почти в полкилометра!

Но мы не указали еще *самого* быстрого пути. Быстрейший путь, как учит теория, будет тот, при котором (нам придется здесь обратиться к услугам тригонометрии) синус угла *b* относится к синусу угла *a*, как скорость на лугу относится к скорости на песке, т. е. как 2 : 1. Другими словами, нужно выбрать направление так, чтобы sin *b* был вдвое больше sin *a*. Для этого нужно перешагнуть границу между полосами в такой точке *M*, которая находится в одном километре от *E*. Действительно, тогда

$$\sin b = \frac{6}{\sqrt{3^2 + 6^2}}, \quad \sin a = \frac{1}{\sqrt{1^2 + 2^2}},$$

отношение

$$\frac{\sin b}{\sin a} = \frac{6}{\sqrt{45}} : \frac{1}{\sqrt{5}} = \frac{6}{3\sqrt{5}} : \frac{1}{\sqrt{5}} = 2,$$

т. е. как раз отношению скоростей.

А какова будет в таком случае «приведенная к лугу» длина пути? Вычислим: $AM = \sqrt{2^2 + 1^2}$, что отвечает 4,47 км пути по лугу. $MC = \sqrt{45} = 6{,}71$ км. Длина всего пути 4,47 + 6,71 = 11,18, т. е. на 860 км *короче* прямолинейного пути, который, как мы уже знаем, соответствует 12,04 км.

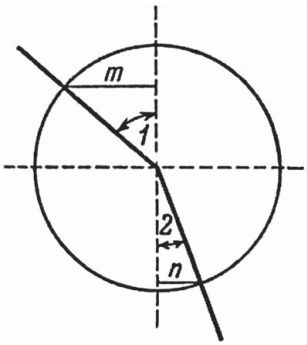


Рис. 113. Что такое синус? Отношение *m* к радиусу есть синус угла *1*, отношение *n* к радиусу — синус угла *2*

Вы видите, какие выгоды доставляет при данных условиях изламывание пути. Световой луч как раз и избирает такой скорейший путь, потому что закон преломления света строго удовлетворяет требованию математического решения задачи: синус угла преломления относится к синусу угла падения, как скорость света в новой среде к скорости его в покидаемой среде; с другой стороны, это отношение равно показателю преломления света в указанных средах.

Объединяя в одно правило особенности и отражения и преломления, мы можем сказать, что световой луч *во всех* случаях следует по *быстрейшему* пути, т. е. подчиняется правилу, которое физики называют «принципом скорейшего прихода» (принцип Ферма́).

Если среда неоднородна и ее преломляющая способность меняется постепенно, как, например, в нашей атмосфере, то и в таком случае вполне осуществляется быстрейший приход. Этим объясняется то небольшое искривление лучей небесных светил в атмосфере, которое на языке астрономов называется «атмосферной рефракцией». В атмосфере, постепенно уплотняющейся книзу, луч света изгибается так, что вогнутость его обращена к Земле. Тогда луч остается дольше в высоких слоях, которые слабее замедляют его путь, и проводит меньше времени в «медленных» низких слоях, в итоге он приходит к цели быстрее, чем по пути строго прямолинейному.

Принцип быстрейшего прихода (принцип Ферма́) справедлив не для одних лишь световых явлений: ему в полной мере подчиняется также распространение *звука* и всех вообще *волнообразных* движений, какова бы ни была природа этих волн.

Читатель, без сомнения, желал бы узнать, чем объясняется это свойство волнообразных движений. Приведу поэтому относящиеся сюда соображения, высказанные выдающимся современным физи-

ком Шредингером*. Он исходит из знакомого уже нам примера марширующих солдат и имеет в виду случай движения светового луча в среде постепенно изменяющейся плотности.

«Пусть, — пишет он, — для того, чтобы сохранить строгую правильность фронта, солдаты соединены длинным шестом, который каждый из них крепко удерживает в руках. Команда гласит: всем бежать возможно быстрее! Если характер почвы медленно меняется от точки к точке, то сначала, скажем, правое, а позднее левое крыло фронта будет подвигаться быстрее — и поворот фронта осуществится сам собой. Мы заметим при этом, что пройденный путь — не прямолинейный, а искривленный. То, что путь этот строго совпадает с кратчайшим в смысле времени прибытия в данный пункт при заданных свойствах почвы, — довольно понятно, так как ведь каждый солдат старался подвигаться как можно быстрее».

Новые робинзоны

Без сомнения, вы знаете, как герои романа Жюля Верна «Таинственный остров», заброшенные на необитаемую землю, добыли огонь без спичек и огнива. Робинзону явилась на помощь молния, зажегшая дерево, новым же робинзонам Жюля Верна помогла не случайность, а находчивость сведущего инженера и твердое знание им законов физики. Помните, как удивился наивный моряк Пенкроф, когда, возвратившись с охоты, нашел инженера и журналиста перед пылающим костром.

«— Но кто же зажег огонь? — спросил моряк.

— Солнце, — ответил Спилетт.

Журналист не шутил. Действительно, Солнце доставило огонь, которым так восторгался моряк. Он не верил своим глазам и был до того изумлен, что даже не мог расспрашивать инженера.

— Значит, у вас было зажигательное стекло? — спросил инженера Герберт.

— Нет, но я его изготовил.

И он его показал. Это были просто два стекла, снятые инженером со своих часов и часов Спилетта. Он соединил их края глиной, предварительно наполнив водой, и таким образом получилась настоящая зажигательная чечевица, с помощью которой, сосредоточив солнечные лучи на сухом мху, инженер добыл огонь».

* В докладе, прочитанном в Стокгольме при получении Нобелевской премии (в 1933 г.).

Читатель пожелает, я думаю, узнать, зачем нужно заполнять водой пространство между часовыми стеклами: разве наполненная воздухом двояковыпуклая чечевица не сосредоточивает лучей?

Именно нет. Часовое стекло ограничено двумя параллельными (концентрическими) поверхностями — наружной и внутренней; а известно из физики, что, проходя через среду, ограниченную такими поверхностями, лучи почти не изменяют своего направления. Проходя затем через второе такое же стекло, они и здесь не отклоняются, а следовательно, не собираются в фокусе. Чтобы сосредоточить лучи в одной точке, необходимо заполнить пространство между стеклами каким-нибудь прозрачным веществом, которое преломляло бы лучи сильнее, нежели воздух. Так и поступил инженер в романе Жюля Верна.

Обыкновенный графин с водой, если имеет шарообразную форму, также может служить зажигательной чечевицей. Это знали уже древние, которые заметили и то, что сама вода при этом остается холодной. Случалось даже, что стоящий на открытом окне графин с водой зажигал занавески, скатерть, обугливал стол. Те огромные шаровые бутылки с окрашенной водой, которые, по старинному обычаю, украшали раньше витрины аптек, могли быть иногда причиной настоящих катастроф, вызывая возгорание легко воспламеняющихся веществ, расположенных поблизости.

Небольшой круглой колбой, наполненной водой, можно даже при небольших размерах колбы довести до кипения воду, налитую на часовое стеклышко: для этого достаточна колба сантиметров в 12 диаметром. При 15 см в фокусе* получается температура 120°. Зажечь папироску с помощью колбы с водой так же легко, как и стеклянной чечевицей, о которой еще Ломоносов в своем стихотворении «О пользе стекла» писал:

Мы пламень солнечный стеклом здесь получаем
И Прометею тем безбедно подражаем.
Ругаясь подлости нескладных оных врак,
Небесным без греха огнем курим табак.

Следует заметить, однако, что зажигательное действие водяных линз значительно слабее, чем стеклянных. Это связано, во-первых, с тем, что преломление света в воде гораздо меньше, чем в стекле,

* Фокус помещается при этом весьма близко к колбе.

во-вторых, вода в сильной степени поглощает инфракрасные лучи, которые играют большую роль в нагревании тел.

Любопытно, что зажигательное действие стеклянных чечевиц известно было еще древним грекам, более чем за тысячелетие раньше изобретения очков и зрительных труб. О нем упоминает Аристофан в знаменитой комедии «Облака». Сократ предлагает Стрептиаду задачу:

«Если бы кто писал обязательство на тебя в пяти талантах, как бы ты уничтожил оное?

Стрептиад. Нашел я, как истребить обязательство, да такой способ, что ты и сам признаешь его прехитрым! Видал ты, конечно, в аптеках камень прекрасный, прозрачный, которым зажигают?

Сократ. Зажигательное стекло?

Стрептиад. Точно так.

Сократ. Что же далее?

Стрептиад. Пока нотариус пишет, я, став позади его, направлю лучи солнца на обязательство, да слова-то все и растоплю...»

Напомню для пояснения, что греки времен Аристофана писали на навощенных дощечках, которые от тепла легко растапливались.

Необыкновенная причина пожаров

Как неожиданны и странны бывают подчас причины пожаров, показывает следующий крайне любопытный рассказ известного исследователя полярных стран М. Е. Жданко:

«Это было давно — кажется, в 1877 году, в Архангельске. Зайдя однажды к своему знакомому, я невольно обратил внимание на то, что в его столовой буфет был переставлен на другое место, к другой стене, а на нижней дверке этого буфета ясно выступала совершенно обуглившаяся полоса в виде пологой дуги шириною приблизительно в палец.

Я спросил хозяина, что это значит.

— А вот, видите ли, — отвечал он, — вчера у меня чуть пожар не случился.

— Почему?

— Полюбуйтесь.

С этими словами он подвел меня к окну, которое выходило на юг, и указал на заметную в нем неровность. Стекло было не из дорогих, самое простое оконное стекло, и на нем в одном месте было нечто вроде пузыря диаметром около двух дюймов.

Эта неровность игрою случая получила форму двояковыпуклого стекла, и фокус этой линзы был как раз равен расстоянию от окна до буфета, когда он стоял на старом месте.

И вот в один из ясных дней Солнце, совершая свой дневной путь, очень низкий над горизонтом (полуденная высота Солнца в Архангельске в декабре месяце равна всего лишь 4°), своими лучами, проходившими через эту случайную чечевицу, выжгло на нижней дверке буфета борозду. Пожар не случился, быть может, только потому, что буфет был из твердого дерева (карельской березы), а будь это ель, кедр или какое- либо другое смолистое и мягкое дерево, оно, весьма возможно, вспыхнуло бы.

Я тогда же подумал: какая масса пожаров может случиться от подобной же причины в наших деревнях, где стекла в окнах самые примитивные, неровные, а в хатах много тряпья, стружек и другого легковоспламеняющегося хлама! И очень может быть, что немало пожаров, причины которых остались невыясненными, загадочными, обязаны своим возникновением именно дурным оконным стеклам».

От себя замечу, что такие пузыри в оконном стекле могут вызвать воспламенение лишь тех предметов, которые находятся в небольшом отдалении от окна, потому что фокусное расстояние подобных чечевиц бывает невелико — не более 30–40 см.

Как добыть огонь с помощью льда?

Материалом для двояковыпуклой линзы, а следовательно, и для добывания огня может послужить также лед, если он достаточно прозрачен. При этом лед, преломляя лучи, сам не нагревается и не тает. Показатель преломления льда лишь немногим меньше, чем у воды, и если, как мы видели, можно добыть огонь с помощью шара, наполненного водой, то возможно сделать это и с помощью чечевицы из льда.

Ледяная чечевица сослужила хорошую службу в жюль-верновском «Путешествии капитана Гаттераса». Доктор Клоубони таким именно образом зажег костер, когда путники потеряли огниво и очутились без огня при страшном морозе в 48°.

«— Это несчастье, — сказал Гаттерас доктору.

— Да, — отвечал тот.

— У нас нет даже подзорной трубы, с которой мы могли бы снять чечевицу и добыть огня.

— Знаю, — ответил доктор, — и очень жаль, что нет: солнечные лучи достаточно сильны, чтобы зажечь трут.

— Что делать, придется утолить голод сырой медвежатиной, — заметил Гаттерас.

— Да, — задумчиво проговорил доктор, — в крайнем случае. Но отчего бы нам не...

— Что вы задумали? — полюбопытствовал Гаттерас.

— Мне пришла в голову мысль...

— Мысль? — воскликнул боцман. — Если вам пришла мысль, значит мы спасены!

— Не знаю, как удастся, — колебался доктор.

— Что же вы придумали? — спросил Гаттерас.

— У нас нет чечевицы, но мы ее изготовим.

— Как? — поинтересовался боцман.

— Отшлифуем из куска льда.

— Неужели вы полагаете...

— Отчего бы и нет? Ведь нужно только, чтобы лучи солнца были сведены в одну точку, а для этой цели лед может заменить нам лучший хрусталь. Только я предпочел бы кусочек пресноводного льда: он крепче и прозрачнее.

— Вот, если не ошибаюсь, эта ледяная глыба, — указал боцман на льдину шагах в ста от путешественников, — судя по ее цвету, есть как раз то, что вам надо.



Рис 114. «Доктор сосредоточил лучи солнца на труте»

— Вы правы. Возьмите-ка свой топор. Пойдемте, друзья мои.

Все трое направились к указанной ледяной глыбе. Действительно, лед оказался пресноводным.

Доктор велел отрубить кусок льда, имеющий фут в диаметре, и начал обравнивать его топором. Потом отделал его ножом, наконец, постепенно отшлифовал рукою. Получилась прозрачная чечевица, словно из лучшего хрусталя. Солнце было довольно яркое. Доктор подставил чечевицу его лучам и сосредоточил их на труте. Через несколько секунд трут загорелся».

Рассказ Жюля Верна не совсем фантастичен: опыты зажигания дерева при помощи ледяной чечевицы, впервые успешно выполненные в Англии с весьма большой чечевицей еще в 1763 году, с тех пор неоднократно производились с полным успехом. Конечно, трудно изготовить *прозрачную* ледяную чечевицу с помощью таких орудий, как топор, нож и «просто рука» (при 48-градусном морозе!), но можно изготовить ледяную чечевицу проще: налить воды в чашку надлежащей формы и заморозить, а затем, слегка подогрев чашку, вынуть из нее готовую чечевицу.

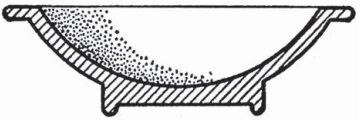


Рис. 115. Чашка для изготовления ледяной чечевицы

Проделывая подобный опыт, не забывайте, что он удается лишь в ясный морозный день и на открытом воздухе, но не в комнате за оконным стеклом: стекло поглощает значительную часть энергии солнечных лучей и остающейся недостаточно, чтобы вызвать значительное нагревание.

С помощью солнечных лучей

Проделайте еще опыт, тоже легко выполнимый в зимнее время. Положите на снег, заливаемый солнечным светом, два одинаковой величины лоскутка ткани, светлый и черный. Через час или два вы убедитесь, что черный лоскуток погрузился в снег, между тем как светлый остался на прежнем уровне. Доискаться причины подобного различия нетрудно: под черным лоскутком снег тает сильнее, так как темная ткань поглощает бóльшую часть падающих на нее солнечных лучей; светлая же, напротив, бóльшую часть их рассеивает и потому слабее нагревается, нежели черная.

Поучительный опыт этот впервые проделан был знаменитым борцом за независимость Соединенных Штатов Веньямином Франклином, обессмертившим себя как физик изобретением громоотвода. «Я взял у портного несколько квадратных кусочков сукна различных цветов, — писал он. — Между ними были: черный, темно-синий, светло-синий, зеленый, пурпуровый, красный, белый и различные другие цвета и оттенки. В одно светлое солнечное утро я положил все эти куски на снег. Через несколько часов черный кусок, нагревшийся сильнее других, погрузился так глубоко, что лучи солнца более его не достигали; темно-синий погрузился почти настолько же, как и черный; светло-синий гораздо менее; остальные цвета опустились тем менее, чем они светлее. Белый же остался на поверхности, т. е. вовсе не опустился.

К чему годна была бы теория, если бы из нее нельзя было извлечь никакой пользы? — восклицает он по этому поводу и продолжает: — Разве не можем мы из этого опыта вывести то, что черное платье в теплом солнечном климате менее годно, чем белое, так как оно на солнце сильнее нагревает наше тело, и если мы при этом еще будем делать движения, которые сами по себе нас согревают, то образуется излишняя теплота? Не должны ли мужские и женские летние шляпы быть белого цвета, чтобы устранить ту жару, которая вызывает у некоторых солнечный удар?.. Далее, вычерненные стены не могут разве поглотить в течение дня столько солнечной теплоты, чтобы ночью остаться до некоторой степени теплыми и предохранить фрукты от мороза? Не может разве внимательный наблюдатель натолкнуться еще и на другие частности большей или меньшей важности?»

Каковы могут быть эти выводы и полезные применения, показывает пример немецкой южнополярной экспедиции 1903 года на корабле «Гаусс». Судно вмерзло в лед, и все обычные способы освобождения не привели ни к каким результатам. Взрывчатые вещества и пилы, пущенные в дело, удалили всего несколько сотен кубометров льда и не освободили корабль. Тогда обратились к помощи солнечных лучей: из темной золы и угля устроили на льду полосу в 2 км длиной и в десяток метров шириной; она вела от корабля до ближайшей широкой щели во льду. Стояли ясные долгие дни полярного лета, и солнечные лучи сделали то, чего не могли сделать динамит и пила. Лед, подтаяв, сломался вдоль насыпанной полосы, и корабль освободился ото льда.

Старое и новое о миражах

Вероятно, всем известно, в чем заключается физическая причина обыкновенного миража. Раскаленный зноем песок пустыни приобретает зеркальные свойства оттого, что прилегающий к нему нагретый слой воздуха имеет меньшую плотность, нежели вышележащие слои. Наклонный луч света от весьма далекого предмета, достигнув этого воздушного слоя, искривляет в нем свой путь так, что в дальнейшем следовании он вновь удаляется от земли и попадает в глаз наблюдателя, словно отразившись от зеркала под очень большим углом падения. И наблюдателю кажется, что перед ним расстилается в пустыне водная гладь, отражающая прибрежные предметы (рис. 116).

Правильнее было бы, впрочем, сказать, что нагретый слой воздуха близ раскаленной почвы отражает лучи не наподобие зеркала, а наподобие водной поверхности, рассматриваемой из глубины воды. Здесь происходит не простое отражение, а то, что на языке физики называется «внутренним отражением». Для этого необходимо, чтобы луч света вступал в воздушные слои очень полого — более полого, чем показано на нашем упрощенном рис. 116; иначе не будет превзойден «предельный угол» падения луча, а без этого не получается внутреннего отражения.

Отметим попутно один пункт этой теории, могущий породить недоразумение. Изложенное объяснение требует такого расположения



Рис. 116. Как возникает мираж в пустыне? Этот рисунок, обычно воспроизводимый в учебниках, представляет путь светового луча наклоненным к земле преувеличенно круто

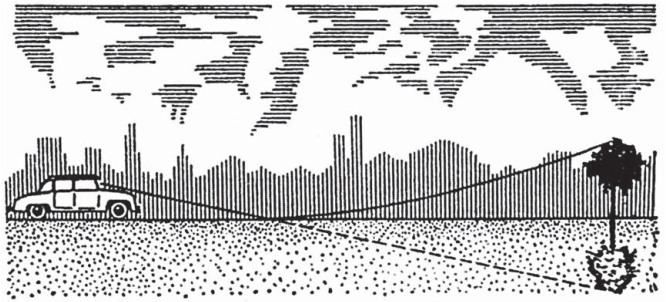


Рис. 117. Мираж на гудронированном шоссе

воздушных слоев, при котором более плотные слои находились бы выше, чем менее плотные. Мы знаем, однако, что плотный, тяжелый воздух стремится опуститься и вытеснить лежащий под ним легкий слой газа вверх. Как же может существовать то расположение слоев плотного и разреженного воздуха, которое необходимо для появления миража?

Разгадка кроется в том, что требуемое расположение воздушных слоев бывает не в неподвижном воздухе, а в воздухе, находящемся в движении. Нагретый почвой слой воздуха не покоится на ней, а непрерывно вытесняется вверх и тотчас сменяется новым слоем нагретого воздуха. Непрерывная смена обусловливает то, что к раскаленному песку всегда прилегает некоторый слой разреженного воздуха, пусть не одного и того же, но это уже безразлично для хода лучей.

Тот род миража, который мы рассматриваем, известен с древности. В современной метеорологии его называют «нижним» миражем (в отличие от «верхнего», порождаемого отражением лучей света слоями разреженного воздуха верхних областей атмосферы). Большинство людей убеждено, что этот классический мираж может наблюдаться только в знойном воздухе южных пустынь и не бывает в более северных широтах.

Между тем нижний мираж нередко случается наблюдать и в наших краях. Особенно часты подобные явления в летнее время на асфальтовых и гудронированных дорогах, которые благодаря темному цвету сильно нагреваются на солнце. Матовая поверхность дороги кажется тогда издали словно политой водой и отражает отдаленные предметы. Ход лучей света при этом мираже показан на рис. 117. При некоторой наблюдательности подобные явления можно видеть не так редко, как принято думать.

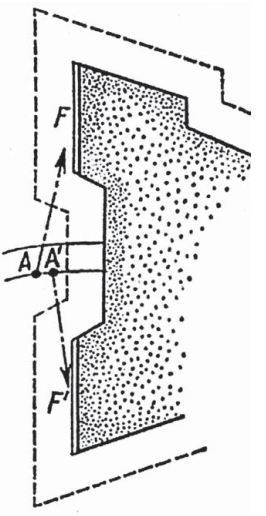


Рис. 118. План форта, где наблюдался мираж. Стена *F* казалась зеркальной из точки *A*, стена *F′* — из точки *A′*

Есть и еще род миража — мираж *боковой*, о существовании которого обычно даже не подозревают. Это — отражение от нагретой отвесной стены. Такой случай описан одним французским автором. Приближаясь к форту крепости, он заметил, что ровная бетонная стена форта вдруг заблистала, как зеркало, отражая в себе окружающий ландшафт, почву, небо. Сделав еще несколько шагов, он заметил ту же перемену и с другой стеной форта. Казалось, будто серая неровная поверхность внезапно заменяется полированной. Стоял знойный день, и стены должны были сильно накалиться, в чем и заключалась разгадка их зеркальности. На рис. 118 показаны расположение стен форта (*F* и *F′*) и местоположение наблюдателя (*A* и *A′*). Оказалось, что мираж наблюдается всякий раз, когда стена достаточно нагреется солнечными лучами. Удалось даже сфотографировать это явление.

На рис. 119 изображена *(слева)* стена *F* форта, сначала матовая, а затем блестящая *(справа)*, как зеркало (снята из точки *A′*). На левом

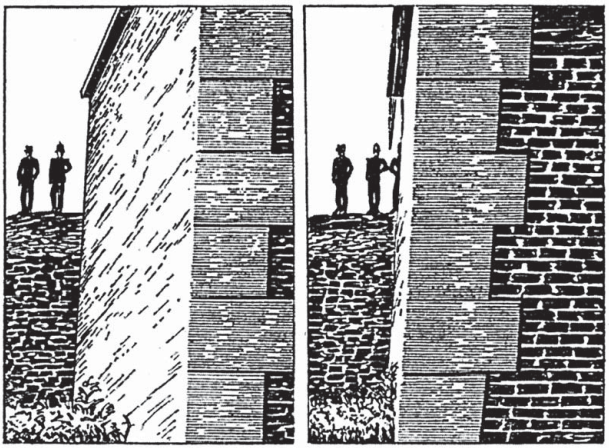


Рис. 119. Серая неровная стена *(слева)* внезапно делается словно полированной, отражающей *(справа)*

снимке — обыкновенный серый бетон, в котором, конечно, не могут отражаться стоящие близ стены фигуры двух солдат. Справа — та же стена в большей своей части приобрела зеркальные свойства, и ближайшая фигура солдата дает в ней свое симметричное изображение. Конечно, отражает лучи тут не сама поверхность стены, а лишь прилегающий к ней слой нагретого воздуха.

В знойные летние дни следовало бы обращать внимание на накалившиеся стены больших зданий и искать, не обнаружатся ли явления миража. Без сомнения, при некотором внимании число замеченных случаев миража должно заметно участиться.

Зеленый луч

«Наблюдали ли вы когда-нибудь солнце, заходящее за горизонт моря? Да, без сомнения. Проследили ли вы за ним до того момента, когда верхний край диска соприкасается с линией горизонта и затем исчезает? Вероятно, да. Но заметили ли вы явление, происходящее в то мгновение, когда лучезарное светило бросает последний свой луч, если при этом небо свободно от облаков и совершенно прозрачно? Быть может, нет. Не пропускайте же случая сделать подобное наблюдение: в ваш глаз ударит не красный луч, а зеленый, дивного зеленого цвета, такого, какого ни один художник не может получить на своей палитре и какого не воспроизводит сама природа ни в разнообразных оттенках растительности, ни в цвете самого прозрачного моря».

Подобная заметка в одной английской газете привела в восторженное состояние молодую героиню романа Жюля Верна «Зеленый луч» и побудила ее предпринять ряд путешествий с единственной целью — собственными глазами увидеть зеленый луч. Юной шотландке не удалось, как повествует романист, наблюдать это красивое явление природы. Но оно все же существует. Зеленый луч — не легенда, хотя с ним и связано много легендарного. Это — явление, которым может восхищаться каждый любитель природы, если будет искать его с должным терпением.

Почему появляется зеленый луч?

Вы поймете причину явления, если вспомните, в каком виде представляются нам предметы, когда мы смотрим на них сквозь стеклянную призму. Проделайте такой опыт: держите призму у глаза горизонтально широкой стороной вниз и рассматривайте через нее листок бумаги, приколотый к стене. Вы заметите, что листок, во-первых, поднялся значительно выше своего истинного положения,

а во-вторых, имеет вверху фиолетово-синюю кайму, внизу — желто-красную. Поднятие зависит от преломления света, цветные каемки — от *дисперсии* стекла, т. е. свойства стекла *неодинаково* преломлять лучи разного *цвета*. Фиолетовые и синие лучи преломляются сильней прочих, поэтому мы видим вверху фиолетово-синюю кайму; красные — преломляются всего слабее, и потому нижний край нашего бумажного листка имеет красную кайму.

Для лучшего понимания дальнейшего необходимо остановиться на происхождении этих цветных каемок. Призма разлагает белый свет, исходящий от бумаги, на все цвета спектра, давая множество цветных изображений бумажного листка, расположенных, частью налагаясь одно на другое, в порядке преломляемости. От одновременного действия этих наложенных друг на друга цветных изображений глаз получает ощущение белого цвета (сложение спектральных цветов), но вверху и внизу выступают каемки несмешивающихся цветов. Знаменитый поэт Гёте, проделавший этот опыт и не понявший его смысла, вообразил, что он разоблачил таким образом ложность учения Ньютона о цветах, и написал затем собственную «Науку о цветах», которая почти всецело основана на превратных представлениях. Читатель, надо полагать, не повторит заблуждения великого поэта и не будет ожидать, что призма перекрасит для него все предметы.

Земная атмосфера является для наших глаз как бы огромной воздушной призмой, обращенной основанием вниз. Глядя на солнце у горизонта, мы смотрим на него сквозь газовую призму. Диск солнца получает вверху каемку синего и зеленого цвета, внизу — красно-желтую. Пока солнце стоит выше горизонта, свет диска своей яркостью перебивает гораздо менее яркие цветные полоски, и мы их не замечаем вовсе. Но в моменты восхода и захода солнца, когда почти весь его диск скрыт под горизонтом, мы можем видеть синюю кайму верхнего края. Она двухцветная: выше расположена синяя полоска, ниже — голубая, от смешения синих и зеленых лучей. Когда воздух близ горизонта совершенно чист и прозрачен, мы видим синюю кайму — синий луч. Но чаще синие лучи рассеиваются атмосферой и остается одна зеленая кайма — явление зеленого луча. Наконец, в большинстве случаев рассеиваются мутной атмосферой также синие и зеленые лучи — тогда не замечается никакой каемки: солнце закатывается багровым шаром.

Пулковский астроном Г. А. Тихов, посвятивший зеленому лучу специальное исследование, сообщает некоторые приметы видимости

этого явления. «Если солнце имеет при закате красный цвет и на него легко смотреть простым глазом, то можно с уверенностью сказать, что зеленого луча не будет». Причина понятна: красный цвет солнечного диска указывает на сильное рассеяние атмосферой синих и зеленых лучей, т. е. всей верхней каемки диска. «Наоборот, — продолжает астроном, — если солнце мало изменило свой обычный беловато-желтый цвет и заходит очень ярким (т. е. если поглощение света атмосферой невелико. — *Я. П.*), то можно с большой вероятностью ожидать зеленого луча. Но тут как раз важно, чтобы горизонт представлял резкую линию, без всяких неровностей, близкого леса, построек и т. п. Эти условия всего лучше выполняются на море; вот почему зеленый луч так хорошо известен морякам».

Итак, чтобы увидеть зеленый луч, нужно наблюдать солнце в момент заката или восхода при очень чистом небе. В южных странах небо у горизонта прозрачнее, чем у нас, поэтому явление зеленого луча наблюдается там чаще. Но и у нас оно не так редко, как думают многие, вероятно под влиянием романа Жюля Верна. Настойчивые поиски зеленого луча рано или поздно вознаграждаются успехом. Случалось улавливать это красивое явление даже в зрительную трубу. Два эльзасских астронома так описывают подобное наблюдение:

> «...В последнюю минуту, предшествующую заходу солнца, когда, следовательно, еще видна заметная часть его, диск, имеющий волнообразную, движущуюся, но резко очерченную границу, окружен зеленым ободком. Пока солнце не зашло окончательно, этот ободок не виден простым глазом. Он становится виден лишь в момент полного исчезновения солнца за горизонтом. Если же смотреть в зрительную трубу с достаточно сильным увеличением (примерно в 100 раз), можно проследить подробно все явления: зеленая кайма становится заметной самое позднее за 10 минут до захода солнца; она ограничивает верхнюю часть диска, тогда как от нижней наблюдается красная кайма. Ширина каймы, вначале очень малая (всего несколько секунд дуги), возрастает по мере захождения солнца; она достигает иногда до полуминуты дуги. Над зеленым ободком часто наблюдаются зеленые же выступы, которые при постепенном исчезновении солнца как бы скользят по его краю до высшей точки; иногда они отрываются от ободка и светятся несколько секунд отдельно, пока не погаснут».

Обычно явление длится секунду-две. Но при исключительной обстановке продолжительность его заметно удлиняется. Отмечен случай, когда зеленый луч наблюдался более 5 минут! Солнце садилось за отдаленной горой, и быстро шагавший наблюдатель видел

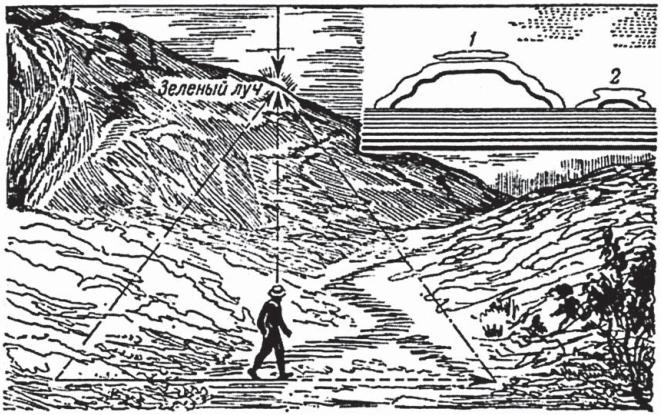


Рис. 120. Длительное наблюдение зеленого луча; наблюдатель видел зеленый луч за горным хребтом в течение 5 минут. *Выше справа* — зеленый луч, видимый в подзорную трубу. Диск Солнца имеет неправильные контуры. В положении *1* блеск солнечного диска ослепляет глаз и мешает видеть зеленую каемку простым глазом. В положении *2*, когда диск Солнца почти исчезает, зеленый луч становится доступным простому глазу

зеленую кайму солнечного диска, словно скользящего по склону горы (рис. 120).

Очень поучительны случаи наблюдения зеленого луча при *восходе* солнца, когда верхний край светила начинает показываться из-под горизонта. Это опровергает часто высказываемую догадку, будто зеленый луч — оптический обман, которому поддается глаз, утомленный ярким блеском только что закатившегося Солнца.

Солнце — не единственное светило, посылающее зеленый луч. Случалось видеть это явление, порождаемое заходящей Венерой.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

ЗРЕНИЕ ОДНИМ И ДВУМЯ ГЛАЗАМИ

Когда не было фотографии

Фотография успела сделаться в нашем быту столь привычной, что мы и не представляем себе, как обходились без нее наши предки, даже и не очень отдаленные. В «Записках Пиквикского клуба» Диккенс забавно рассказывает, каким образом запечатлевали внешность человека в государственных учреждениях Англии лет сто назад. Действие происходит в долговой тюрьме, куда привели Пиквика.

Пиквику сказали, что он должен посидеть, пока с него снимут портрет.

«— Снимут с меня портрет! — воскликнул м-р Пиквик.

— Образ ваш и подобие, сэр, — отвечал дюжий тюремщик. — Мы ведь мастера портреты снимать, было бы вам это известно. Не успеете повернуться, и рисунок будет готов. Сядьте, сэр, и будьте как дома.

Повинуясь приглашению, м-р Пиквик сел, и тогда Самуэль (слуга Пиквика) шепнул ему на ухо, что выражение „снимать портрет“ до́лжно понимать здесь в фигуральном смысле:

— Это значит, сэр, что тюремщики станут присматриваться к вашему лицу, чтобы отличать вас от посетителей.

Сеанс начался. Толстый тюремщик беспечно посматривал на м-ра Пиквика, тогда как его товарищ стал напротив нового арестанта и устремил на него пристальный взгляд. Третий джентльмен остановился перед самым носом м-ра Пиквика и принялся изучать его черты с напряженным вниманием.

Наконец портрет был снят, и м-ру Пиквику сказали, что он может идти в тюрьму».

Еще ранее роль таких «портретов», запечатлеваемых памятью, играл перечень «примет». Помните, в «Борисе Годунове» Пушкина описание Григория Отрепьева в царском указе: «А ростом он мал, грудь широкая, одна рука короче другой, глаза голубые, волоса рыжие, на щеке бородавка, на лбу другая»? В наши дни просто прилагается фотокарточка.

Чего многие не умеют?

Фотография проникла к нам в сороковых годах прошлого века сначала в виде так называемой «дагеротипии»* — снимков на металлических пластинках. Неудобство этого способа светописи состояло в том, что приходилось позировать перед аппаратом довольно долго — десятки минут...

«Мой дед, — рассказывал ленинградский физик проф. Б. П. Вейнберг, — просидел перед фотографической камерой, чтобы получился с него один и притом неразмножаемый дагеротип, — сорок минут!»

Но все же возможность получать портреты без участия художника представлялась настолько новой, почти чудесной, что публика не скоро привыкла к этой мысли. В старинном русском журнале (1845 года) рассказан по этому поводу забавный случай:

> «Многие еще до сих пор не хотят верить, что дагеротип мог действовать сам. Один весьма почтенный человек пришел заказать свой портрет. Хозяин (т. е. фотограф. — *Я. П.)* усадил его, приладил стекла, вставил дощечку, посмотрел на часы и вышел. Пока хозяин был в комнате, почтенный человек сидел как вкопанный; но лишь только хозяин вышел за дверь, господин, желавший иметь свой портрет, не счел нужным сидеть смирно, встал, понюхал табаку, осмотрел со всех сторон дагеротип (аппарат), приставил глаз к стеклу, покачал головой, проговорил „хитрая штука“ и начал прохаживаться по комнате.
>
> Хозяин возвратился и, с изумлением остановившись у двери, воскликнул:
>
> — Что вы делаете? Ведь я вам сказал, чтобы вы сидели смирно!
>
> — Ну, я сидел. Я только встал, когда вы ушли.
>
> — Тогда и надо было сидеть.
>
> — Зачем же я буду сидеть напрасно?»

Вам кажется, читатель, что теперь мы далеки от всяких наивных представлений о фотографии. Однако и в наше время большинство людей не освоилось еще вполне с фотографией, и, между прочим, мало кто умеет *смотреть* на готовые снимки. Вы думаете, нечего тут и уметь: взять снимок в руки и смотреть на него. Но это вовсе не так просто: фотографические снимки принадлежат к тем предметам обихода, с которыми, при всей их распространенности, мы не умеем правильно обращаться. Большинство фотографов, любителей и профес-

* По имени изобретателя этого способа — Дагера.

сионалов — не говоря уже об остальной публике, — рассматривают снимки *не совсем так, как надо*. Почти столетие известно искусство фотографии, и тем не менее многие не знают, как, собственно, следует рассматривать фотографические снимки.

Искусство рассматривать фотографии

По устройству своему фотографическая камера — большой глаз: то, что рисуется на ее матовом стекле, зависит от расстояния между объективом и снимаемыми предметами. Фотографический аппарат закрепляет на пластинке перспективный вид, который представился бы нашему глазу (заметьте — *одному* глазу!), помещенному на месте объектива. Отсюда следует, что раз мы желаем получить от снимка такое же зрительное впечатление, как и от самой натуры, мы должны:

1) рассматривать снимок *только одним глазом* и
2) держать снимок *в надлежащем расстоянии от глаза*.

Нетрудно понять, что, рассматривая снимок *двумя глазами*, мы неизбежно должны увидеть перед собой плоскую картину, а не изображение, имеющее глубину. Это с необходимостью вытекает из особенностей нашего зрения. Когда мы рассматриваем телесный предмет, на сетчатках наших глаз получаются изображения неодинаковые: правый глаз видит не совсем то же, что рисуется левому (рис. 121). Эта неодинаковость изображений и есть, в сущности, главная причина того, что предметы представляются нам телесными: сознание наше сливает оба неодинаковых впечатления в один *рельефный* образ (на этом, как известно, основано устройство стереоскопа). Иное дело, если перед нами предмет плоский, например поверхность стены; оба глаза получают тогда вполне тождественные впечатления; одинаковость эта является для сознания признаком плоскостного протяжения предмета.

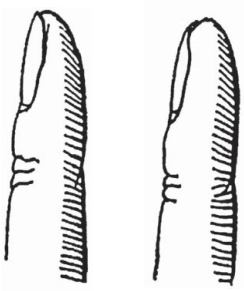


Рис. 121. Каким кажется палец левому и правому глазу, если держать руку недалеко от лица

Теперь ясно, в какую ошибку впадаем мы, когда рассматриваем фотографию двумя глазами; этим мы навязываем своему сознанию убеждение, что перед нами именно плоская картина! Когда мы предлагаем *обоим* глазам снимок, предназначенный только для *одного*,

мы мешаем себе видеть то, что должна дать нам фотография; вся иллюзия, в таком совершенстве создаваемая фотографической камерой, разрушается этим промахом.

На каком расстоянии надо держать фотографию?

Столь же важно и второе правило — держать снимок в *надлежащем расстоянии* от глаза; в противном случае нарушается правильная перспектива. Каково же должно быть это расстояние? Для получения полного впечатления надо рассматривать снимок под тем же углом зрения, под каким объектив аппарата «видел» изображение на матовом стекле камеры, или, что то же самое, под каким он «видел» снимаемые предметы (рис. 122). Отсюда следует, что снимок надо приблизить к глазу на расстояние, которое во столько же раз меньше расстояния предмета от объектива, во сколько раз изображение предмета меньше натуральной величины. Другими словами, надо держать снимок от глаза на расстоянии, которое приблизительно равно фокусной длине объектива.

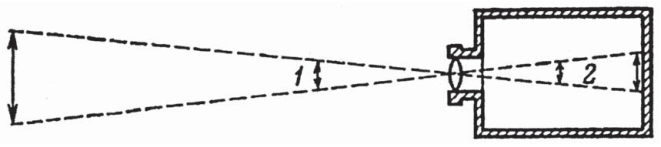


Рис. 122. В фотографическом аппарате угол *1* равен углу *2*

Если мы примем во внимание, что в большинстве любительских аппаратов фокусное расстояние равно 12–15 см*, то поймем, что мы никогда не рассматриваем такие снимки на правильном расстоянии от глаза: расстояние лучшего зрения для нормального глаза (25 см) почти вдвое более указанного. Плоскими кажутся и фотографии, висящие на стене, — их рассматривают с еще большего расстояния.

Только близорукие люди, с коротким расстоянием лучшего зрения (а также дети, способные видеть на близком расстоянии), могут доставить себе удовольствие любоваться тем эффектом, который дает обыкновенный снимок при правильном рассматривании (одним

* В последующем тексте автор имеет в виду фотоаппараты таких типов, которые были распространены в период создания «Занимательной физики». — *Примеч. ред.*

глазом). Держа фотографию на расстоянии 12–15 см от глаза, они видят перед собой не плоскую картину, а рельефный образ, в котором передний план отделяется от заднего почти как в стереоскопе.

Читатель, надеюсь, согласится теперь, что в большинстве случаев мы только по собственному неведению не получаем от фотографических снимков в полной мере того удовольствия, какое они могут доставить, и часто напрасно жалуемся на их безжизненность. Все дело в том, что мы не помещаем своего глаза в надлежащей точке относительно снимка и смотрим *двумя* глазами на изображение, предназначенное только для одного.

Странное действие увеличительного стекла

Близорукие люди, как мы сейчас объяснили, легко могут обыкновенные фотографии видеть рельефными. Но как быть людям с нормальными глазами? Они не могут придвигать изображения очень близко к глазу, но им поможет здесь увеличительное стекло. Смотря на снимок через чечевицу с увеличением в два раза, такие люди легко могут приобрести указанные выгоды близорукого, т. е., не напрягая глаз, могут видеть, как фотография приобретает рельефность и глубину. Разница между получаемым при этом впечатлением и тем, что мы видим, глядя на фотографию двумя глазами с большого расстояния, — огромна. Такой способ рассматривать обыкновенные фотографии почти заменяет эффекты стереоскопа.

Теперь становится понятным, почему фотоснимки часто приобретают рельефность, если смотреть на них одним глазом в увеличительное стекло. Факт этот общеизвестен. Но правильное объяснение явления приходится слышать редко.

Один из рецензентов «Занимательной физики» писал мне по этому поводу:

> «В следующем издании рассмотрите вопрос: отчего в обыкновенную лупу фотография кажется рельефной? Мое мнение, что все сложное объяснение стереоскопа не выдерживает критики. Попробуйте смотреть в стереоскоп одним глазом: рельефность сохраняется вопреки теории».

Читателям, конечно, ясно теперь, что теория стереоскопа нисколько этим фактом не колеблется.

На том же основан любопытный эффект так называемых «панорам», продающихся в игрушечных магазинах. В этих маленьких при-

борах обыкновенный снимок ландшафта или группы рассматривается через увеличительное стекло одним глазом. Этого уже достаточно для получения рельефа; иллюзию обыкновенно усиливают еще тем, что некоторые предметы переднего плана вырезаются отдельно и помещаются впереди фотографии; глаз наш очень чувствителен к рельефности ближайших предметов и не столь восприимчив к более далеким рельефам.

Увеличение фотографий

Нельзя ли изготовлять фотографии так, чтобы *нормальный* глаз мог правильно рассматривать их, не прибегая к стеклам? Вполне возможно, — для этого достаточно только пользоваться камерами с длиннофокусными объективами. После сказанного раньше понятно, что снимок, полученный при помощи объектива с 25–30-сантиметровым фокусным расстоянием, можно рассматривать (одним глазом) на обычном расстоянии — он покажется достаточно рельефным.

Можно получать и такие снимки, которые не будут казаться плоскими при рассматривании даже *двумя* глазами с большого расстояния. Мы уже говорили, что когда оба глаза получают от какого-либо предмета два тождественных изображения, сознание сливает их в одну плоскую картину. Но эта склонность быстро ослабевает с увеличением расстояния. Практика показывает, что снимки, полученные с помощью объектива с 70-сантиметровым фокусным расстоянием, могут быть непосредственно рассматриваемы обоими глазами, не утрачивая перспективности.

Необходимость располагать длиннофокусным объективом опять-таки представляет неудобство. Поэтому укажем и другой способ: он состоит в том, что *увеличивают* снимок, полученный обыкновенным аппаратом. При таком увеличении соответственно удлиняется и правильное расстояние, с какого нужно снимок рассматривать. Если фотографию, снятую 15-сантиметровым объективом, увеличить в 4 или 5 раз, то этого уже достаточно для получения желаемого эффекта: увеличенную фотографию можно рассматривать обоими глазами с расстояния 60–75 см. Некоторая неясность снимка не мешает впечатлению, так как с большого расстояния она малозаметна. В смысле же рельефности и перспективности снимок несомненно выигрывает.

Лучшее место в кинотеатре

Частые посетители кинотеатров заметили, вероятно, что некоторые картины отличаются необыкновенной рельефностью: фигуры отделяются от заднего плана и настолько выпуклы, что забываешь даже о существовании полотна и видишь словно подлинный ландшафт или живых артистов на сцене.

Такая рельефность изображений зависит не от свойства самой ленты, как часто думают, а от места, где помещается зритель. Кинематографические снимки хотя и производятся с помощью весьма короткофокусных камер, но проектируются на экран в сильно увеличенном виде — раз в сто, — так что их можно рассматривать двумя глазами с большого расстояния (10 см × 100 = 10 м). Наибольшая рельефность наблюдается тогда, когда мы смотрим на картины под тем же самым углом, под каким аппарат «смотрел» на свою натуру при съемке. Тогда перед нами будет естественная перспектива.

Как же найти расстояние, отвечающее такому наивыгоднейшему углу зрения? Для этого нужно выбрать место, во-первых, *против середины картины*, а во-вторых, на *таком расстоянии* от экрана, которое во столько же раз больше ширины картины, во сколько раз фокусное расстояние объектива больше ширины кинематографической ленты.

Для кинематографических снимков обыкновенно пользуются камерами с фокусным расстоянием 35 мм, 50 мм, 75 мм, 100 мм, в зависимости от характера съемки. Стандартная ширина ленты — 24 мм. Для фокуса, например, в 75 мм имеем отношение:

$$\frac{\text{искомое расстояние}}{\text{ширина картины}} = \frac{\text{фокусное расстояние}}{\text{ширина ленты}} = \frac{75}{24} \approx 3.$$

Итак, чтобы найти, на каком расстоянии надо в этом случае сесть от экрана, достаточно ширину картины увеличить примерно в 3 раза. Если ширина кинематографического изображения 6 шагов, то лучшие места для рассматривания этих кадров расположены в 18 шагах от экрана.

Этого обстоятельства не следует упускать из виду при испытании различных предложений, имеющих целью придать кинокартинам стереоскопичность: легко приписать испытываемому изобретению то, что обусловлено указанными причинами.

Совет читателям иллюстрированных журналов

Воспроизведения фотографий в книгах и журналах имеют, конечно, те же свойства, что и оригинальные снимки: они тоже становятся рельефнее, если рассматривать их одним глазом и с надлежащего расстояния. Так как разные фотографии сняты аппаратами с различным фокусным расстоянием, то отыскивать надлежащие расстояния для рассматривания приходится испытанием. Закрыв один глаз, держите иллюстрацию на вытянутой руке так, чтобы плоскость ее была перпендикулярна к лучу зрения, а ваш открытый глаз приходился против середины снимка. Теперь приближайте постепенно снимок, не переставая всматриваться в него; вы легко уловите момент, когда он приобретет наибольшую рельефность.

Многие снимки, неотчетливые и плоские при обычном рассматривании, получают глубину и ясность, если смотреть на них описанным способом. Нередко при таком рассматривании становятся заметны блеск воды и другие чисто стереоскопические эффекты.

Надо удивляться, что столь простые факты мало известны, хотя почти все здесь сообщаемое излагалось в популярных книгах более полувека назад. В «Основаниях физиологии ума» В. Карпентера — книге, изданной в русском переводе еще в 1877 году, — читаем о рассматривании фотографий следующее:

«Замечательно, что эффект этого способа рассматривания фотографических картин (одним глазом) не ограничивается выделением телесности предмета; другие особенности являются тоже с несравненно большей живостью и реальностью, дополняя иллюзию. Это относится главным образом к изображению стоячей воды — самой слабой стороны фотографических картин при обычных условиях. Именно, если смотреть на такое изображение воды *обоими* глазами, поверхность кажется восковой, но если смотреть *одним* глазом, в ней часто замечается поразительная прозрачность и глубина. То же можно сказать и относительно различных свойств *поверхностей*, отражающих свет, например бронзы и слоновой кости. Материал, из которого сделан предмет, изображенный на фотографии, узнается гораздо легче, если смотреть *одним* глазом, а не *двумя*».

Обратим внимание еще на одно обстоятельство. Если снимки при увеличении выигрывают в жизненности, то при уменьшении они, напротив, проигрывают в этом отношении. Уменьшенные фотографии выходят, правда, резче и отчетливее, но они плоски, не дают

впечатления глубины и рельефности. Причина после всего сказанного должна быть понятна: с уменьшением фотографий уменьшается и соответствующее «перспективное расстояние», которое обыкновенно и без того чересчур мало́.

Рассматривание картин

То, что мы сказали о фотографии, до известной степени применимо и к картинам, созданным рукой художника: их всего лучше рассматривать тоже с надлежащего расстояния. Только при этом условии ощутите вы перспективу и картина покажется не плоской, а глубокой и рельефной. Полезно смотреть также одним, а не двумя глазами, особенно на картины небольших размеров.

«Давно известно, — писал по этому поводу английский психолог В. Карпентер в упомянутом сочинении, — что при внимательном рассматривании картины, где перспективные условия, свет, тени и общее расположение деталей строго соответствуют изображаемой действительности, производимое впечатление гораздо живее, если смотреть *одним* глазом, а не *обоими*, и что эффект усиливается, когда мы смотрим через трубку, исключающую всю постороннюю обстановку картины. Факт этот объясняли раньше совершенно ложно. „Мы видим одним глазом лучше, чем двумя, — говорит Бекон, — потому что жизненные духи сосредоточиваются при этом в одном месте и действуют с большей силой“.

В действительности же тут дело в том, что когда мы смотрим *обоими* глазами на картину в умеренном расстоянии, то принуждены признать ее плоской поверхностью; когда же мы смотрим только одним глазом, ум наш легче может поддаться впечатлению перспективы, света, теней и т. д. Отсюда, когда мы всматриваемся пристально, картина приобретает в скором времени рельефность и может даже достичь телесности реального ландшафта. Полнота иллюзии будет главным образом зависеть от верности, с которой воспроизведена на картине действительная проекция предметов на плоскости... Преимущество ви́дения одним глазом зависит в этих случаях от того, что ум свободен истолковывать картину по своему произволу, когда ничто не заставляет его видеть в ней плоскую картину».

Уменьшенные снимки с больших картин дают нередко более полную иллюзию рельефности, нежели оригиналы. Вы поймете, отчего

это происходит, если вспомните, что при уменьшении картины сокращается то обычно большое расстояние, с которого следует рассматривать изображение, поэтому снимок приобретает рельефность уже на близком расстоянии.

Что такое стереоскоп?

Переходя от картин к телесным предметам, зададим себе вопрос: почему, собственно, предметы кажутся нам телесными, а не плоскими? На сетчатке нашего глаза изображение получается ведь плоское. Каким же образом происходит то, что предметы представляются нам не в виде плоской картины, а телами трех измерений?

Здесь действуют несколько причин. Во-первых, различная степень освещения частей предметов позволяет нам судить об их форме. Во-вторых, играет роль напряжение, которое мы ощущаем, когда приспособляем глаза к ясному восприятию различно удаленных частей телесного предмета: все части плоской картины удалены от глаза одинаково, между тем как части пространственного объекта находятся на различном расстоянии, и, чтобы ясно видеть их, глаз должен не одинаково «настраиваться». Но самую большую услугу оказывает нам то, что здесь изображения, получаемые в каждом глазу от одного и того же предмета, не одинаковы. В этом легко убедиться, если смотреть на какой-нибудь близкий предмет, попеременно закрывая то правый, то левый глаз. Правый и левый глаз видят предметы не одинаково; в каждом рисуется иная картина, и это-то различие, истолковываемое нашим сознанием, дает нам впечатление рельефа (рис. 121 и 123).

Теперь представьте себе два рисунка одного и того же предмета: первый изображает предмет, каким он кажется левому глазу, вто-

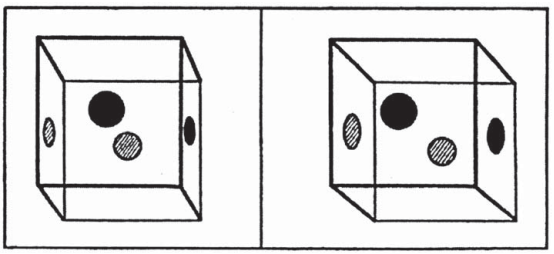


Рис. 123. Стеклянный куб с пятнами, рассматриваемый левым и правым глазом

рой — правому. Если смотреть на эти изображения так, чтобы каждый глаз видел только «свой» рисунок, то вместо двух плоских картин мы увидим один выпуклый, рельефный предмет, даже более рельефный, чем телесные предметы, видимые *одним* глазом. Рассматривают такие парные рисунки при помощи особого прибора — стереоскопа. Слияние обоих изображений достигалось в прежних стереоскопах при помощи зеркал, а в новейших — с помощью стеклянных выпуклых призм: они преломляют лучи так, что при мысленном их продолжении оба изображения (слегка увеличенные благодаря выпуклости призм) покрывают одно другое. Идея стереоскопа, как видим, необычайно проста, но тем поразительнее действие, достигаемое столь простыми средствами.

Большинству читателей, без сомнения, случалось видеть стереоскопические фотографии различных сцен и ландшафтов. Иные, быть может, рассматривали в стереоскоп и чертежи фигур, изготовленные с целью облегчить изучение стереометрии. В дальнейшем мы не будем говорить об этих более или менее общеизвестных применениях стереоскопа, а остановимся лишь на тех, с которыми многие читатели, вероятно, незнакомы.

Наш естественный стереоскоп

При рассматривании стереоскопических изображений можно обойтись и без какого-либо прибора: надо лишь приучить себя соответствующим образом направлять глаза. Результат получается такой же, как и при помощи стереоскопа, с той лишь разницей, что изображение при этом не увеличивается. Изобретатель стереоскопа Уитстон первоначально пользовался именно этим естественным приемом.

Я прилагаю здесь целую серию стереоскопических рисунков постепенно возрастающей сложности, которые советую попытаться рассматривать непосредственно, без стереоскопа. Успех достигается лишь после ряда упражнений*.

* Надо заметить, что умение видеть стереоскопически — даже и в стереоскоп — дается не всем людям, некоторые (например, косоглазые или привыкшие работать только одним глазом) совершенно не способны к нему; другим оно дается после продолжительного упражнения; наконец, третьи, преимущественно молодые люди, научаются этому очень быстро — в четверть часа.

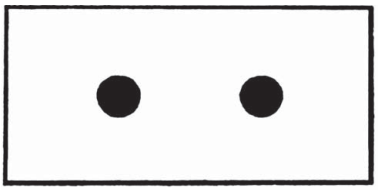


Рис. 124. Несколько секунд не сводите глаз с промежутка между пятнышками — оба черных пятна сольются в одно

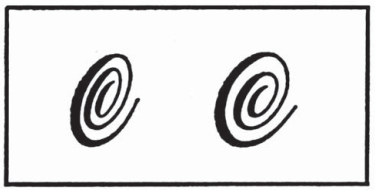


Рис. 125. Повторите то же с этой парой рисунков. Добившись слияния, перейдите к следующему упражнению

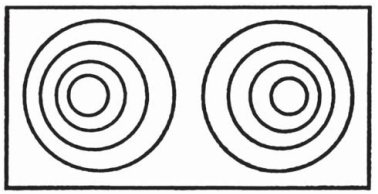


Рис. 126. Когда эти изображения сольются, вы увидите перед собой словно внутренность трубы, уходящей вдаль

Начните с рис. 124 — пары черных точек. Держите их перед глазами и в течение нескольких секунд не сводите взгляда с промежутка между пятнышками; при этом сделайте такое усилие, словно бы желали рассмотреть предмет, расположенный далее, позади рисунка. Вы увидите скоро уже не два, а четыре пятна — кружки раздвоятся. Но затем крайние точки отплывут далеко, а внутренние сблизятся и сольются. Если вы повторите то же с рис. 125 и 126, то в последнем случае в момент слияния увидите перед собой словно внутренность длинной трубы, уходящей вдаль.

Добившись этого, можете перейти к рис. 127; здесь вы должны увидеть висящие в воздухе геометрические тела. Рис. 128 представит

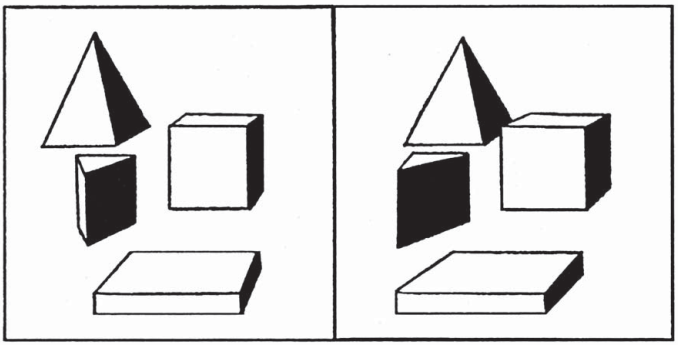


Рис. 127. Эти четыре геометрических тела при слиянии изображений кажутся словно парящими в пространстве

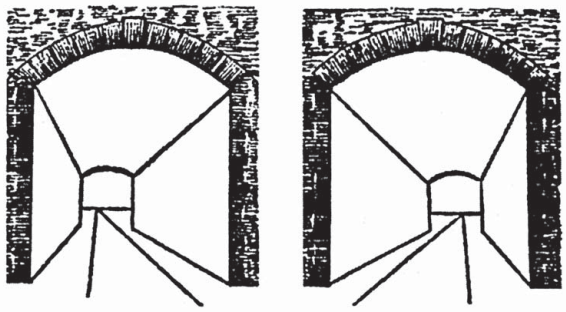


Рис. 128. Длинный, уходящий вдаль коридор

вам длинный коридор каменного здания или туннель, а на рис. 129 вы можете восхищаться иллюзией прозрачного стекла в аквариуме. Наконец, на рис. 130 перед нами уже целая картина — морской пейзаж.

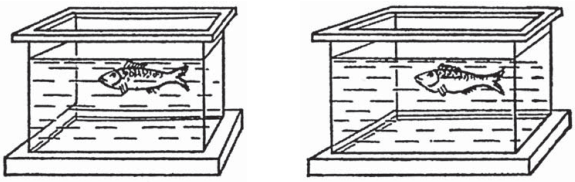


Рис. 129. Рыбка в аквариуме

Научиться такому непосредственному рассматриванию парных изображений сравнительно нетрудно. Многие из моих знакомых овладевали этим искусством в короткий срок, после небольшого чис-

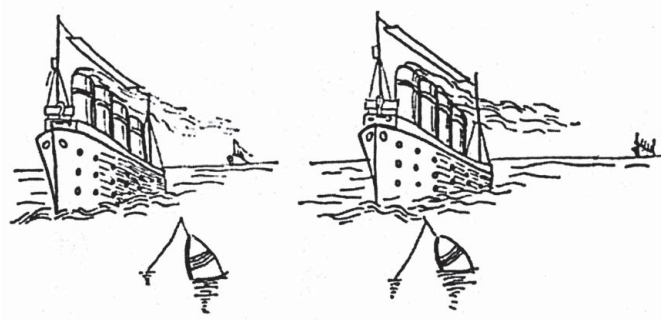


Рис. 130. Стереоскопический ландшафт моря

ла проб. Близорукие и дальнозоркие, носящие очки, могут не снимать их, а смотреть на изображение так, как рассматривают всякую картину. Пробуйте придвигать или отодвигать от глаз рисунки, пока не уловите надлежащего расстояния. Во всяком случае нужно проделывать опыты при хорошем освещении — это сильно способствует успеху.

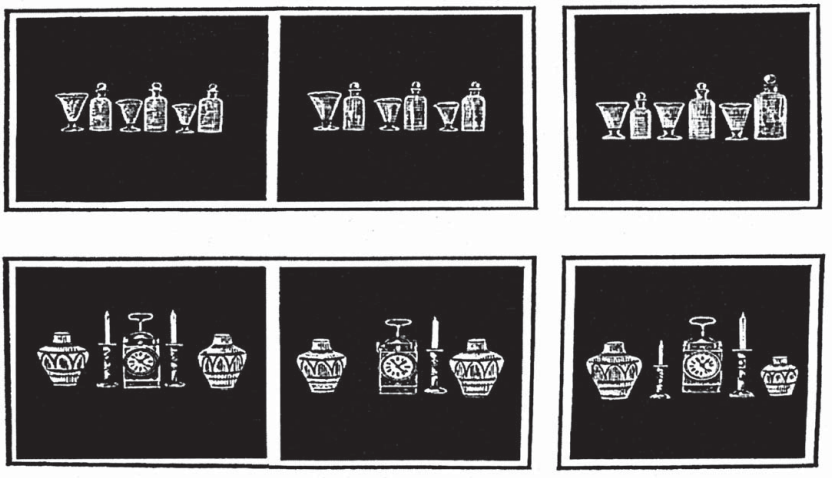
Научившись рассматривать без стереоскопа воспроизведенные здесь рисунки, можете воспользоваться приобретенным навыком для рассматривания вообще стереоскопических фотографий, обходясь без специального прибора. Те стереоскопические снимки, которые напечатаны далее (рис. 131, 134), тоже можно попытаться рассматривать простым глазом. Не надо только чрезмерно увлекаться этим упражнением, чтобы не утомить глаза.

Если вам не удастся приобрести способность управлять своими глазами, вы можете, за неимением стереоскопа, пользоваться стеклами очков для дальнозорких; надо подклеить их под отверстия в картоне так, чтобы смотреть только через внутренние края стекол; между рисунками следует поместить какую-нибудь перегородку. Этот упрощенный стереоскоп вполне достигает цели.

Одним и двумя глазами

На рис. 131 вверху слева воспроизведены фотографии, изображающие три аптечные склянки как будто одинаковых размеров. Как бы внимательно вы ни рассматривали эти изображения, вы не обнаружите между склянками никакой разницы в величине. А между тем разница существует, и весьма значительная. Склянки кажутся равными только потому, что находятся не на одинаковом расстоянии от глаза или от фотографического аппарата: крупная банка удалена больше, чем мелкие. Но какие именно из трех изображенных банок ближе, какие дальше? Это невозможно определить простым рассматриванием изображений.

Задача, однако, легко решается, если обратиться к услугам стереоскопа или к помощи того стереоскопического зрения без аппарата, о котором сейчас говорилось. Тогда вы отчетливо увидите, что из трех склянок крайняя левая значительно дальше средней, которая в свою очередь дальше правой. Истинное соотношение размеров склянок показано на рисунке справа.



Что видно при рассматривании невооруженным глазом — Что видно в стереоскопе

Рис. 131

Еще более поразительный случай имеем на рис. 131 внизу. Вы видите воспроизведение фотографий ваз, свечей и часов, причем обе вазы и обе свечи кажутся совершенно одинаковых размеров. В действительности же между ними огромная разница в размерах: левая ваза чуть не вдвое выше правой, а левая свеча гораздо ниже часов и правой свечи. При стереоскопическом рассматривании тех же снимков сразу обнаруживается причина метаморфозы: предметы не выстроены в одну шеренгу, а размещены на различных расстояниях: крупные — дальше, мелкие — ближе.

Преимущество стереоскопического «двуглазого» зрения перед «одноглазым» выступает здесь с большой убедительностью.

Простой способ разоблачать подделки

Имеются два совершенно одинаковых рисунка, например два равных черных квадрата. Рассматривая их в стереоскоп, мы увидим один квадрат, ничем не отличающийся от каждого из двух в отдельности. Если в центре каждого квадрата имеется белая точка, то и она, конечно, окажется в квадрате, видимом в стереоскопе. Но стоит эту точку на одном квадрате немного сдвинуть в сторону от центра, чтобы получился довольно неожиданный эффект: в стереоскоп по-прежнему

будет видна одна точка, но не на самом поле квадрата, а *впереди* или *позади* него! Достаточно ничтожной разницы в обеих картинах, чтобы вызвать с помощью стереоскопа впечатление глубины.

Это дает простой способ обнаруживать подделки банковских билетов и документов. Стоит поместить в стереоскоп подозреваемый банкнот рядом с подлинным, чтобы обнаружить подделку, как бы искусна она ни была: ничтожное различие в одной букве, в одном штрихе сразу бросится в глаза, так как буква эта или штрих будет казаться впереди или позади остального фона*.

Зрение великанов

Когда предмет находится очень далеко от нас, далее 450 м, то расстояние между нашими глазами не может уже влиять на различие зрительных впечатлений. Далекие здания, отдаленные горы, ландшафты кажутся нам поэтому плоскими. По той же причине и светила неба кажутся все на одном расстоянии, хотя Луна гораздо ближе, чем планеты, а последние неизмеримо ближе, чем неподвижные звезды.

Вообще, для всех предметов, которые расположены дальше 450 м, мы совершенно утрачиваем способность непосредственно воспринимать рельеф; они кажутся правому и левому глазу одинаковыми, так как те 6 см, которые отделяют зрачки глаз друг от друга, — слишком ничтожное расстояние по сравнению с 450 м. Понятно, что и стереоскопические фотографии, полученные при таких условиях, совершенно тождественны и не могут давать в стереоскопе иллюзии рельефа.

Но делу легко помочь: нужно сфотографировать далекие объекты с двух точек, взаимное удаление которых больше, нежели нормальное расстояние между глазами. Рассматривая подобные фотографии в стереоскоп, мы увидим ландшафт таким, каким видели бы его, если бы расстояние между нашими глазами значительно превышало обычное. В этом секрет получения стереоскопических снимков ландшафтов. Обыкновенно их рассматривают через увеличительные

* Мысль эта, впервые высказанная в середине XIX века Дове, применима не ко всем денежным знакам нашего времени. Технические условия их печатания таковы, что получающиеся оттиски не дают в стереоскопе впечатления плоского изображения, даже если оба денежных знака подлинные. Зато прием Дове вполне пригоден для различения двух оттисков одного и того же книжного набора от оттиска, сделанного с заново набранного шрифта.

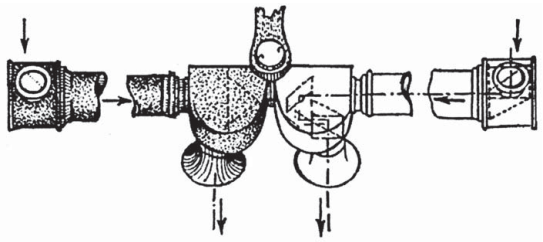


Рис. 132. Стереоскопическая зрительная труба

призмы (с выпуклыми боками), так что подобные рельефные стереоснимки нередко рисуются нам в натуральную величину — эффект получается поразительный.

Читатель, вероятно, догадался, что мыслимо устроить систему двух зрительных труб, через которые можно видеть рельеф данного ландшафта прямо в натуре, а не на фотографии. Такие приборы — *стереотрубы* — действительно существуют: две трубы отделены в них расстоянием большим, нежели нормальное расстояние глаз, а оба изображения попадают в глаза посредством отражательных призм (рис. 132). Трудно описать ощущения, которые испытываешь, когда смотришь в подобные инструменты, — до того они необычайны! Вся природа преображается. Далекие горы становятся рельефными, деревья, скалы, здания, корабли на море — все круглится, все выпукло, расставлено на бесконечном просторе, а не лежит на плоском экране. Вы непосредственно видите, как движется далекое судно, которое в обыкновенные трубы кажется неподвижным. В таком виде должны были бы представляться наши земные ландшафты сказочным великанам.

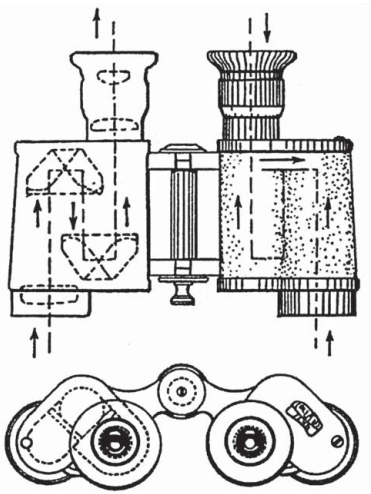


Рис. 133. Призменный бинокль

Если увеличение труб 10-кратное, а расстояние объективов в 6 раз превышает нормальное расстояние между зрачками (т. е. равно 6,5 × × 6 = 39 см), то воспринимаемое изображение в 6 × 10 = 60 раз пластичнее, чем при рассматривании невооруженными глазами. Это сказы-

вается в том, что даже предметы, удаленные на 25 км, обнаруживают еще заметную рельефность.

Для землемеров, моряков, артиллеристов, путешественников подобные зрительные трубы положительно незаменимы, особенно если они снабжены шкалой, при помощи которой можно измерить расстояние (стереоскопические дальномеры).

Призменный бинокль Цейса тоже дает этот эффект, так как взаимное расстояние его объективов более, чем нормальное расстояние между нашими глазами (рис. 133). В театральных биноклях, наоборот, расстояние между объективами уменьшено — для ослабления рельефа (чтобы кулисы не казались расставленными).

Вселенная в стереоскопе

Если мы направим стереотрубу на Луну или какое-нибудь другое небесное тело, мы никакого рельефа не заметим. Этого и следовало ожидать, ибо небесные расстояния чересчур велики даже для стереотруб. Что значат те 30–50 см, которые отделяют друг от друга объективы прибора, по сравнению с расстоянием от Земли до планет? Если бы возможно было соорудить прибор с расстоянием между трубами даже в десятки и сотни километров, он и тогда не дал бы никакого эффекта при наблюдении планет, удаленных от нас на десятки *миллионов* километров.

Здесь опять приходит на помощь стереоскопическая фотография. Предположим, мы сфотографировали какую-нибудь планету вчера и затем вторично сегодня; обе фотографии будут сняты с одного пункта Земли, но с разных точек Солнечной системы, так как за сутки Земля успела передвинуться по орбите на миллионы километров. Снимки, разумеется, не будут тождественны. И если такие снимки вы поместите в стереоскоп, то увидите уже не плоское, а рельефное изображение.

Мы можем, следовательно, пользуясь движением Земли по ее орбите, получать снимки небесных тел с двух весьма отдаленных точек; снимки эти будут стереоскопическими. Представьте себе великана с такой гигантской головой, что расстояние между его глазами измеряется миллионами километров, и вы поймете, каких необычайных результатов достигают астрономы с помощью небесной стереофотографии.

Стереоскопом пользуются в настоящее время, чтобы открывать новые планеты, а именно те малые планетки *(астероиды)*, которые

во множестве кружатся между орбитами Марса и Юпитера. Еще недавно разыскание их было делом счастливого случая. Теперь же достаточно стереоскопически сравнить две фотографии данного участка неба, полученные в разное время; стереоскоп сразу выделит астероид, если он имеется на взятой пробе, так как он будет выступать из общего фона.

Стереоскопом улавливается не только различие в *положении* точек, но и различие в их *яркости*. Это дает астроному удобный способ находить так называемые переменные звезды, периодически меняющие свой блеск. Если на двух снимках неба какая-нибудь звезда вышла неодинаково ярко, то стереоскоп сразу же укажет астроному эту изменившую свой блеск звезду.

Зрение тремя глазами

Не думайте, что третий глаз здесь такая же обмолвка, как третье ухо в устах взволнованного Ивана Игнатьевича из «Капитанской дочки»: «Он вас в рыло, а вы его в ухо, в другое, в третье — и разойдитесь». У нас речь в самом деле пойдет о том, чтобы видеть тремя глазами.

Видеть *тремя* глазами? Возможно разве приобрести себе третий глаз?

Представьте, мы будем говорить именно о таком зрении. Наука не в силах дать человеку третий глаз, но в ее власти дать возможность видеть предмет таким, каким он должен был бы казаться существу с тремя глазами.

Начнем с того, что человеку, лишившемуся одного глаза, вполне возможно рассматривать стереоскопические фотографии и получать от них то впечатление рельефности, которого воспринимать непосредственно он не может. Для этого нужно проектировать на экран, быстро сменяя один другим, снимки, предназначенные для правого и левого глаза; то, что человек двумя глазами рассматривает одновременно, одноглазый будет видеть здесь последовательно, в быстрой смене. Но результат получится один и тот же, потому что весьма быстро сменяющиеся зрительные впечатления так же сливаются в один образ, как и одновременные*.

* Возможно, что замечаемая иногда удивительная рельефность кинематографических картин объясняется, помимо указанных ранее причин, еще отчасти и тем эффектом, о котором сейчас говорится: если аппарат, производивший съемку, мерно

Но если так, то человеку с *двумя* глазами возможно одновременно видеть: одним глазом — две быстро сменяющиеся фотографии, а другим — еще одну фотографию, снятую с третьей точки зрения.

Иными словами, с одного предмета делаются три снимка, отвечающие трем различным точкам, как бы трем глазам. Затем два из этих снимков заставляют, быстро чередуясь, действовать на один глаз наблюдателя; при быстром их чередовании впечатления сливаются в один сложный *рельефный* образ. К этому образу присоединяется еще третье впечатление — от другого глаза, который смотрит на третий снимок.

При таких условиях мы хотя и смотрим только двумя глазами, но впечатление получаем совершенно такое же, как если бы смотрели тремя глазами. Рельефность при этом достигает высшей степени.

Что такое блеск?

Стереофотография, воспроизведенная у нас на рис. 134, изображает многогранники: один — черным по белому, другой — белым по черному. Что мы увидели бы, если бы взглянули на эти рисунки в стереоскоп? Трудно предугадать. Послушаем Гельмгольца:

> «Когда на одной стереоскопической картинке какая-нибудь плоскость изображена белой, на другой — черной, то в соединенном изображении она кажется блестящей, даже когда для рисунка взята совершенно матовая бумага. Стереоскопические чертежи моделей кристаллов (так выполненные) производят впечатление, как будто модель кристаллов сделана из блестящего графита. Еще лучше выходит, благодаря этому приему, на стереоскопических фотографиях блеск воды, листьев и т. п.».

В старой, но далеко еще не устаревшей книге нашего великого физиолога Сеченова «Физиология органов чувств. Зрение» (1867) находим прекрасное объяснение этого явления. Вот оно:

> «В опытах искусственного стереоскопического слияния различно освещенных или различно окрашенных поверхностей повторяются действительные условия видения блестящих тел. Чем отличается в самом деле матовая поверхность от блестящей (полированной)? Первая

покачивался при этом (как часто бывает вследствие работы механизма, движущего ленту), то снимки получались нетождественные; при быстрой же смене этих снимков на экране они сливаются в нашем сознании в рельефный образ.

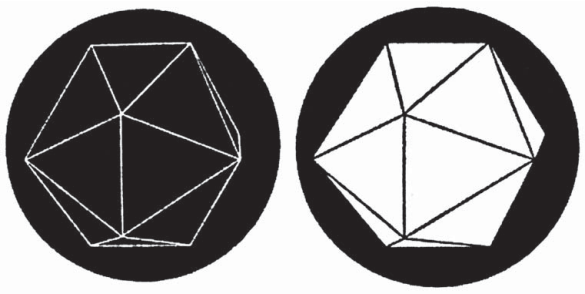


Рис. 134. Стереоскопический блеск. Сливаясь при рассматривании в стереоскоп, эти рисунки дают изображение блестящего кристалла на черном фоне

отражает свет рассеянно во все стороны, поэтому кажется глазу всегда одинаково освещенной, с какой бы стороны он ни смотрел на нее; полированная же поверхность отражает свет лишь в определенном направлении; поэтому возможны даже такие случаи, когда один глаз человека, смотрящего на такую поверхность, получает от нее много отраженных лучей, а другой — почти нисколько (эти условия и соответствуют именно случаю стереоскопического слияния белой поверхности с черной); случаи же неравного распределения отраженного света между глазами наблюдателя (т. е. случаи, когда в один глаз попадает больше, чем в другой) при рассматривании блестящих полированных поверхностей, очевидно, неизбежны.

Читатель видит таким образом, что стереоскопический блеск представляет доказательство в пользу мысли, что опыт играет первенствующую роль в акте телесного слияния образов. Борьба полей зрения тотчас уступает место прочному представлению, как только зрительному аппарату, воспитанному опытом, дается возможность отнести различия их к какому-нибудь знакомому случаю действительного видения».

Итак, причина того, что мы видим *блеск* (по крайней мере одна из причин), состоит в неодинаковой яркости изображений, получаемых правым и левым глазом. Без стереоскопа эта причина едва ли могла бы нам открыться.

Зрение при быстром движении

Раньше мы говорили, что различные изображения одного и того же предмета, сливаясь в нашем глазу при быстром чередовании, создают зрительное впечатление рельефности.

Возникает вопрос: будет ли это только тогда, когда подвижные изображения воспринимаются неподвижным глазом, или то же будет наблюдаться и в равносильном случае, когда неподвижные изображения воспринимаются быстро перемещающимся глазом?

Оказывается, как и следовало ожидать, что стереоскопический эффект получается и в таком случае. Вероятно, многим читателям случалось замечать, что кинематографические картины, снятые с быстро движущегося поезда, обнаруживают необыкновенную рельефность, не уступающую той, какая достигается в стереоскопе. Мы и непосредственно можем убедиться в этом при внимательном отношении к тем зрительным впечатлениям, которые воспринимаем при быстрой езде в вагоне или в автомобиле: ландшафты, так наблюдаемые, отличаются стереоскопичностью, отчетливым отделением переднего плана от заднего. Ощущение *глубины* заметно возрастает, простирается вдаль больше тех 450 м, которые являются пределом стереоскопического зрения для неподвижного глаза.

Не в этом ли кроется причина приятного впечатления, которое производит на нас ландшафт, рассматриваемый из окна быстро мчащегося вагона? Даль уходит назад, и мы отчетливо различаем огромность расстилающейся кругом картины природы. Когда на быстро движущемся автомобиле мы проезжаем через лес, то — по той же причине — каждое дерево, ветка, листок воспринимаются нами отчетливо отграниченными в пространстве, заметно отделяясь друг от друга, а не сливаясь в одно целое, как для наблюдателя неподвижного.

А при быстрой езде по дороге в горной стране весь рельеф почвы воспринимается непосредственно глазом, горы и долины ощущаются с осязательной пластичностью.

Все это доступно и одноглазым людям, для которых описываемые ощущения являются совершенно новыми, неизведанными. Мы уже отмечали, что для рельефного видения вовсе не необходимо, как обычно думают, одновременное восприятие разных картин непременно *двумя* глазами; стереоскопическое зрение осуществляется и одним глазом, если *разные* картины сливаются при достаточно быстрой смене*.

* Этим объясняется заметная стереоскопичность кинематографических картин, если они засняты с поезда, огибающего кривую, причем снимаемые предметы лежали в направлении радиуса кривой. «Железнодорожный эффект», который мы здесь имеем в виду, хорошо известен кинооператорам.

Нет ничего легче, как проверить сказанное: для этого потребуется лишь немного внимания к тому, что мы воспринимаем, сидя в вагоне поезда или в автобусе. При этом вы заметите, быть может, и другое поразительное явление, о котором писал еще Дове в XIX веке (поистине ново то, что хорошо забыто!): мелькающие мимо окна близкие предметы кажутся *уменьшенными*. Факт этот объясняется причиной, имеющей мало общего со стереоскопическим зрением, а именно тем, что, видя столь быстро движущиеся предметы, мы ошибочно заключаем об их близости; если же предмет ближе к нам, — как бы бессознательно рассуждаем мы, — то он должен быть в натуре мельче обычного, чтобы казаться такой же величины, как всегда. Это объяснение принадлежит Гельмгольцу.

Окрашенные тени

Теперь, когда «лампочка Ильича» заблистала во многих углах нашего Союза, уже не так часто можно наблюдать интересное физическое явление, поразившее меня в детстве. Для этого нужно наличие двух источников света: полной луны и *керосиновой* лампы. При таких именно условиях случилось мне заметить на земле, близ освещенного лампой окна, две тени, отбрасываемые моим телом, — одну голубого цвета, другую — красновато-желтого.

Нетрудно установить происхождение окраски этих теней. Красно-желтая отбрасывается луной и освещается керосиновой лампой. Голубая же отбрасывается лампой и освещается луной; она кажется голубой по контрасту — потому что лежит рядом с красновато-желтой.

Сквозь цветные очки

Если вы станете смотреть через красное стекло на надпись, сделанную *красным по белому*, то увидите ровный красный фон — и только. Никаких следов надписи вы не заметите, так как красные буквы сливаются с красным же фоном. Глядя через то же стекло на надпись, сделанную *голубым по белому*, вы отчетливо увидите *черные* буквы на красном фоне. Почему черные — легко понять: красное стекло не пропускает голубых лучей (оттого оно и красно, что пропускает только красные лучи); следовательно, на месте голубых букв вы должны увидеть отсутствие света, т. е. черные литеры.

На этом свойстве цветных стекол основано действие так называемых *анаглифов* — картин, напечатанных особым образом и дающих тот же эффект, что и стереоскопические фотографии. В анаглифах оба изображения, соответствующие правому и левому глазу, печатаются *одно на другом*, но разными красками: голубой и красной.

Чтобы увидеть вместо двух цветных одно черное, но рельефное изображение, достаточно смотреть на них через цветные очки. Правый глаз через *красное стекло* видит только *голубой* отпечаток, т. е. именно тот, который отвечает правому глазу (причем он представляется глазу не цветным, а черным). Левый глаз через *голубое стекло* видит только соответствующий ему *красный* отпечаток. Каждый глаз видит лишь одно изображение — именно то, которое ему соответствует. Мы имеем здесь те же условия, что и в стереоскопе, и, следовательно, результат должен быть тот же: получается впечатление рельефа.

«Чудеса теней»

На рассмотренном сейчас принципе основан и эффект тех «чудес теней», которые показывались иногда в кино.

«Чудеса теней» состоят в том, что отбрасываемые на экран тени движущихся фигур представляются зрителям (вооруженным двухцветными очками) в виде телесных образов, выпукло выступающих впереди экрана. Иллюзия достигается здесь использованием эффекта двухцветной стереоскопии. Предмет, тень которого желательно показать, помещается между экраном и двумя поставленными рядом источниками света — красным и зеленым. На экране получаются две окрашенные тени — красная и зеленая, частью покрывающие друг друга. Зрители смотрят на эти тени не непосредственно, а сквозь очки с плоскими стеклами — красным и зеленым.

Сейчас было объяснено, что при таких условиях порождается иллюзия телесного образа, выступающего впереди экранной плоскости. Иллюзии, достигаемые «чудесами теней», чрезвычайно забавны: порой кажется, что брошенный предмет летит прямо в зрителя; какой-нибудь исполинский паук шагает по воздуху в публику, заставляя ее невольно вскрикивать и отворачиваться. Аппаратура здесь крайне проста; она понятна из рис. 135, где *Зл* и *Кр* означают зеленую и красную лампы (слева); *P* и *Q* — предметы, помещенные между

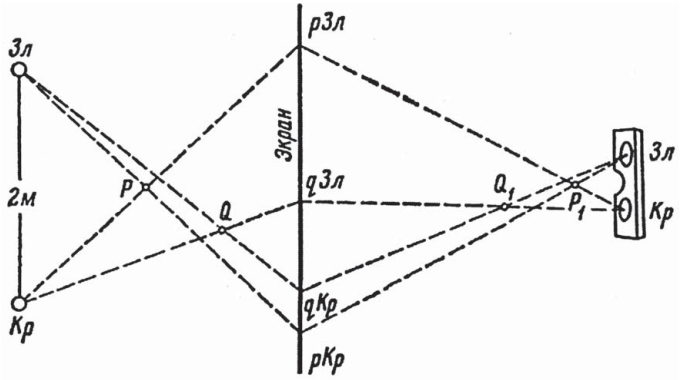


Рис. 135. Секрет «чудес теней»

лампами и экраном; *p* и *q* со значками *Зл и Кр* — окрашенные тени этих предметов на экране; P_1 и Q_1 — места, в которых видит эти предметы зритель, смотрящий через окрашенные пленки — зеленую *(Зл)* и красную *(Кр)*. Когда бутафорский «паук» за экраном переносится из *Q* в *P*, зрителю кажется, что он перебегает из Q_1 в P_1.

Вообще, приближение предмета за экраном к источнику света, обусловливая увеличение тени на экране, создает иллюзию надвигания предмета от экрана на зрителя. Все, что зрителям кажется летящим на них с экрана, движется на самом деле в обратном направлении — от экрана назад, к источнику света.

Неожиданные превращения окраски

Здесь уместно рассказать о серии опытов, очень нравившихся посетителям «Павильона занимательной науки» в Ленинградском ЦПКиО на Кировских островах. Один из уголков помещения обставлен как гостиная. Вы видите мебель в темно-оранжевых чехлах; стол, покрытый зеленой скатертью; на нем — графин с клюквенным морсом и цветы; полка уставлена книгами с цветными надписями на корешках. Сначала все это показывается при обычном белом электрическом освещении. Затем — поворотом выключателя — белое освещение заменяется *красным*. Это порождает в гостиной неожиданную перемену: мебель становится розовой, зеленая скатерть превращается в темно-лиловую; морс делается бесцветным, как вода; цветы ме-

няют окраску и кажутся совершенно другими; часть надписей на книжных корешках бесследно исчезает...

При новом повороте выключателя уголок заливается *зеленым* светом — и облик гостиной опять неузнаваемо изменяется.

Все эти занимательные метаморфозы хорошо иллюстрируют Ньютоново учение об окраске тел. Сущность учения в том, что поверхность тела имеет всегда цвет не тех лучей, которые она поглощает, а тех, которые она рассеивает, т. е. отбрасывает в глаз наблюдателя. Знаменитый соотечественник Ньютона, английский физик Тиндаль, формулирует это положение так:

> «Когда мы освещаем предметы белым светом, то красный цвет образуется от поглощения зеленых лучей, а зеленый — от поглощения красных, между тем как остальные цвета в обоих случаях проявляются. Значит, тела приобретают свой цвет отрицательным способом: окраска — следствие не прибавления, а исключения».

Зеленая скатерть, следовательно, оттого зеленого цвета при белом освещении, что она способна рассеивать преимущественно лучи зеленые и примыкающие к ним в спектре; прочие лучи она рассеивает в незначительном количестве, бóльшую же их часть поглощает. Если направить на такую скатерть смесь красных лучей с фиолетовыми, то скатерть будет рассеивать почти одни только фиолетовые, поглощая бóльшую часть красных. Глаз получит впечатление темно-лиловой окраски.

Примерно такова же причина и всех прочих цветовых метаморфоз в уголке гостиной. Загадочным представляется лишь обесцвечивание морса: почему красная жидкость при красном же освещении кажется бесцветной? Разгадка в том, что графин с морсом стоит на белой салфетке, разостланной на зеленой скатерти. Если снять графин с салфетки, сразу обнаруживается, что в красных лучах жидкость в графине не бесцветная, а красная. Бесцветной кажется она только рядом с салфеткой, которая в красном освещении делается красной, но которую мы по привычке и по контрасту с темной цветной скатертью *продолжаем считать белой*. А так как цвет жидкости в графине одинаков с цветом мнимо-белой салфетки, то мы невольно приписываем и морсу белый цвет; он становится в наших глазах уже не морсом, а бесцветной водой.

Опыты, подобные описанным, можно проделать и в упрощенной обстановке: достаточно, раздобыв цветные стекла, рассматривать сквозь них окружающие предметы.

Высота книги

Предложите гостю указать пальцем на стене, какой высоты достигнет книга, которую он держит в руках, если поместить ее стоймя на полу. Когда он сделает это, поставьте в самом деле книгу на пол: окажется, что высота ее чуть не вдвое ниже указанной!

Особенно хорошо удается опыт, если спрошенный сам не нагибается для указания высоты, а лишь на словах объясняет вам, в каком месте стены надо сделать пометку. Разумеется, опыт можно проделывать не только с книгой, но и с лампой, шляпой и другими предметами, которые мы обычно привыкли видеть близ уровня наших глаз.

Причина ошибки кроется в том, что все предметы сокращаются, когда мы смотрим вдоль них.

Размеры башенных часов

Ту ошибку, которую сделал ваш гость при оценке высоты книги, мы делаем постоянно и при определении величины предметов, помещенных очень высоко. Особенно характерна ошибка, которую мы совершаем при определении размеров башенных часов. Мы знаем, конечно, что такие часы очень велики, — и все же представление наше об их величине значительно уступает действительности. Прилагаемый рис. 136 изображает циферблат знаменитых часов Вестминстерского аббатства в Лондоне, перенесенный на мостовую улицы.



Рис. 136. Размеры башенных часов Вестминстерского аббатства

Люди кажутся букашками в сравнении с ним. И, взглянув на рисующуюся вдали часовую башню, вы отказываетесь верить, что виднеющиеся на башне отверстия равны этим часам по размерам.

Белое и черное

Взгляните *издали* на рис. 137 и скажите: сколько черных кружков могло бы поместиться в свободном промежутке между нижним кружком и одним из верхних кружков — четыре или пять? Скорее всего, вы ответите, что четыре кружка уместятся свободно, но для пятого, пожалуй, места уже недостанет.

Когда же вам скажут, что в промежутке помещается ровно три кружка, не более, — вы не поверите. Возьмите же бумажку или циркуль и убедитесь, что вы не правы.

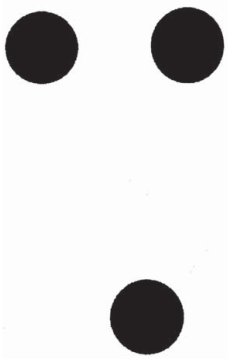


Рис. 137. Пустой промежуток между нижним кружком и каждым из верхних кажется больше, нежели расстояние между наружными краями верхних кружков. В действительности же расстояния равны

Эта странная иллюзия, в силу которой черные участки кажутся нашему глазу меньше, нежели белые такой же величины, носит название «иррадиации». Она зависит от несовершенства нашего глаза, который как оптический аппарат не вполне отвечает строгим требованиям оптики. Его преломляющие среды не дают на сетчатке тех резких контуров, которые получаются на матовом стекле хорошо наставленного фотографического аппарата: вследствие так называемой *сферической аберрации* каждый светлый контур окружается светлой каймой, которая увеличивает его размеры на сетчатой оболочке глаза. В итоге светлые участки всегда кажутся нам больше, чем равные им черные.

В своем «Учении о цветах» великий поэт Гёте, который был зорким наблюдателем природы (хотя и не всегда достаточно осмотрительным физиком-теоретиком), пишет об этом явлении так:

> «Темный предмет кажется меньше светлого той же величины. Если рассматривать одновременно белый круг на черном фоне и черный круг того же диаметра на белом фоне, то последний нам покажется примерно на $^1/_5$ меньше первого. Если черный круг сделать соответственно больше, они покажутся равными. Молодой серп луны кажется принадлежащим кругу большего диаметра, чем остальная темная часть луны, которая иногда бывает при этом различима („пепельный свет“ луны. — *Я. П.*). В темном платье люди кажутся тоньше, чем в светлом. Источники света, видные из-за края, производят в нем кажущийся вырез. Линейка, из-за которой появляется пламя свечи, представляется с зарубкой в этом месте. Восходящее и заходящее солнце делает словно выемку в горизонте».

В этих наблюдениях все верно, кроме утверждения, будто белый кружок кажется больше равного черного всегда на одну и ту же долю. Прибавка зависит от расстояния, с какого кружки рассматриваются. Сейчас станет понятно, почему это так.

Отодвиньте рис. 137 от глаз подальше — иллюзия станет еще сильнее, еще поразительнее. Объясняется это тем, что ширина добавочной каймы всегда остается одинаковой; если поэтому в близком расстоянии она увеличивала ширину светлого участка всего на 10 %, то на далеком расстоянии, когда само изображение уменьшится, та же добавка будет составлять уже не 10 %, а, скажем, 30 % или даже 50 % его ширины. Указанной особенностью нашего глаза обычно объясняют также странное свойство рис. 138. Рассматривая его вблизи, вы видите множество белых кружков на черном поле. Но отодвиньте книгу подальше и взгляните на рисунок с расстояния 2–3 шагов, а если у вас очень хорошее зрение, то с расстояния шагов 6–8; фигура заметно изменит свой вид: вы увидите в ней вместо кружков белые шестиугольники, наподобие пчелиных ячеек.

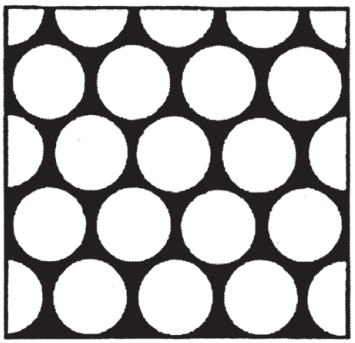


Рис. 138. На некотором расстоянии кружки кажутся шестиугольниками

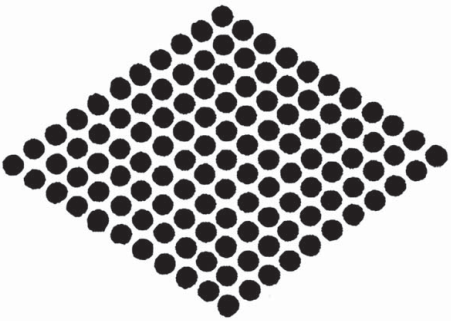


Рис. 139. Черные кружки кажутся издали шестиугольниками

Меня не вполне удовлетворяет объяснение этой иллюзии иррадиацией, с тех пор как я заметил, что *черные* кружки на белом фоне также кажутся издали шестиугольными (рис. 139), хотя иррадиация здесь не увеличивает, а *сокращает* кружки. Надо сказать, что вообще существующие объяснения зрительных иллюзий нельзя считать окончательными; большинство же иллюзий и вовсе не имеет еще объяснения.

Какая буква чернее?

Рис. 140 дает возможность познакомиться с другим несовершенством нашего глаза — *астигматизмом*. Если взглянете на него одним глазом, то из четырех букв этой надписи не все, вероятно, покажутся вам одинаково черными. Заметьте, какая буква всего чернее, и поверните рисунок боком. Произойдет неожиданная перемена: самая черная буква станет серой, и чернее прочих покажется теперь уже другая буква.



Рис. 140. Смотрите на эту надпись одним глазом. Одна из букв представится вам более черной, нежели остальные

На самом же деле все четыре буквы одинаково черны, они только заштрихованы в различных направлениях. Если бы глаз был так же безупречно устроен, как дорогие стеклянные объективы, то направление штрихов не отражалось бы на черноте букв. Но глаз наш по различным направлениям не вполне одинаково преломляет лучи, а потому мы не можем сразу видеть одинаково отчетливо и вертикальные, и горизонтальные, и косые линии.

Редко у кого глаза совершенно свободны от этого недостатка, а у некоторых людей астигматизм достигает такой сильной степени, что заметно мешает зрению, понижая его остроту. Таким лицам приходится, чтобы ясно видеть, употреблять специальные очки.

У глаза есть и другие органические недостатки, которых при изготовлении оптических приборов мастера умеют избегать. Знаменитый Гельмгольц выразился по поводу этих недостатков так: «Если бы какой-нибудь оптик вздумал продать мне инструмент, обладающий такими недостатками, я счел бы себя вправе самым резким образом выразиться о небрежности его работы и возвратить ему его прибор с протестом».

Но и кроме этих иллюзий, которые обусловлены известными недостатками строения, глаз наш поддается также целому ряду обманов, имеющих совершенно иные причины.

Живые портреты

Всем, вероятно, приходилось видеть портреты, которые не только смотрят прямо на нас, но даже следят за нами глазами, обращая их в ту сторону, куда мы переходим. Эта любопытная особенность таких портретов издавна подмечена и всегда казалась многим загадочной; нервных людей она положительно пугает. У Гоголя в «Портрете» прекрасно описан подобный случай:

> «Глаза вперились в него и, казалось, не хотели ни на что другое глядеть, как только на него... Портрет глядит мимо всего, что ни есть вокруг, прямо в него, — глядит просто к нему вовнутрь...»

Немало суеверных легенд связано с этой таинственной особенностью глаз на портретах (вспомните тот же «Портрет»), а между тем разгадка ее сводится к простому обману зрения.

Все объясняется тем, что зрачок на этих портретах помещен в *середине глаза*. Именно такими мы видим глаза человека, который смотрит прямо на нас; когда же он смотрит в сторону, мимо нас, то зрачок и вся радужная оболочка кажутся нам находящимися не посредине глаза, но несколько перемещенными к краю. Когда мы отходим в сторону от портрета, зрачки, разумеется, своего положения не меняют — остаются посредине глаза. А так как, кроме того, и все лицо мы продолжаем видеть в прежнем положении по отношению к нам, то нам, естественно, кажется, будто портрет повернул голову в нашу сторону и следит за нами.



Рис. 141. Загадочный портрет

Таким же образом объясняются и другие озадачивающие особенности некоторых картин: лошадь едет прямо на нас, куда бы мы ни отходили от картины; человек указывает на нас: его протянутая вперед рука направлена прямо к нам, и т. п. Образчик подобной картины вы видите на рис. 141. Такого рода плакатами нередко пользуются для агитационных или рекламных целей.

Если вдуматься хорошенько в причину подобных иллюзий, то становится ясным, что в них не только нет ничего удивительного, но даже наоборот: удивительно было бы, если бы такой особенностью картины не обладали.

Воткнутые линии и другие обманы зрения

Начерченная на рис. 142 группа булавок не представляет на первый взгляд ничего особенного. Но поднимите книгу на уровень глаз и, закрыв один глаз, смотрите на эти линии так, чтобы луч зрения скользил вдоль них. (Глаз нужно поместить в той точке, где пересекаются продолжения этих прямых.) При таком рассматривании вам покажется, что булавки не начерчены на бумаге, а воткнуты в нее стоймя. Отводя голову немного в сторону, вы увидите, что булавки словно наклоняются в ту же самую сторону.

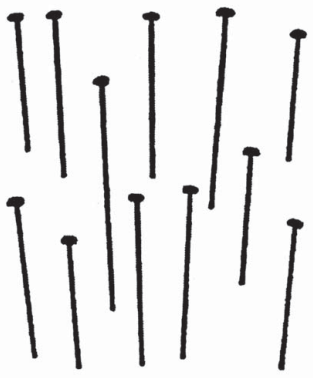


Рис. 142. Поместите один глаз (закрыв другой) приблизительно в той точке, где пересекаются продолжения этих линий. Вы увидите ряд булавок, словно воткнутых в бумагу. При легком перемещении рисунка из стороны в сторону булавки кажутся качающимися

Эта иллюзия объясняется законами перспективы: линии начерчены так, как должны были бы проектироваться на бумагу отвесно торчащие воткнутые булавки, когда на них смотрят описанным выше образом.

Способность нашу поддаваться зрительным обманам вовсе не следует рассматривать только как недостаток зрения. Она имеет и свою весьма выгодную сторону, о которой часто забывают. Дело в том, что, если бы глаз наш не способен был поддаваться никаким обманам, не существовало бы живописи и мы лишены были бы всех наслаждений изобразительных искусств. Художники широко пользуются этими недостатками зрения. «На сей обманчивости все живописное художество основано, — писал гениальный ученый XVIII века Эйлер в своих знаменитых „Письмах о разных физических материях“*. — Ежели бы мы привыкли судить о вещах по самой истине, то бы сие искусство (т. е. художество) не могло иметь места, равно как когда бы мы были слепы. Всуе художник истощил бы все свое искусство на смешение цветов; мы бы сказали: вот на сей доске красное пятно; вот голубое, здесь черное и там несколько беловатых линий; все находится на одной поверхности, не видно на ней никакого в расстоянии различия и невозможно было бы изобразить ни единого предмета. Что бы на картине ни написано

* Издано в С.-Петербурге в 1774 г. в переводе Степана Румовского.

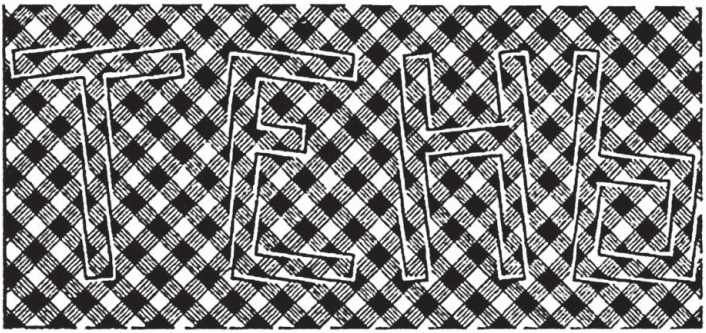


Рис. 143. Буквы поставлены прямо

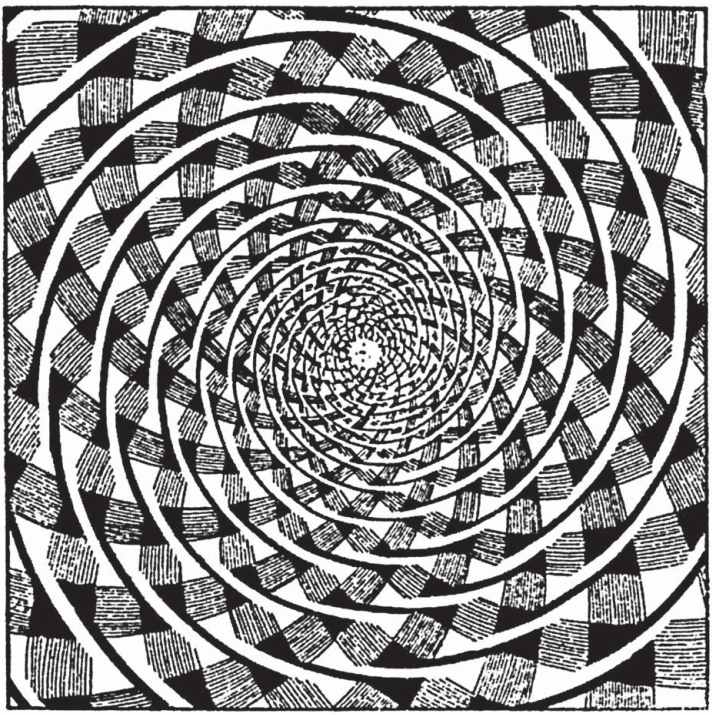


Рис. 144. Кривые линии этой фигуры кажутся спиралью; между тем это окружности, в чем легко убедиться, водя по ним заостренной спичкой

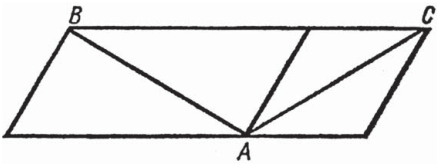


Рис. 145. Расстояния *AB* и *AC* равны, хотя первое кажется бóльшим



Рис. 146. Косая линия, пересекающая полоски, кажется изломанной

было, так бы нам казалось, как письмо на бумаге... При сем совершенстве не были ли бы мы сожаления достойны, лишены будучи удовольствия, которое приносит нам ежедневно столь приятное и полезное художество?»

Оптических обманов очень много, можно наполнить целый альбом различными примерами таких иллюзий. Многие из них общеизвестны, другие менее знакомы. Привожу здесь еще несколько любопытных примеров оптических обманов из числа менее известных. Особенно эффектны иллюзии рис. 143 и 144 с линиями на сетчатом фоне: глаз положительно отказывается верить, что буквы на рис. 143 поставлены прямо. Еще труднее поверить тому, что на рис. 144 перед нами не спираль. Приходится убеждать себя в этом непосредственным испытанием: поставив острие карандаша на одну из ветвей мнимой спирали, кружить по дугам, не приближаясь и не удаляясь от центра. Точно так же, только с помощью циркуля, можем мы убедиться, что на рис. 145 прямая *AC* не короче *AB*. Сущность остальных иллюзий, порождаемых рис. 146–149, объяснена в подписях под ними. До какой степени сильна иллюзия рис. 148, показывает следующий курьезный случай: издатель одного из предыдущих изданий моей книги, получив от цинкографии оттиск этого клише, счел клише недоделанным и готовился было уже

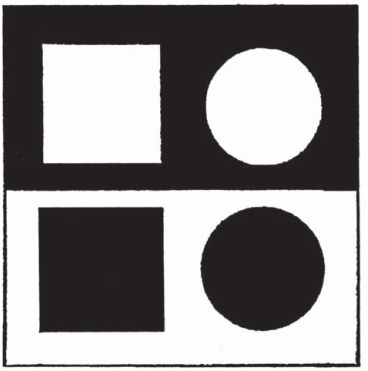


Рис. 147. Белые и черные квадраты равны, так же как и круги

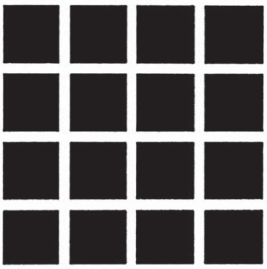


Рис. 148. На пересечении белых полос этой фигуры появляются и исчезают, словно вспыхивая, сероватые квадратные пятнышки. В действительности же полоски совершенно белы по всей длине, в чем легко убедиться, закрыв бумагой прилегающие ряды черных квадратов. Это — следствие контрастов

возвратить его в мастерскую, чтобы счистить серые пятна на пересечении белых полос, когда я, случайно войдя в комнату, объяснил ему, в чем дело.

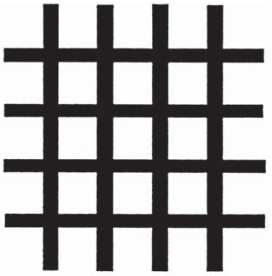


Рис. 149. На пересечении черных полос появляются сероватые пятна

Как видят близорукие

Близорукий без очков видит плохо; но что, собственно, он видит и какими именно представляются ему предметы — об этом люди с нормальным зрением имеют весьма смутное представление. Между тем близоруких людей довольно много, и полезно познакомиться с тем, как рисуется им окружающий мир.

Прежде всего близорукий (разумеется, без очков) никогда не видит резких контуров: все предметы для него имеют расплывчатые очертания. Человек с нормальным зрением, глядя на дерево, различает отдельные листья и веточки, отчетливо вырисовывающиеся на фоне неба. Близорукий же видит лишь бесформенную зеленую массу неясных, фантастических очертаний; мелкие детали для него пропадают.

Для близоруких людей человеческие лица кажутся в общем моложе и привлекательнее, чем для человека с нормальным зрением; морщины и другие мелкие изъяны лица ими не замечаются; грубокрасный цвет кожи (натуральный или искусственный) кажется им нежно-румяным. Мы удивляемся наивности иных своих знакомых, ошибающихся чуть не на 20 лет в определении возраста людей, поражаемся их странным вкусом в оценке красоты, виним их в неучтивости, когда они смотрят нам прямо в лицо и словно не желают узнать... Все это часто происходит просто от близорукости.

«В лицее, — вспоминает поэт Дельвиг, современник и друг Пушкина, — мне запрещали носить очки, зато все женщины казались мне

прекрасны; как я разочаровался после выпуска!» Когда близорукий (без очков) беседует с вами, он вовсе не видит вашего лица — во всяком случае, видит не то, что вы предполагаете: перед ним расплывчатый образ, и нет ничего удивительного, что, встретив вас вторично через час, он уже не узнает вас. Большей частью близорукий узнаёт людей не столько по внешнему облику, сколько по звуку голоса: недостаток зрения восполняется изощренностью слуха.

Интересно также проследить за тем, каким рисуется близоруким людям мир ночью. При ночном освещении все яркие предметы — фонари, лампы, освещенные окна и т. п. — разрастаются для близорукого до огромных размеров, превращая картину в хаос бесформенных ярких пятен, темных и туманных силуэтов. Вместо линий фонарей на улице близорукие видят два-три огромных ярких пятна, которые заслоняют для них всю остальную часть улицы. Приближающегося автомобиля они не различают, вместо него они видят только два ярких ореола (фары), а сзади них темную массу.

Даже ночное небо имеет для близоруких далеко не тот вид, что для нормального глаза. Близорукий видит лишь звезды первых трех-четырех величин; следовательно, вместо нескольких тысяч звезд ему доступны всего несколько сотен. Зато эти немногие звезды кажутся ему крупными комьями света. Луна представляется близорукому огромной и очень близкой; полумесяц же принимает для него замысловатую, фантастическую форму.

Причина всех этих искажений и кажущегося увеличения размеров предметов кроется, конечно, в устройстве глаза близорукого. Близорукий глаз слишком глубок — настолько, что преломление его частей собирает лучи наружных предметов не на самой сетчатке, а несколько впереди нее. До сетчатки же, устилающей глазное дно, доходят пучки расходящихся лучей, которые дают здесь расплывчатые, размытые изображения.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

ЗВУК И СЛУХ

Как разыскивать эхо?

Никто его не видывал,
А слышать — всякий слыхивал,
Без тела, а живет оно,
Без языка — кричит.

Некрасов

Среди рассказов американского юмориста Марка Твена есть смешная выдумка о злоключениях коллекционера, возымевшего мысль составить себе коллекцию... чего бы вы думали? Эха! Чудак неутомимо скупал все те участки земли, где воспроизводились многократные или чем-либо иным замечательные эхо.

> «Прежде всего он купил эхо в штате Георгия, которое повторяло четыре раза, потом 6-кратное в Мэриленде, затем 13-кратное в Мэне. Следующей покупкой было 9-кратное эхо в Канзасе, дальнейшей — 12-кратное в Теннесси, дешево приобретенное, потому что нуждалось в ремонте: часть утеса обвалилась. Он думал, что его можно починить достройкой; но архитектор, который взялся за это дело, никогда еще не страивал эхо и потому испортил его вконец, — после обработки оно могло годиться разве лишь для приюта глухонемых...»

Это, конечно, шутка; однако замечательные многократные эхо существуют в различных, преимущественно горных, местностях земного шара, и некоторые издавна приобрели всесветную известность.

Перечислим несколько знаменитых эхо. В замке Вудсток в Англии эхо отчетливо повторяет 17 слогов.

Развалины замка Деренбург возле Гальберштадта давали 27-сложное эхо, которое, однако, умолкло с тех пор, как одна стена была взорвана. Скалы, раскинутые в форме круга возле Адерсбаха в Чехословакии, повторяют, в определенном месте, троекратно 7 слогов; но в нескольких шагах от этой точки даже звук выстрела не дает никакого эха. Весьма многократное эхо наблюдалось в одном (ныне несуществующем) замке близ Милана: выстрел, произведенный из окна

флигеля, повторялся эхом 40–50 раз, а громкое слово — раз 30.

Не так просто отыскать место, где эхо отчетливо слышно и один раз. У нас, в Союзе, впрочем, найти подобные места сравнительно легко. Есть много равнин, окруженных лесами, много полян в лесах; стоит громко крикнуть на такой поляне, чтобы от стены леса донеслось более или менее отчетливое эхо.

В горах эхо бывает разнообразнее, чем на равнинах, зато встречается гораздо реже. Услышать эхо в горной местности труднее, чем на окаймленной лесом равнине.

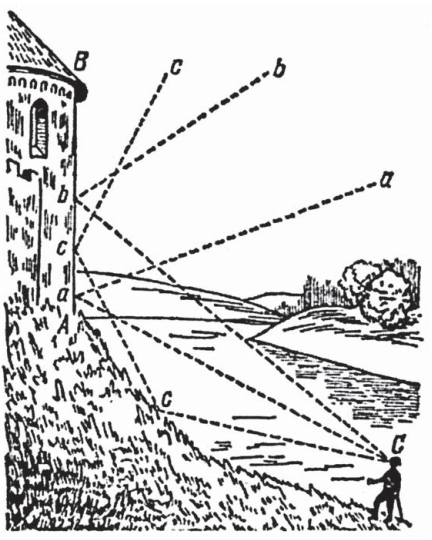


Рис. 150. Эхо отсутствует

Теперь вообразите, что вы находитесь у подножия горы (рис. 150), а препятствие, которое должно отразить звук, помещается выше вас, например в *AB*. Легко видеть, что звуковые волны, распространяющиеся по линиям *Ca*, *Cb*, *Cc*, отразившись, не достигнут вашего уха, а рассеются в пространстве по направлениям *aa*, *bb*, *cc*.

Другое дело, если вы поместитесь на уровне препятствия или даже чуть выше его (рис. 151). Звук, идущий вниз по направлениям *Ca*, *Cb*, возвратится к вам по ломаным линиям *CaaC* или *CbbC*,

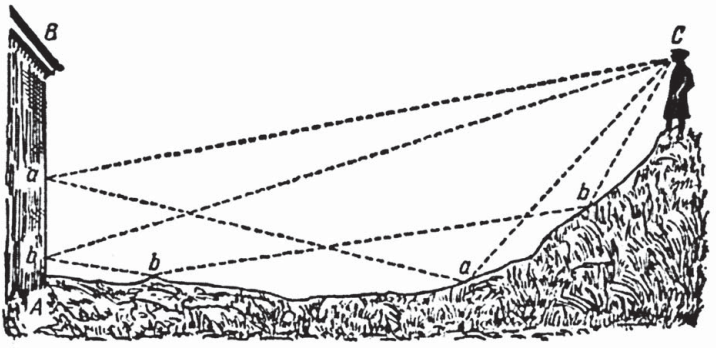


Рис. 151. Отчетливое эхо

отразившись от почвы один или два раза. Углубление почвы между обоими пунктами еще более способствует отчетливости эха, действуя как вогнутое зеркало. Напротив, если почва между точками *C* и *B* выпукла, эхо будет слабое и даже совсем не достигнет вашего уха: такая поверхность рассеивает лучи звука, как выпуклое зеркало.

Разыскивание эхо на неровной местности требует известной сноровки. Даже найдя благоприятное место, надо еще уметь эхо вызвать. Прежде всего не следует помещаться чересчур близко к препятствию: надо, чтобы звук прошел достаточно длинный путь, иначе эхо вернется слишком рано и сольется с самим звуком. Зная, что звук проходит 340 м/с, легко понять, что, поместившись на расстоянии 85 м от препятствия, мы должны услышать эхо через полсекунды после звука.

Хотя эхо родит «на всякий звук свой отклик в воздухе пустом», но не на все звуки откликается оно одинаково отчетливо. Эхо не одинаково, «ревет ли зверь в лесу глухом, трубит ли рог, гремит ли гром, поет ли дева за холмом». Чем резче, отрывистее звук, тем эхо отчетливее. Лучше всего вызвать эхо хлопаньем в ладоши. Звук человеческого голоса для этого менее пригоден, особенно голос мужчины; высокие тона женских и детских голосов дают более отчетливое эхо.

Звук вместо мерной ленты

Знанием скорости распространения звука в воздухе можно иной раз пользоваться для измерения расстояния до недоступного предмета. Такой случай описан Жюлем Верном в романе «Путешествие к центру Земли». Во время подземных странствий два путешественника — профессор и его племянник — потеряли друг друга. Когда наконец им удалось издали обменяться голосами, между ними произошел такой разговор:

«— Дядя! — крикнул я (рассказ ведет племянник. — *Я. П.*).
— Что, дитя мое? — услышал я спустя некоторое время.
— Прежде всего как далеко мы друг от друга?
— Это не трудно узнать.
— Ваш хронометр цел?
— Да.
— Возьмите его в руки. Произнесите мое имя и точно заметьте секунду, когда начнете говорить. Я повторю имя, как только звук дойдет до меня, и вы тоже заметьте момент, когда до вас дойдет мой ответ.

— Хорошо. Тогда половина времени, прошедшего между сигналами и ответом, покажет, сколько секунд употребляет звук, чтобы дойти до тебя. Ты готов?

— Да.

— Внимание! Я произношу твое имя.

Я приложил ухо к стене. Как только слово „Аксель“ (имя рассказчика. — *Я. П.*) достигло моего слуха, я немедленно повторил его и стал ждать.

— Сорок секунд, — сказал дядя, — следовательно, звук дошел до меня в двадцать секунд. А так как звук проходит в секунду одну треть километра, то это отвечает расстоянию почти в семь километров».

Если вы хорошо поняли то, что рассказано в этом отрывке, вам легко будет самостоятельно решить такую задачу: я услышал свисток отдаленного паровоза спустя полторы секунды после того, как заметил белый дымок, которым был вызван этот звук; на каком расстоянии я находился от паровоза?

Звуковые зеркала

Стена леса, высокий забор, строение, гора — всякая вообще преграда, отражающая эхо, есть не что иное, как зеркало для звука; она отражает звук так же, как плоское *зеркало* отражает свет.

Звуковые зеркала бывают не только плоские, но и кривые. Вогнутое звуковое зеркало действует как рефлектор — сосредоточивает звуковые лучи в своем фокусе.

Две глубокие тарелки дают возможность проделать любопытный опыт этого рода. Поставьте одну тарелку на стол и в нескольких сантиметрах от ее дна держите карманные часы. Другую тарелку держите у головы, близ уха, как изображено на рис. 152. Если положение часов, уха и тарелок найдено правильно (это удается после ряда проб), вы услышите тиканье часов, словно исходящее от той тарелки, которую вы держите у головы. Иллюзия усиливается, если закрыть глаза: тогда положительно нельзя определить по слуху, в какой руке часы — в правой или в левой.



Рис. 152. Звуковые вогнутые зеркала

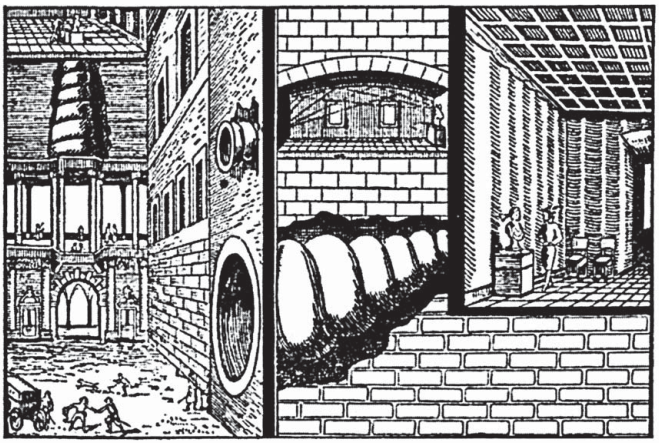


Рис. 153. Звуковые диковинки в древнем замке — говорящие бюсты (из книги Афанасия Кирхера, 1560 г.)

Строители средневековых замков нередко создавали такие звуковые курьезы, помещая бюсты либо в фокусе вогнутого звукового зеркала, либо у конца говорной трубы, искусно скрытой в стене. На рис. 153, заимствованном из старинной книги XVI века, можно видеть эти хитроумные приспособления: потолок в форме свода направляет к губам бюста звуки, приносимые извне говорной трубой; огромные говорные трубы, замурованные в здании, приносят разнообразные звуки со двора к каменным бюстам, размещенным у стен одной из зал, и т. п. Посетителю такой галереи казалось, что мраморные бюсты шепчут, напевают и т. п.

Звуки в театральном зале

Кто много раз посещал различные театры и концертные залы, тому хорошо известно, что в смысле слышимости залы бывают с хорошей акустикой и с плохой акустикой: в одних помещениях голоса артистов и звуки музыкальных инструментов внятно слышны на далеком расстоянии, в других — звуки даже вблизи воспринимаются неотчетливо. Причина этого явления очень хорошо изложена в книге американского физика Р. Вуда «Звуковые волны и их применения»*.

* Эта превосходная книга вышла в 1934 г. в русском переводе.

«Любой звук, произведенный в здании, довольно долго раздается по окончании звучания источника; вследствие многократных отражений он несколько раз обходит кругом здания, — а тем временем раздаются другие звуки, и слушатель часто не в состоянии уловить их в надлежащем порядке и в них разобраться. Так, например, если звук длится 3 секунды и оратор говорит со скоростью трех слогов в секунду, то звуковые волны, соответствующие 9 слогам, будут двигаться по комнате все вместе и создадут полную неразбериху и шум, из-за которого слушатель не сможет понимать оратора.

Оказавшемуся в таких условиях оратору остается говорить очень разборчиво и не слишком громко. Но обычно ораторы, как раз наоборот, стараются говорить громко и этим только усиливают шум».

Еще не так давно сооружение театра с хорошей акустикой считалось делом счастливой случайности. В настоящее время найдены приемы успешной борьбы с нежелательной длительностью звука (называемой «реверберацией»), которая портит слышимость. В этой книге не место входить в подробности, интересные только для архитекторов. Отмечу лишь, что борьба с плохой акустикой состоит в создании поверхностей, поглощающих излишние звуки. Самым лучшим поглотителем звука является открытое окно (как лучшим поглотителем света служит отверстие); квадратный метр открытого окна принят даже за единицу, которой измеряется поглощение звука. Очень хорошо — хотя и вдвое хуже, нежели открытое окно, — поглощают звуки сами посетители театра: каждый человек равнозначен в этом отношении примерно половине квадратного метра открытого окна. И если правильно замечание одного физика, что «аудитория поглощает речь оратора в самом прямом смысле слова», то не менее верно, что пустой зал неприятен для оратора также в непосредственном смысле слова.

Если поглощение звука *слишком* велико, это также создает ухудшенную слышимость. Во-первых, чрезмерное поглощение приглушает звуки, во-вторых, уменьшает реверберацию до такой степени, что звуки слышатся как бы оборванными и производят впечатление некоторой сухости. Поэтому если следует избегать слишком длительной реверберации, то и слишком короткая реверберация также нежелательна. Наилучшая величина реверберации для различных залов не одинакова и должна быть установлена при проектировании каждого зала.

В театре имеется и другой предмет, интересный с точки зрения физики, — суфлерская будка. Обратили ли вы внимание на то, что

во всех театрах она имеет одну и ту же форму? Это оттого, что суфлерская будка — своего рода физический прибор. Свод будки представляет собой вогнутое звуковое зеркало, имеющее двоякое назначение: задерживать звуковые волны, идущие из уст суфлера в сторону публики, а кроме того, отражать эти волны по направлению к сцене.

Эхо со дна моря

Долгое время человек не извлекал из эха никакой пользы, пока не придуман был способ измерять с помощью его глубину морей и океанов. Изобретение это зародилось случайно. В 1912 году затонул почти со всеми пассажирами огромный океанский пароход «Титаник», — затонул от случайного столкновения с большой льдиной. Чтобы предупредить подобные катастрофы, пытались в туман или в ночное время пользоваться эхом для обнаружения присутствия ледяной преграды впереди судна. Способ на практике себя не оправдал, зато натолкнул на другую мысль — измерять глубину морей с помощью отражения звука от морского дна. Мысль оказалась очень удачной.

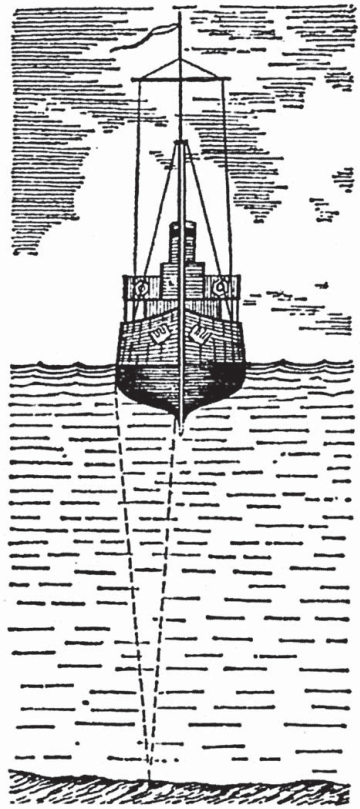


Рис. 154. Схема действия эхолота

На рис. 154 вы видите схему установки. У одного борта корабля помещается в трюме, близ днища, патрон, порождающий при зажигании резкий звук. Звуковые волны несутся сквозь водную толщу, достигают дна моря, отражаются и бегут обратно, неся с собой эхо. Оно улавливается чувствительным прибором, установленным, как и патрон, у днища корабля. Точные часы измеряют промежуток времени между возникновением звука и приходом эха. Зная

скорость звука в воде, легко вычислить расстояние до отражающей преграды, т. е. определить глубину моря или океана.

Эхолот, как назвали эту установку, совершил настоящий переворот в практике измерения морских глубин. Пользование глубомерами прежних систем возможно было лишь с неподвижного судна и требовало много времени. Лотлинь приходится спускать с колеса, на котором он намотан, довольно медленно (150 м в минуту); почти так же медленно производится и обратный подъем. Измерение глубины в 3 км этим способом отнимает $^3/_4$ часа. С помощью эхолота то же измерение можно произвести в несколько секунд, на полном ходу корабля, получая при этом результат, несравненно более надежный и точный. Ошибка в этих измерениях не превосходит четверти метра (для чего промежутки времени определяются с точностью до 3000-й доли секунды).

Если точное измерение больших глубин имеет важное значение для науки океанографии, то возможность быстро, надежно и точно определять глубину в мелких местах является существенным подспорьем в мореплавании, обеспечивая его безопасность: благодаря эхолоту судно может смело и быстрым ходом приближаться к берегу.

В современных эхолотах применяются не обычные звуки, а чрезвычайно интенсивные «ультразвуки», неслышимые человеческим ухом, с частотой порядка нескольких миллионов колебаний в секунду. Такие звуки создаются колебаниями кварцевой пластинки (пьезокварца), помещенной в быстропеременное электрическое поле.

Жужжание насекомых

Почему насекомые часто издают жужжащие звуки? В большинстве случаев у них вовсе не имеется для этого никаких особых органов; жужжание, слышимое только при полете, обусловлено просто тем, что, летая, насекомые взмахивают крылышками несколько сотен раз в секунду. Крылышко — это колеблющаяся пластинка, а мы знаем, что всякая достаточно часто (чаще 16 раз в секунду) колеблющаяся пластинка порождает тон определенной высоты.

Теперь вы поймете, каким образом удалось узнать, сколько именно взмахов делает в секунду при полете то или иное насекомое. Для этого достаточно лишь определить по слуху высоту издаваемого на-

секомым тона, потому что каждому тону отвечает своя частота колебаний. С помощью «лупы времени» (глава первая) удалось установить, что частота взмахов крыльев у каждого насекомого почти неизменна; регулируя полет, насекомое изменяет лишь величину взмаха («амплитуду» колебаний) и наклон крыльев; число взмахов в секунду увеличивается лишь под влиянием холода. Вот почему и тон, издаваемый насекомым при полете, остается неизменным...

Найдено, например, что комнатная муха (издающая при полете тон *F*) делает в секунду 352 взмаха крылышками. Шмель взмахивает 220 раз в секунду. Пчела, издающая тон *A*, взмахивает крыльями 440 раз в секунду, когда она летит свободно, и всего 330 раз (тон *B*), когда летит нагруженная медом. Жуки, порождающие при полете более низкие тона, движут крыльями менее проворно. Напротив, комар делает крылышками 500–600 колебаний в секунду. Для сравнения заметим, что пропеллер самолета делает в среднем около 25 оборотов в секунду.

Слуховые обманы

Если мы почему-либо вообразили, что источник легкого шума находится не вблизи нас, а значительно дальше, то звук покажется нам *гораздо громче*. Подобные иллюзии слуха случаются с нами довольно часто; мы только не всегда обращаем на них внимание.

Вот любопытный случай, который описал в своей «Психологии» американский ученый Вильям Джемс:

> «Однажды поздно ночью я сидел и читал; вдруг из верхней части дома раздался страшный шум, прекратился и затем, через минуту, снова возобновился. Я вышел в зал, чтобы прислушаться к шуму, но он там не повторился. Как только я успел вернуться к себе в комнату и сесть за книгу, снова поднялся тревожный, сильный шум, точно перед началом бури. Он доносился отовсюду. Крайне встревоженный, я снова вышел в зал, и снова шум прекратился.
>
> Вернувшись во второй раз к себе в комнату, я вдруг открыл, что шум производила своим храпом маленькая собачка, спавшая на полу!..
>
> При этом любопытно то, что, раз обнаружив истинную причину шума, я уже не мог, несмотря на все усилия, возобновить прежнюю иллюзию».

Вероятно, читатель сможет припомнить подобные же примеры из своей жизни. Мне случалось наблюдать их неоднократно.

Где стрекочет кузнечик?

Очень часто мы ошибочно определяем не расстояние, а направление, в каком находится звучащий предмет.

Уши наши довольно хорошо различают, раздался ли звук выстрела справа или слева от нас (рис. 155). Но они зачастую бессильны определить положение источника звука, если он находится прямо впереди или позади нас (рис. 156): выстрел, произведенный впереди, нередко слышится как донесшийся сзади.

Мы способны в таких случаях отличать лишь — по силе звука — отдаленный выстрел от близкого.

Вот опыт, который может нас многому научить. Посадите кого-нибудь посреди комнаты с завязанными глазами и попросите его сидеть спокойно, не поворачивая головы. Затем, взяв в руки две монеты, ударяйте ими одну о другую, оставаясь все время в той отвесной плоскости, которая рассекает голову вашего гостя пополам, между его глазами. Пусть испытуемый попробует угадать место, где щелкнули монеты. Результат получается прямо невероятный: звук произведен в одном углу комнаты, а испытуемый указывает на совершенно противоположную точку!

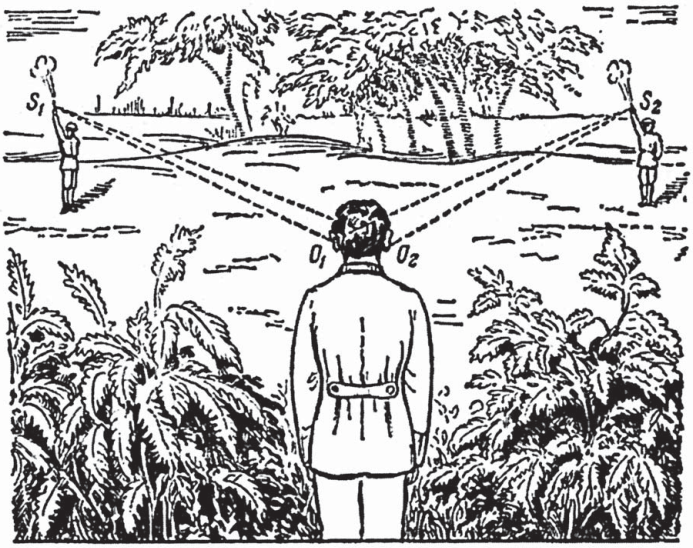


Рис. 155. Где произведен выстрел: справа или слева?



Рис. 156. Где произведен выстрел?

Если вы отойдете от упомянутой плоскости симметрии головы в сторону, ошибки будут уже не так грубы. Это и понятно: теперь звук в ближайшем ухе вашего гостя слышен немного раньше и громче; благодаря этому испытуемый может определить, откуда исходит звук.

Этот опыт объясняет, между прочим, почему так трудно заметить стрекочущего в траве кузнечика. Резкий звук раздается в двух шагах от вас, справа от дорожки. Вы смотрите туда, но ничего не видите; звук доносится уже слева. Поворачиваете голову туда, но звук уже доносится из какого-нибудь третьего места. Чем быстрее поворачиваетесь вы в сторону стрекочущего звука, тем проворнее совершаются эти прыжки невидимого музыканта. На самом деле, однако, насекомое сидит на одном месте; его изумительные прыжки — плод вашего воображения, следствие обмана слуха. Ошибка ваша в том, что вы поворачиваете голову, помещая ее при этом как раз так, что кузнечик находится в плоскости симметрии вашей головы. При этом условии, как мы знаем, легко ошибиться в направлении звука: стрекотание кузнечика раздается впереди вас, но вы по ошибке относите его в противоположную сторону.

Отсюда практический вывод: если хотите определить, откуда доносится звук кузнечика, пение кукушки и тому подобные отдаленные звуки, не поворачивайте лица на звук, а, напротив, отворачивайте его в сторону. Впрочем, мы это и делаем, когда, как говорится, «настораживаемся».

Курьезы слуха

Когда мы грызем твердый сухарь, мы слышим оглушительный шум, между тем как наши соседи едят те же сухари без заметного шума. Как ухитряются они избегать этого грохота?

Дело в том, что шум и грохот существуют лишь в наших ушах и мало беспокоят уши наших соседей. Кости черепа, как и вообще

твердые, упругие тела, очень хорошо проводят звуки, а звук в плотной среде усиливается иногда до чрезвычайных размеров. Доходя до уха *через воздух*, треск сухаря воспринимается как легкий шум; но тот же треск превращается в грохот, если доходит до слухового нерва через твердые кости черепа. Вот еще опыт из той же области: зажмите между зубами колечко карманных часов и плотно закройте уши пальцами — вы услышите тяжелые удары, так усилится тиканье часов.

Бетховен, оглохнув, слушал, говорят, игру на рояле, приставив к нему одним концом свою трость, другой конец которой он держал у зубов. Точно так же те глухие, у которых уцелело внутреннее ухо, могут танцевать под музыку: звуки достигают их слуховых нервов через пол и кости.

«Чудеса чревовещания»

Столь поражающие нас «чудеса», совершаемые чревовещателями, основаны на тех же особенностях слуха, о которых мы сейчас беседовали.

«Если кто-нибудь ходит по гребню крыши, — пишет проф. Гампсон, — то голос его внутри дома производит впечатление слабого шепота. По мере того как он удаляется к краю здания, шепот все слабеет. Если мы сидим в какой-нибудь комнате дома, то наше ухо ничего не может нам сказать относительно направления звука и расстояния говорящего лица. Но по изменению голоса наш разум выведет заключение, что говорящее лицо удаляется от нас. Если же самый голос скажет нам, что обладатель его движется по крыше, то мы легко поверим этому заявлению. Если бы наконец кто-либо стал разговаривать с этим лицом, будто бы находящимся снаружи, и получал осмысленные ответы, то иллюзия получалась бы полная.

Таковы условия, при которых действует чревовещатель. Когда очередь говорить доходит до человека на крыше, чревовещатель слабо бормочет, когда же очередь доходит до него, он говорит полным, чистым голосом, чтобы оттенить контраст с другим голосом. Содержание его замечаний и ответов его мнимого собеседника усиливает иллюзию. Единственным слабым пунктом в этом обмане могло бы оказаться то обстоятельство, что мнимый голос лица, находящегося снаружи, фактически исходит от человека на сцене, т. е. имеет ложное направление.

Следует еще заметить, что название *чревовещатель* является неподходящим. Чревовещатель должен скрывать от своих слушателей тот

факт, что, когда очередь доходит до мнимого партнера, он в действительности говорит сам. Для этой цели он пользуется различными уловками. При помощи всякого рода жестов он старается отвлечь внимание слушателей от себя. Склоняясь набок и держа руку у уха, как будто прислушиваясь, он стремится по возможности спрятать свои губы. Когда он не может спрятать своего лица, то старается делать лишь самые необходимые движения губами. Этому помогает то обстоятельство, что часто требуется лишь неясный, слабый шепот. Движения губ скрываются так хорошо, что некоторые люди думают, будто голос артиста выходит откуда-то из глубины его тела, — отсюда название: чревовещатель».

Итак, мнимые чудеса чревовещания всецело основаны лишь на том, что мы не в состоянии в точности определять ни направление звука, ни расстояние до звучащего тела. В обычной обстановке мы достигаем этого лишь приблизительно; но достаточно поставить нас в не совсем обычные условия восприятия звука — и мы уже поддаемся самым грубым ошибкам в определении источника звука. Наблюдая сам чревовещателя, я не мог преодолеть иллюзии, хотя хорошо понимал, в чем здесь дело.

Занимательная физика

Книга вторая



ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ АВТОРА К ТРИНАДЦАТОМУ ИЗДАНИЮ

Эта книга представляет собой самостоятельный сборник, не являющийся прямым продолжением *первой* книги «Занимательной физики».

Успех первого сборника побудил автора обработать остальной накопившийся у него материал, и таким образом составилась эта *вторая* или, вернее, *другая* книга, охватывающая те же отделы физики.

В предлагаемой книге, как и в первой, составитель стремится не столько сообщить новые знания, сколько оживить и освежить те простейшие сведения по физике, которые у читателя уже имеются. Цель книги — возбудить деятельность научного воображения, приучить мыслить в духе физики и развить привычку к разностороннему применению своих знаний. Поэтому в «Занимательной физике» отводится описанию эффектных опытов второстепенное место; на первый же план выдвигаются физические головоломки, интересные задачи, поучительные парадоксы, замысловатые вопросы, неожиданные сопоставления из области физических явлений и т. п. В поисках такого материала составитель обращается к кругу явлений обиходной жизни, к области техники, к природе, к страницам научно-фантастических романов — словом, ко всему, что, находясь за пределами учебника и физического кабинета, способно привлечь внимание любознательного читателя.

Предназначая книгу не для изучения, а для чтения, составитель старался, насколько умел, придать изложению и внешне интересную форму, исходя из того, что интерес к предмету повышает внимание, усиливает работу мысли и, следовательно, способствует более сознательному усвоению.

Для оживления интереса к физическим расчетам в некоторые статьи этого сборника введен вычислительный материал (чего в первой книге почти не делалось).

В общем, настоящий сборник по подбору материала предназначается для несколько более подготовленного читателя, нежели первая книга «Занимательной физики», хотя различие в этом отношении между обеими книгами настолько незначительно, что их можно читать в любой последовательности и независимо одну от другой.

Для настоящего издания в книгу введен ряд новых статей и рисунков.

Третьей книги «Занимательной физики» не существует. Взамен ее автором составлены следующие книги:

«Занимательная механика»,
«Знаете ли вы физику?»

и, кроме того, отдельная книга, посвященная вопросам астрономии: *«Занимательная астрономия»*.

Я. Перельман
1936

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ МЕХАНИКИ

Самый дешевый способ путешествовать

Остроумный французский писатель XVII века Сирано де Бержерак в своей сатирической «Истории государств на Луне» (1652 г.) рассказывает между прочим о таком будто бы произошедшем с ним удивительном случае. Занимаясь физическими опытами, он однажды непостижимым образом был поднят вместе со своими склянками высоко в воздух. Когда же через несколько часов ему удалось спуститься вновь на землю, то, к изумлению, очутился он уже не в родной Франции и даже не в Европе, а на материке Северной Америки, в Канаде! Свой неожиданный перелет через Атлантический океан французский писатель, однако, находит вполне естественным. Он объясняет его тем, что, пока невольный путешественник был отделен от земной поверхности, планета наша продолжала по-прежнему вращаться на восток; вот почему, когда он опустился, под ногами его вместо Франции оказался уже материк Америки...

Казалось бы, какой дешевый и простой способ путешествовать! Стоит только подняться над Землей и продержаться в воздухе хотя бы несколько минут, чтобы опуститься уже совершенно в другом месте, далеко к западу. Вместо того чтобы предпринимать утомительные путешествия через материки и океаны, можно неподвижно висеть над Землей и выжидать, пока она сама подставит путнику место назначения.

К сожалению, удивительный способ этот не более как фантазия. Во-первых, поднявшись в воздух, мы, в сущности, не отделяемся еще от земного шара: мы остаемся связанными с его газообразной оболочкой, висим в его атмосфере, которая тоже ведь участвует во вращении Земли вокруг оси. Воздух — вернее, его нижние более плотные слои — вращается вместе с Землей, увлекая с собой все, что в нем находится: облака, аэропланы, всех летящих птиц, насекомых и т. д. Если бы воздух не участвовал во вращении земного шара, то, стоя на

земле, мы постоянно чувствовали бы сильнейший ветер, по сравнению с которым самый страшный ураган должен считаться нежным дуновением*. Ведь совершенно безразлично: стоим ли мы на месте, а воздух движется мимо нас, или же, наоборот, воздух неподвижен, а мы перемещаемся в нем; в обоих случаях мы ощущаем одинаково сильный ветер. Автомобилист, мчащийся со скоростью 100 км/ч, чувствует сильнейший встречный ветер даже в совершенно тихую погоду.

Это во-первых. Во-вторых, если бы даже мы могли подняться в высшие слои атмосферы или если бы Земля вовсе не была окружена воздухом, нам и тогда не удалось бы воспользоваться тем дешевым способом путешествовать, о котором фантазировал французский сатирик. В самом деле, отделяясь от поверхности вращающейся Земли, мы *продолжаем по инерции двигаться с прежней скоростью*, то есть с тою же, с какой перемещается под нами Земля. Когда же мы снова опускаемся вниз, мы оказываемся в том самом месте, от которого раньше отделились, подобно тому как, подпрыгнув в вагоне движущегося поезда, мы опускаемся на прежнее место. Правда, мы будем двигаться по инерции прямолинейно (по касательной), а место под нами — по дуге; но для небольших промежутков времени это почти не меняет дела.

«Земля, остановись!»

У известного английского писателя Герберта Уэллса есть фантастический рассказ о том, как некий конторщик творил чудеса. Весьма недалекий молодой человек оказался волею судьбы обладателем удивительного дара: стоило ему высказать какое-нибудь пожелание — и оно немедленно же исполнялось. Однако заманчивый дар, как оказалось, не принес ни его обладателю, ни другим людям ничего, кроме неприятностей. Для нас поучителен конец этой истории.

После затянувшейся ночной попойки конторщик-чудодей, опасаясь явиться домой на рассвете, вздумал воспользоваться своим даром, чтобы продлить ночь. Как это сделать? Надо приказать светилам неба приостановить свой бег. Конторщик не сразу решился на такой необычайный подвиг, и когда приятель посоветовал ему остановить Луну, он, внимательно поглядев на нее, сказал в раздумье:

* Скорость урагана — 40 м/с — 144 км/ч. Земной же шар на широте, например, Ленинграда проносил бы нас через воздух со скоростью 230 м/с — 828 км/ч!

«— Мне кажется, она слишком далека для этого... Как вы полагаете?

— Но почему же не попробовать? — настаивал Мейдиг (так звали приятеля. — *Я. П.*). — Она, конечно, не остановится, вы только прекратите вращение Земли. Надеюсь, это никому не повредит!

— Гм, — сказал Фотерингей (конторщик. — *Я. П.*). — Хорошо, попробую. Ну...

Он стал в повелительную позу, простер руки над миром и торжественно произнес:

— Земля, остановись! Перестань вращаться!

Не успел он договорить этих слов, как приятели уже летели в пространство со скоростью нескольких дюжин миль в минуту.

Несмотря на это, он продолжал думать. Меньше чем в секунду он успел и подумать, и высказать про себя следующее пожелание:

— Что бы ни случилось, пусть я буду жив и невредим!

Нельзя не признать, что желание это было высказано вовремя. Еще несколько секунд — и он упал на какую-то свежевзрытую землю, а вокруг него, не принося ему никакого вреда, неслись камни, обломки зданий, металлические предметы разного рода; летела и какая-то несчастная корова, разбившаяся при ударе о землю. Ветер дул со страшной силой; он не мог бы даже приподнять голову, чтобы оглянуться вокруг.

— Непостижимо! — воскликнул он прерывающимся голосом. — Что случилось? Буря, что ли? Должно быть, я что-нибудь не так сделал!

Осмотревшись, насколько позволял ему ветер и развевавшиеся фалды пиджака, он продолжал:

— На небе-то, кажется, все в порядке. Вот и луна. Ну а все остальное... Где же город? Где дома и улицы? Откуда взялся ветер? Я не приказывал быть ветру.

Фотерингей попробовал встать на ноги, но это оказалось совершенно невозможным, и потому он подвигался вперед на четвереньках, придерживаясь за камни и выступы почвы. Идти, впрочем, было некуда, так как, насколько можно было видеть из-под фалд пиджака, закинутых ветром на голову пресмыкающегося чудодея, все кругом представляло собою одну картину разрушения.

„Что-то такое во Вселенной серьезно испортилось, — подумал он, — а что именно — неизвестно“.

Действительно, испортилось. Ни домов, ни деревьев, ни каких-либо живых существ — ничего не было видно. Только бесформенные развалины да разнородные обломки валялись кругом, едва видные среди целого урагана пыли.

Виновник всего этого не понимал, конечно, в чем дело. А между тем оно объяснялось очень просто. Остановив Землю сразу, Фотерингей не подумал об инерции, а между тем она при внезапной остановке кругового движения неминуемо должна была сбросить с поверхности Земли все на ней находящееся. Вот почему дома, люди, деревья, животные — вооб-

ще все, что только не было неразрывно связано с главной массой земного шара, полетело по касательной к его поверхности со скоростью пули. А затем все это вновь падало на землю, разбиваясь вдребезги.

Фотерингей понял, что чудо, им совершенное, не особенно удачно. А потому им овладело глубокое отвращение ко всяким чудесам, и он дал себе слово не творить их больше. Но прежде нужно было поправить беду, которую он наделал. Беда эта оказалась немалою. Буря свирепела, облака пыли закрыли луну, и вдали слышен был шум приближающейся воды; Фотерингей видел даже при свете молнии целую водяную стену, со страшной скоростью подвигавшуюся к тому месту, на котором он лежал.

Он стал решительным.

— Стой! — вскричал он, обращаясь к воде. — Ни шагу далее!

Затем повторил то же распоряжение грому, молнии и ветру.

Все затихло.

Присев на корточки, он задумался.

„Как бы это опять не наделать какой-нибудь кутерьмы“, — подумал он и затем сказал:

— Во-первых, когда исполнится все, что я сейчас прикажу, пусть я потеряю способность творить чудеса и буду таким же, как обыкновенные люди. Не надо чудес. Слишком опасная игрушка. А во-вторых, пусть все будет по-старому: тот же город, те же люди, такие же дома и я сам такой же, каким был тогда».

Письмо с аэроплана

Вообразите, что вы находитесь на аэроплане, который быстро несется над землей. Внизу — знакомые места. Сейчас вы пролетите над домом, где живет ваш приятель. «Хорошо бы послать ему весточку», — мелькает у вас в уме. Быстро пишете вы несколько слов на листке записной книжки, привязываете записку к камню и, выждав момент, когда дом оказывается как раз под вами, выпускаете из рук камень.

Вы в полной уверенности, конечно, что камень упадет в саду дома. Однако он падает вовсе не туда, хотя сад и дом расположены прямо под вами!

Следя за его падением с аэроплана, вы увидели бы странное явление: камень опускается вниз, но в то же время *продолжает оставаться под аэропланом*, словно скользя по привязанной к нему невидимой нити. И когда камень достигнет земли, он будет находиться далеко впереди того места, которое вы наметили.

Здесь проявляется тот же закон инерции, который мешает воспользоваться соблазнительным советом путешествовать по способу Бержерака. Пока камень был в самолете, он несся вместе с машиной. Вы бросили его — но, отделившись от аэроплана и падая вниз, камень не утрачивает своей первоначальной скорости, а, падая, продолжает в то же время совершать движение в воздухе в прежнем направлении. Оба движения, отвесное и горизонтальное, складываются — и в результате камень летит вниз по кривой линии, оставаясь все время под аэропланом (если только, конечно, сам аэроплан внезапно не изменит направления или скорости полета). Камень летит, в сущности, так же, как летит горизонтально брошенное тело — например, пуля, выброшенная из горизонтально направленного ружья: тело описывает дугообразный путь, упирающийся в землю.

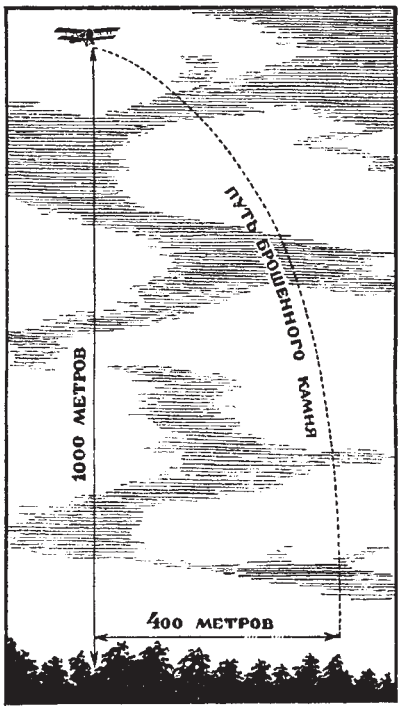


Рис. 1. Камень, брошенный с летящего аэроплана, падает не отвесно, а по кривой

Уклонение от отвесной линии может быть очень значительно, если аэроплан летит высоко и с большой скоростью. В безветренную погоду камень, брошенный с аэроплана, который на высоте 1000 м летит со скоростью 100 км/ч, падает метров на 400 впереди места, лежащего отвесно под аэропланом (рис. 1).

Расчет несложен. С высоты 1000 м камень должен падать (если пренебречь сопротивлением воздуха) в течение

$$\sqrt{\frac{2 \times 1000}{9{,}8}},\ \text{т. е. } 14\ \text{с}.$$

За это время он успеет переместиться в горизонтальном направлении на

$$\frac{100\,000}{3600} \times 14 = 390\ \text{м}.$$

Бомбометание

После сейчас сказанного становится ясным, как трудна задача военного летчика, которому поручено сбросить бомбу над определенным местом: ему приходится принимать в расчет и скорость аэроплана, и условия падения тяжелого тела в воздухе, и, кроме того, еще скорость ветра. На рис. 2 схематически представлены различные пути, описываемые сброшенной бомбой при тех или иных условиях. Если ветра нет, сброшенная бомба летит по кривой *AF*; почему так — мы объяснили выше. При попутном ветре бомба относится вперед и движется по кривой *AG*. При встречном ветре умеренной силы бомба падает по кривой *AD*, если ветер вверху и внизу одинаков; если же, как часто бывает, ветер внизу имеет направление, противоположное верхнему ветру (наверху — встречный, внизу — попутный), кривая падения изменяет свой вид и принимает форму линии *AE*.

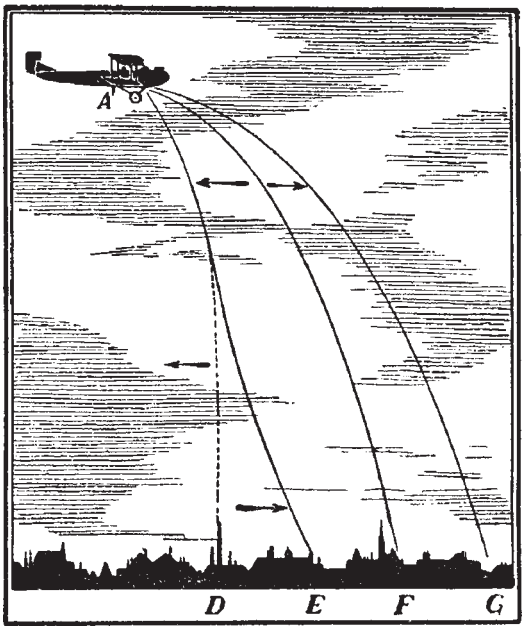


Рис. 2. Путь, по которому падают бомбы, сброшенные с аэроплана: *AF* — в безветренную погоду; *AG* — при попутном ветре; *AD* — при встречном ветре; *AE* — при ветре, встречном вверху и попутном внизу

Безостановочная железная дорога

Когда вы стоите на неподвижной платформе вокзала и мимо нее проносится курьерский поезд, то вскочить в вагон на ходу, конечно, мудрено. Но представьте, что платформа под вами тоже движется, притом с такою же скоростью и в ту же сторону, как и поезд. Трудно ли будет вам тогда войти в вагон?

Нисколько: вы войдете так же спокойно, как если бы вагон стоял неподвижно. Раз и вы, и поезд движетесь в одну сторону с одинаковой скоростью, то *по отношению к вам поезд находится в полном покое*. Правда, колеса его вращаются, но вам будет казаться, что они вертятся на месте. Строго говоря, и все те предметы, которые мы обычно считаем неподвижными, — например, поезд, стоящий у вокзала, — движутся вместе с нами вокруг оси земного шара и вокруг Солнца; однако на практике мы с этим движением нисколько не считаемся*.

Следовательно, вполне мыслимо устроить так, чтобы поезд, проходя мимо станций, принимал и высаживал пассажиров на полном ходу, не останавливаясь.

Приспособления такого рода нередко устраиваются на выставках, чтобы дать публике возможность быстро и удобно осматривать их достопримечательности, раскинутые на обширном пространстве. Крайние пункты выставочной площади, словно бесконечной лентой, соединяются железной дорогой; пассажиры могут в любой момент и в любом месте входить в вагоны и выходить из них на полном ходу поезда.

Это любопытное устройство показано на прилагаемых рисунках. На рис. 3 буквами *A* и *B* отмечены крайние станции. На каждой станции помещается круглая *неподвижная* площадка, окруженная большим *вращающимся* кольцеобразным диском. Вокруг вращающихся дисков обеих станций обходит канат, к которому прицеплены вагоны. Теперь последите, что происходит при вращении диска. Вагоны бегут вокруг дисков с такою же скоростью, с какою вращаются их внешние края; следовательно, пассажиры без малейшей опасности могут переходить с дисков в вагоны или, наоборот, покидать поезд. Выйдя из вагона, пассажир идет по вращающемуся диску к центру круга, пока не дойдет до *неподвижной* площадки; а перейти с внутреннего края подвижного диска на неподвижную площадку уже не-

* См. первую главу «Занимательной механики».

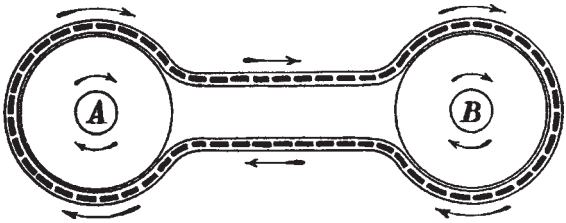


Рис. 3. Схема устройства безостановочной железной дорога между станциями *A* и *B*. Устройство станции показано на следующем рисунке

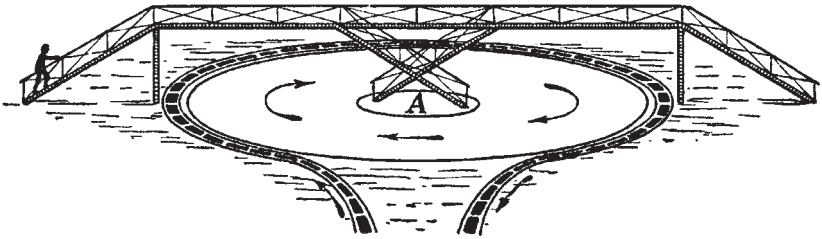


Рис. 4. Станция безостановочной железной дороги

трудно, так как здесь, при малом радиусе круга, весьма мала и окружная скорость*. Достигнув внутренней, неподвижной площадки, пассажиру остается лишь перебраться по мостику на землю вне железной дороги (рис. 4).

Отсутствие частых остановок дает огромный выигрыш во времени и затрате энергии. В городских трамваях, например, большая часть времени и почти две трети всей энергии тратятся на постепенное ускорение движения при отходе со станции и на замедление при остановках**.

На станциях железных дорог можно было бы обойтись даже без специальных подвижных платформ, чтобы принимать и высаживать пассажиров на полном ходу поезда. Вообразите, что мимо обыкновенной неподвижной станции проносится курьерский поезд; мы же-

* Легко понять, что точки внутреннего края движутся значительно медленнее, нежели точки наружного края, так как в одно и то же время описывают гораздо меньший круговой путь.

** Потеря энергии на торможение может быть избегнута, если при торможении переключать электромоторы вагона таким образом, чтобы они работали как динамомашины, возвращая ток в сеть. В Шарлоттенбурге (предместье Берлина) благодаря этому расход энергии на трамвайное движение удалось снизить на 30%.

лаем, чтобы он, не останавливаясь, принял здесь новых пассажиров. Пусть же эти пассажиры займут пока места в другом поезде, стоящем на запасном параллельном пути, и пусть этот поезд начнет двигаться вперед, развивая ту же скорость, что и курьерский. Когда оба поезда окажутся рядом, они будут словно неподвижны *один относительно другого*: достаточно перекинуть мостки, которые соединяли бы вагоны обоих поездов, — и пассажиры вспомогательного поезда смогут спокойно перейти в курьерский. Остановки на станциях сделаются, как видите, излишними.

«Такова теория. Осуществление этого проекта на практике, вероятно, очень хлопотливо; потому-то подобные приспособления нигде еще не устраивались», — писал я в предшествующих изданиях «Занимательной физики». Но с 1924 г. я мог уже добавить, что высказанный проект *осуществлен* в Америке, и именно в том самом виде, в каком он сейчас изложен: на железнодорожных станциях устраивается параллельный путь в 1–2 км длины, по которому ходят трамвайные вагоны, принимающие и высаживающие пассажиров курьерского поезда на полном ходу. Что в 1922 г. было только темой для изобретателей, то в 1924-м уже претворилось в жизнь. Поучительный факт для тех, кто в рассмотрении научных фантазий склонен видеть лишь бесплодную игру ума...

С этим проектом сходен другой, выдвинутый в 1936 г. в США: проект надземной дороги из двух смежных платформ, движущихся с различною скоростью. «Первая платформа, — сообщалось в газетах, — движется со скоростью до 20 км/ч и каждую минуту останавливается ровно на 10 с. Движение ее согласовано с движением второй платформы, которая представляет собой настоящий поезд с сидениями. Этот поезд-платформа движется со скоростью 26 км/ч, но время от времени замедляет ход и идет с той же скоростью, что и первая платформа. Когда скорость движения обеих платформ совпадает, пассажиры могут перейти с движущейся платформы на платформу-поезд, который затем ускоряет ход».

Предупреждение катастроф

Интересным примером использования закона относительного движения может служить запатентованное недавно на Западе приспособление, с помощью которого изобретатель надеется предотвращать столкновения автомобилей с поездами в местах скрещения шос-

се с железнодорожным полотном. У переездов устраивается особая въездная площадка, настил которой при приближении поезда начинает автоматически двигаться назад на роликах, подобно бесконечному ремню. Скорость движения настила превышает наибольшую скорость автомобиля, поэтому автомобиль, оказавшийся на такой движущейся площадке, будет отнесен ею назад, как бы ни была велика его скорость. После прохода поезда движение настила прекращается — и автомобиль беспрепятственно проносится через полотно.

Улицы будущего

На том же законе относительного движения основано и другое приспособление, применявшееся до сих пор только на выставках: так называемые движущиеся тротуары. Впервые они были осуществлены на выставке в Чикаго в 1893 г., затем на Парижской Всемирной выставке в 1900 г.

Вот чертеж такого устройства (рис. 5). Вы видите пять замкнутых полос-тротуаров, движущихся посредством особого механизма, одна внутри другой, с различной скоростью.

Самая крайняя полоса идет довольно медленно — со скоростью всего 5 км/ч; это обыкновенная скорость пешехода, и, понятно, вступить на такую медленно ползущую полосу нетрудно. Рядом с ней, внутри, бежит вторая полоса, со скоростью 10 км/ч. Вскочить на нее прямо с неподвижной улицы было бы опасно, но перейти на нее с первой полосы — ничего не стоит. В самом деле: по отношению к этой первой полосе, ползущей со скоростью 5 км/ч, *вторая*, бегущая

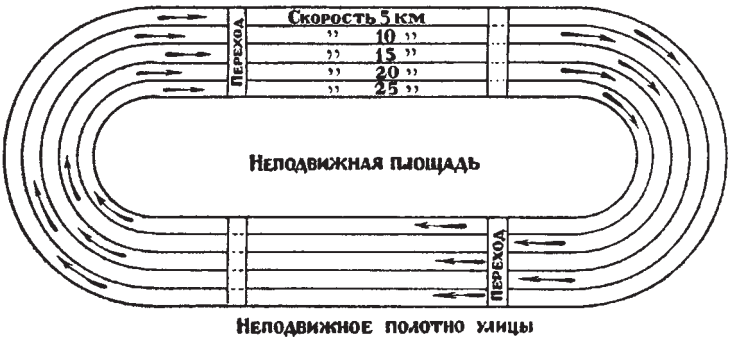


Рис. 5. Движущиеся тротуары

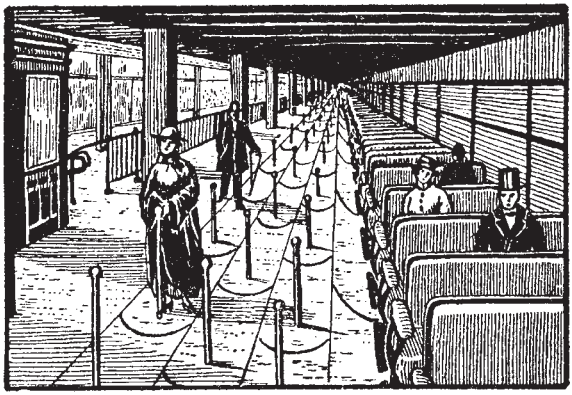


Рис. 6. Движущаяся улица-поезд под землей (Нью-Йорк). Прежде чем сесть в поезд, пассажиры проходят три движущиеся полосы, бегущие каждая немного быстрее предыдущей

с быстротой 10 км/ч, делает ведь всего только 5 км/ч; значит, перейти с первой на вторую столь же легко, как перейти с земли на первую. *Третья* полоса движется уже со скоростью 15 км/ч, но перейти на нее со *второй* полосы, конечно, нетрудно. Так же легко перейти с третьей полосы на следующую, *четвертую*, бегущую со скоростью 20 км/ч, и, наконец, с нее на *пятую*, мчащуюся уже со скоростью 25 км/ч. Эта пятая полоса доставляет пассажира до того пункта, который ему нужен; отсюда, последовательно переходя обратно с полосы на полосу, он высаживается на неподвижную землю.

Между прочим, подобная непрерывно движущаяся улица-поезд проектируется в Нью-Йорке, в подземном туннеле. Цель — избегнуть чрезмерного скопления пассажиров у станции дороги — вполне будет достигнута, так как можно садиться в поезд в любом месте пути, не дожидаясь остановки.

Подсчитано, что непрерывная дорога обойдется дешевле дорог обычного типа.

Непостижимый закон

Ни один из трех основных законов механики не вызывает, вероятно, столько недоумений, как знаменитый «третий закон Ньютона» — *закон действия и противодействия*. Все его знают, умеют даже в иных

случаях правильно применять — и однако мало кто верит в его истинность. Может быть, читатель, вам посчастливилось сразу понять его, но я, сознаюсь, вполне постиг его лишь десяток лет спустя после первого с ним знакомства.

Беседуя с разными лицами, имеющими отношение к механике, я не раз убеждался, что большинство готово признать правильность этого закона лишь с существенными оговорками. Охотно допускают, что он верен для тел неподвижных, но не постигают, как можно применять его к взаимодействию тел движущихся... Действие, гласит закон, всегда равно и противоположно противодействию. Это значит, что, если лошадь тянет телегу, телега тянет лошадь назад с такою же силою. Но ведь тогда телега должна оставаться на месте: почему же все-таки она движется? Почему эти силы не уравновешивают одна другую, если они равны?

Таковы обычные недоумения, связанные с этим законом. Значит, закон неверен? Нет, он, безусловно, верен; мы только неправильно понимаем его. Силы не уравновешивают друг друга просто потому, что приложены к *разным* телам: одна — к телеге, другая — к лошади. Силы равны, да, — но разве одинаковые силы всегда производят одинаковые действия? Разве равные силы сообщают всем телам равные скорости (ускорения)? Разве действие силы на тело не зависит от тела, от величины того сопротивления, которое само тело оказывает силе?

Если подумаете об этом, станет ясно, почему лошадь увлекает телегу, хотя телега тянет ее обратно с такой же силой. Сила, действующая на телегу, и сила, действующая на лошадь, в каждый момент равны; но так как телега свободно перемещается на колесах, а лошадь упирается в землю, то понятно, почему телега катится в сторону лошади. Подумайте и о том, что если бы телега не оказывала противодействия движущей силе лошади, то... можно было бы обойтись и без лошади: самая слабая сила должна была бы привести телегу в движение. Лошадь затем и нужна, чтобы преодолевать противодействие телеги.

Все это усваивалось бы лучше и порождало бы меньше недоумений, если бы закон высказывался не в обычной краткой форме: «действие равно противодействию», а, например, так: «сила противодействующая равна силе действующей». Ведь равны здесь только *силы* — действия же (если понимать, как обычно понимают, под «действием силы» перемещение тела) обыкновенно не бывают равны, потому что силы приложены к разным телам.

Точно так же, когда полярные льды сдавливали корпус «Челюскина», его борта давили на лед с равною силою. Катастрофа произошла оттого, что мощный лед оказался способным выдержать такой напор, не разрушаясь; корпус же судна, хотя и стальной, но не представляющий собою сплошного тела, поддался этой силе, был смят и раздавлен. (Подробнее о физических причинах гибели «Челюскина» рассказано далее, в отдельной статье, на с. 261–263.)

Даже падение тел строго подчиняется закону противодействия. Яблоко падает на землю оттого, что его притягивает земной шар; но *с точно такой же силой и яблоко притягивает к себе всю нашу планету.* Строго говоря, яблоко и Земля падают друг на друга, но скорость этого падения различна для яблока и для Земли. Равные силы взаимного притяжения сообщают яблоку ускорение в 10 м/с^2, а земному шару — во столько же раз меньшее, во сколько раз масса Земли превышает массу яблока. Конечно, масса земного шара в неимоверное число раз больше массы яблока, и потому Земля получает перемещение настолько ничтожное, что практически его можно считать равным нулю. Оттого-то мы и говорим, что яблоко падает на землю, вместо того чтобы сказать: «Яблоко и Земля падают друг на друга»*.

Отчего погиб Святогор-богатырь?

Помните народную былину о Святогоре-богатыре, который вздумал поднять Землю? Архимед, если верить преданию, тоже готов был совершить такой же подвиг и требовал точки опоры для своего рычага. Но Святогор был силен и без рычага. Он искал лишь, за что ухватиться, к чему приложить богатырские руки. «Как бы я тяги нашел, так бы всю Землю поднял!» Случай представился: богатырь нашел на земле «сумочку переметную», которая «не скрянется, не сворохнется, не подымется».

Слезает Святогор с добра коня,
Ухватил он сумочку обема рукама,
Поднял сумочку повыше колен:
И по колена Святогор в землю угряз,
А по белу лицу не слезы, а кровь течет.
Где Святогор угряз, тут и встать не мог.
Тут ему было и кончение.

* О законе противодействия см. первую главу «Занимательной механики».

Если бы Святогору был известен закон действия и противодействия, он сообразил бы, что раз он упирается ногами в землю, то богатырская сила его, приложенная к Земле, вызовет равную, а следовательно, столь же колоссальную противодействующую силу, которая может втянуть его самого в землю.

Во всяком случае, из былины видно, что народная наблюдательность давно подметила противодействие, оказываемое Землей, когда на нее опираются. Люди бессознательно применяли закон противодействия за тысячелетия до того, как Ньютон впервые провозгласил его в своей бессмертной книге «Математические основы натуральной философии» (то есть физики).

Можно ли двигаться без опоры?

При ходьбе мы отталкиваемся ногами от земли или от пола; по очень гладкому полу или по льду, от которого нога не может оттолкнуться, ходить нельзя. Паровоз при движении отталкивается «ведущими» колесами от рельсов: если рельсы смазать маслом, паровоз останется на месте. Пароход отталкивается от воды лопастями винта. Аэроплан отталкивается от воздуха также при помощи винта — пропеллера. Словом, в какой бы среде ни двигался предмет, он опирается о нее при своем перемещении. Но может ли тело начать двигаться, не имея *никакой опоры вне себя*?

Казалось бы, стремиться осуществить такое движение — все равно что пытаться самого себя поднять за волосы. Между тем именно такое будто бы невозможное движение часто происходит на наших глазах. Правда, тело не может привести себя *целиком* в движение одними внутренними силами, но оно может заставить некоторую *часть* своего вещества двигаться в одну сторону, остальную же — в противоположную. Сколько раз видели вы летящую ракету, а задумались ли над вопросом: почему она летит? В ракете мы имеем наглядный пример как раз того рода движения, которое нас сейчас интересует.

Почему взлетает ракета?

Даже среди людей, изучавших физику, случается нередко слышать совершенно превратное объяснение полета ракеты: она летит потому будто бы, что своими газами, образующимися при горении

в ней пороха, *отталкивается от воздуха*. Так думали в старину (ракеты — давнее изобретение), и это мнение разделяется большинством и теперь. Однако, если бы пустить ракету в безвоздушном пространстве, она полетела бы не хуже, а даже лучше, чем в воздухе. Истинная причина движения ракеты совершенно иная. Очень понятно и просто изложил ее революционер-первомартовец Кибальчич в предсмертной своей записке об изобретенной им летательной машине. Объясняя устройство боевых ракет, он писал:

> «В жестяной цилиндр, закрытый с одного основания и открытый с другого, вставляется плотно цилиндр из прессованного пороха, имеющий по оси пустоту в виде канала. Горение пороха начинается с поверхности этого канала и распространяется в течение определенного промежутка времени по наружной поверхности прессованного пороха; образующиеся при горении газы производят давление во все стороны; но боковые давления газов взаимно уравновешиваются, давление же на дно жестяной оболочки пороха, не уравновешенное противоположным давлением (так как в эту сторону газы имеют свободный выход), толкает ракету вперед по тому направлению, на котором она была установлена в станке до зажигания».

Здесь происходит то же, что и при выстреле из пушки: снаряд летит вперед, а сама пушка отталкивается назад. Вспомните «отдачу» ружья и всякого вообще огнестрельного оружия! Если бы пушка висела в воздухе, ни на что не опираясь, она после выстрела двигалась бы назад с некоторой скоростью, которая во столько же раз меньше скорости снаряда, во сколько раз снаряд легче самой пушки. В фантастическом романе Жюля Верна «Вверх дном» американцы задумали даже воспользоваться силой отдачи исполинской пушки для выполнения грандиозной затеи — «выпрямить земную ось».

Ракета — та же пушка, только извергает она не снаряды, а пороховые газы. По той же причине вертится и так называемое китайское колесо, которым, вероятно, случалось вам любоваться при устройстве фейерверков: при горении пороха в трубках, прикрепленных к колесу, газы вытекают в одну сторону, сами же трубки (а с ними и колесо) получают обратное движение. В сущности, это лишь видоизменение общеизвестного физического прибора — Сегнерова колеса.

Интересно отметить, что до изобретения парохода существовал проект механического судна, основанный на том же начале; запас воды на судне выпускался с помощью сильного нагнетательного насоса в кормовой части; вследствие этого корабль должен был двигаться вперед — как те плавучие жестянки, которые имеются для доказа-

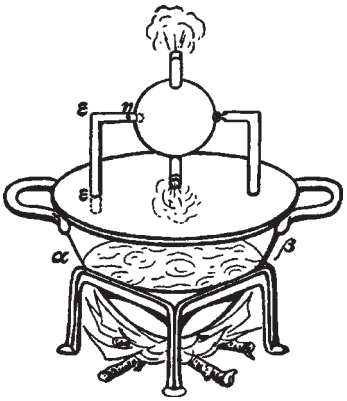


Рис. 7. Самая древняя паровая машина (турбина), приписываемая Герону Александрийскому (II век до н. э.)

тельства рассматриваемого принципа в школьных физических кабинетах. Проект этот (предложенный Ремзи) не был осуществлен, однако он сыграл известную роль в изобретении парохода, так как натолкнул Фультона на его идею.

Мы знаем также, что самая древняя паровая машина, изобретенная Героном Александрийским еще во II веке до н. э., была устроена по тому же принципу: пар из котла αβ (рис. 7) поступал по трубке εεη в шар, укрепленный на горизонтальной оси; вытекая затем из коленчато-изогнутых трубок, пар толкал эти трубки в обратном направлении, и шар начинал вращаться. К сожалению, Геронова паровая турбина в древности оставалась только любопытной игрушкой, так как дешевизна труда рабов никого не побуждала к практическому использованию машин. Но самый принцип не заброшен техникой: в наше время он применяется при устройстве реактивных турбин.

Ньютону — автору закона действия и противодействия — приписывают один из самых ранних проектов парового автомобиля, основанный на том же начале: пар из котла, поставленного на колеса, вырывается в одну сторону, а сам котел в силу отдачи катится в противоположную (рис. 8).

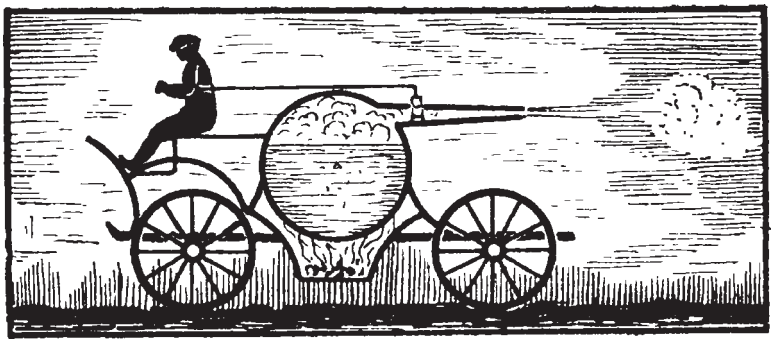


Рис. 8. Паровой автомобиль, приписываемый Ньютону

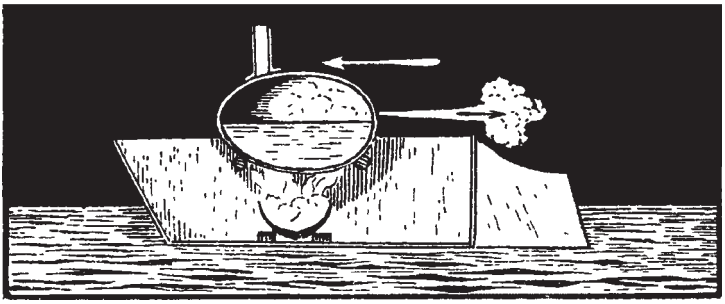


Рис. 9. Игрушечный пароходик из бумаги и яичной скорлупы. Топливом служит налитый в наперсток спирт. Пар, выбивающийся из отверстия «парового котла» (выдутое яйцо), заставляет пароходик плыть в противоположном направлении

Ракетные автомобили, об опытах с которыми в 1928 г. много писали в газетах и журналах, представляют собой современное видоизменение Ньютоновой повозки.

Для любителей мастерить приведен здесь рисунок бумажного пароходика, также очень похожего на ньютонову повозку: в паровом котле из опорожненного яйца, нагреваемом намоченной в спирте ваткой в наперстке, образуется пар; вырываясь струей в одну сторону, он заставляет весь пароходик двигаться в противоположную сторону. Для сооружения этой поучительной игрушки нужны, однако, очень искусные руки.

Подобный «реактивный» пароходик, изготовленный из алюминия искусным ленинградским физиком-конструктором Н. Г. Тимофеевым, можно было видеть в Павильоне занимательной науки (в ЦПКО* Ленинграда); под действием выбивающейся струйки пара пароходик проворно описывал по поверхности плоского водного бассейна большие круги в обратном направлении.

Как движется каракатица?

Вам странно будет услышать, что есть немало живых существ, для которых мнимое «поднятие самого себя за волосы» является обычным способом их перемещения в воде.

Каракатица и вообще большинство *головоногих моллюсков* движутся в воде таким образом: забирают воду в жаберную полость че-

* Центральный парк культуры и отдыха. — *Примеч. ред.*

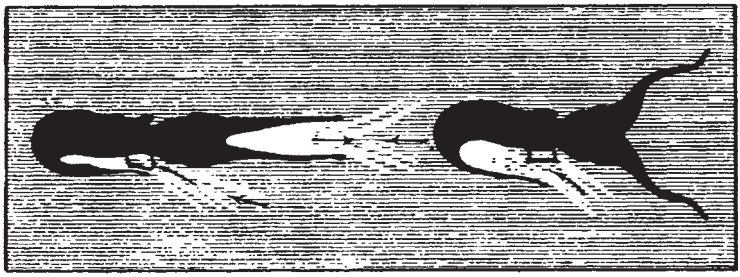


Рис. 10. Плавательное движение каракатицы

рез боковую щель и особую воронку впереди тела, а затем энергично выбрасывают струю воды через упомянутую воронку; при этом они — по закону противодействия — получают обратный толчок, достаточный для того, чтобы довольно быстро плавать задней стороной тела вперед. Каракатица может, впрочем, направить трубку воронки вбок или назад и, стремительно выдавливая из нее воду, двигаться в любом направлении.

На том же основано и движение *медузы*: сокращением мускулов она выталкивает из-под своего колоколообразного тела воду, получая толчок в обратном направлении. Сходным приемом пользуются при движении *сальпы*, личинки *стрекоз* и другие водные животные. А мы еще сомневались, можно ли так двигаться!

К звездам на ракете

Что может быть заманчивее, чем покинуть земной шар и путешествовать по необъятной Вселенной, перелетать с Земли на Луну, с планеты на планету? Сколько фантастических романов написано на эту тему! Кто только не увлекал нас в воображаемое путешествие по небесным светилам! Вольтер в «Микромегасе», Жюль Верн в «Путешествии на Луну» и «Гекторе Сервадаке», Уэллс в «Первых людях на Луне» и множество их подражателей совершали интереснейшие путешествия на небесные светила — конечно, в мечтах. В действительности же мы остаемся пока пленниками земного шара.

Неужели же нет возможности осуществить эту давнишнюю мечту? Неужели все остроумные проекты, с таким заманчивым правдоподобием изображенные в романах, на самом деле неисполнимы? В дальнейшем мы будем еще беседовать о фантастических проектах

межпланетных путешествий; теперь же познакомимся с реальным проектом подобных перелетов, впервые предложенным советским ученым К. Э. Циолковским.

Можно ли долететь до Луны на аэроплане? Конечно нет: аэропланы и дирижабли движутся только потому, что опираются о воздух, отталкиваются от него, — а между Землей и Луной воздуха нет. В мировом пространстве вообще нет никакой среды, на которую мог бы опереться «межпланетный дирижабль». Значит, надо придумать такой аппарат, который способен был бы двигаться и управляться, ни на что не опираясь.

Мы знакомы уже с подобным снарядом в виде игрушки — с ракетой. Отчего бы не устроить огромную ракету, с особым помещением для людей, съестных припасов, баллонов с воздухом и всем прочим? Вообразите, что люди в ракете везут с собой большой запас горючих веществ и могут направлять истечение взрывных газов в любую сторону. Вы получите настоящий управляемый небесный корабль, на котором можно плыть в океане мирового пространства, полететь на Луну, на планеты... Пассажиры смогут, управляя взрывами, увеличивать скорость этого межпланетного дирижабля с необходимой постепенностью, чтобы возрастание скорости было для них безвредно. При желании спуститься на какую-нибудь планету они смогут,

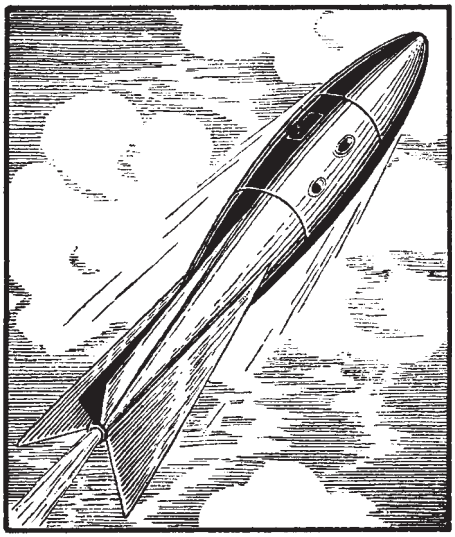


Рис. 11. Проект межпланетного дирижабля, устроенного наподобие ракеты

повернув свой корабль, постепенно уменьшить скорость снаряда и тем ослабить падение. Наконец, пассажиры смогут таким же способом возвратиться и на Землю.

Вопрос о заатмосферном летании, или «звездоплавании» по принципу ракеты, уже разработан теоретиками у нас (К. Э. Циолковский) и на Западе. Пока в этом направлении делаются только первые, весьма скромные шаги*. Но вспомним, как недавно еще делала свои первые робкие завоевания авиация. А сейчас — самолеты уже высоко реют в воздухе, перелетают горы, пустыни, материки, океаны; чудесная машина АНТ-25 совершает героический перелет по «Сталинскому маршруту». Может быть, и «звездоплаванию» предстоит такой же пышный расцвет через два-три десятка лет? Тогда человек разорвет невидимые цепи, так долго приковывавшие его к родной планете, и ринется в безграничный простор Вселенной. Кто видел поучительный советский фильм «Космический рейс», для того немного приоткрыт этот уголок заманчивого будущего.

В СССР успешно ведутся работы над созданием советского ракетного летательного аппарата, столь необходимого для овладения бесконечными просторами стратосферы и для обороны нашей великой социалистической родины.

---

* Подробнее о современном состоянии ракетной техники и звездоплавания читатели могут прочесть в моей книге «Межпланетные путешествия», а также в моих книгах «Ракетой на Луну», «К звездам на ракете», «Циолковский. Жизнь и технические идеи».

ГЛАВА ВТОРАЯ

СИЛА — РАБОТА — ТРЕНИЕ

Задача о лебеде, раке и щуке

История о том, как «лебедь, рак да щука везти с поклажей воз взялись», известна всем. Но едва ли кто пробовал рассматривать эту басню с точки зрения механики. Результат получается вовсе не похожий на вывод баснописца Крылова.

Перед нами механическая задача на сложение нескольких сил, действующих под углом одна к другой. Направление сил определено в басне так:

...Лебедь рвется в облака,
Рак пятится назад, а щука тянет в воду.

Это значит (рис. 12), что одна сила, тяга лебедя *(OA)*, направлена вверх; другая, тяга щуки *(OB)*, — вбок; третья, тяга рака *(OC)*, — назад. Не забудем, что существует еще четвертая сила — вес воза, — которая направлена отвесно вниз. Басня утверждает, что «воз и ныне там», другими словами, что равнодействующая всех приложенных к возу сил равна нулю.

Так ли это? Посмотрим. Лебедь, рвущийся к облакам, не мешает работе рака и щуки, даже помогает им: тяга лебедя, направленная против силы тяжести, уменьшает трение колес о землю и об оси, облегчая тем вес воза, а может быть, даже вполне уравновешивая его, — ведь груз невелик («поклажа бы для них казалась и легка»). Допустив для простоты последний случай, мы видим, что остаются только две силы: тяга рака и тяга щуки. О направлении этих сил говорится, что «рак пятится назад, а щука тянет в воду». Само собой разумеется, что вода находилась не впереди воза, а где-нибудь сбоку (не потопить же воз собрались крыловские труженики!). Значит, силы рака и щуки направлены под углом одна к другой; а если так, то равнодействующая их никак не может равняться нулю.

Поступая по правилам механики, строим на обеих силах *OB* и *OC* параллелограмм; диагональ его *OD* дает направление и величину

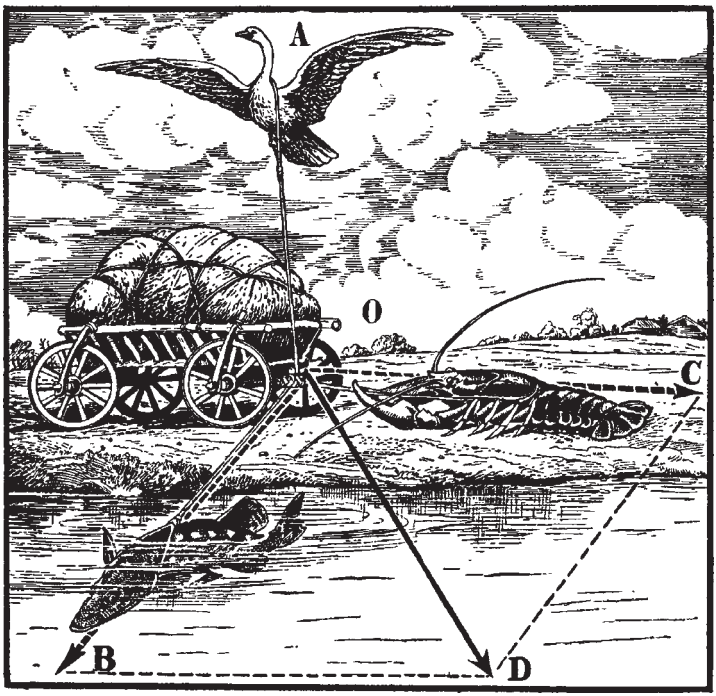


Рис. 12. Задача о крыловских лебеде, раке и щуке, решенная по правилам механики. Равнодействующая *(OD)* должна увлекать воз в реку

искомой равнодействующей. Ясно, что эта равнодействующая сила должна сдвинуть воз с места, тем более что вес его вполне или частью уничтожается тягой лебедя. Другой вопрос — в какую сторону сдвинется воз: вперед, назад или вбок? Это зависит уже от соотношения сил и от величины угла между ними.

Читатели, имеющие некоторую практику в сложении и разложении сил, легко разберутся и в том случае, когда сила лебедя не уравновешивает веса воза; они убедятся, что воз и тогда не может оставаться неподвижным. При одном только условии воз может не сдвинуться под действием этих трех сил: если трение у его осей и о полотно дороги больше, чем приложенные усилия. Но это не согласуется с утверждением, что «поклажа бы для них казалась и легка».

Во всяком случае, Крылов не мог с уверенностью утверждать, что «возу все нет ходу», что «воз и ныне там». Это, впрочем, не меняет смысла басни.

Вопреки Крылову

Мы только что видели, что житейское правило Крылова «когда в товарищах согласья нет, на лад их дело не пойдет» не всегда применимо в механике. Силы могут быть направлены не в одну сторону и, несмотря на это, давать известный результат.

Мало кто знает, что усердные труженики-муравьи, которых тот же Крылов восхвалял как образцовых работников, трудятся совместно именно по осмеянному баснописцем способу. И дело у них в общем идет на лад. Выручает опять закон сложения сил. Внимательно следя за муравьями во время работы, вы скоро убедитесь, что разумное сотрудничество их — только кажущееся: на деле каждый муравей работает сам для себя, вовсе и не думая помогать товарищу.

Вот как описывает работу муравьев один зоолог*:

«Если крупную добычу тащит десяток муравьев по ровному месту, то все действуют одинаково, и получается внешность сотрудничества. Но вот добыча — например, гусеница — зацепилась за какое-либо препятствие, за стебель травы, за камешек. Дальше вперед тащить нельзя, надо обогнуть. И тут с ясностью обнаруживается, что каждый муравей, по-своему и ни с кем из товарищей не сообразуясь, старается справиться с препятствием (рис. 13 и 14). Один тащит направо, другой налево; один толкает вперед, другой тянет назад. Переходят с места на место, хватаются за гусеницу в другом месте, и каждый толкает или тянет по-своему. Когда случится, что силы работающих сложатся так, что в одну сторону будут двигать гусеницу четыре муравья, а в другую шесть, то гусеница в конце концов двинется именно в сторону этих шести муравьев, несмотря на противодействие четырех».

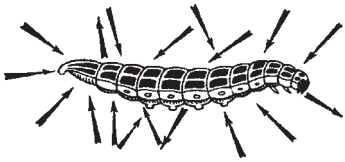


Рис. 13. Как муравьи тянут добычу. Стрелки показывают направление усилий отдельных муравьев

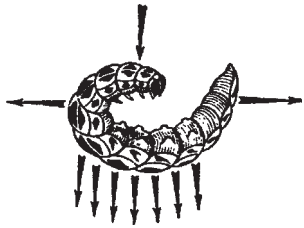


Рис. 14. Как муравьи волокут гусеницу

Рис. 14 поясняет сказанное.

Приведем (заимствованный у другого исследователя) еще поучительный пример, наглядно иллюстрирующий это мнимое сотрудни-

* Е. Елачич, «Инстинкт».

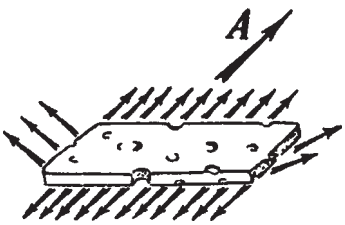


Рис. 15. Как муравьи стараются притащить кусочек сыра к муравейнику, расположенному в направлении стрелки *A*

чество муравьев. На рис. 15 изображен прямоугольный кусочек сыра, за который ухватилось 25 муравьев. Сыр медленно подвигался в направлении, указанном стрелкой *A*, и можно бы думать, что передняя шеренга муравьев тянет ношу к себе, задняя — толкает ее вперед, боковые же муравьи помогают тем и другим. Однако это не так, в чем нетрудно убедиться: отделите ножом всю заднюю шеренгу, — ноша поползет гораздо быстрее! Ясно, что эти 11 муравьев тянули назад, а не вперед: каждый из них старался повернуть ношу так, чтобы, пятясь назад, волочить ее к гнезду. Значит, задние муравьи не только не помогали передним, но усердно мешали им, уничтожая их усилия. Чтобы волочить этот кусочек сыра, достаточно было бы усилий всего четырех муравьев, но несогласованность действий и взаимное мешание приводят к тому, что ношу тащат 25 муравьев*.

Легко ли сломать яичную скорлупу?

В числе философских вопросов, над которыми ломал свою мудрую голову глубокомысленный Кифа Мокиевич из «Мертвых душ», была такая проблема: «Ну а если бы слон родился в яйце, ведь скорлупа, чай, сильно бы толста была, — пушкой не прошибешь; нужно какое-нибудь новое огнестрельное орудие выдумать».

Гоголевский философ был бы, вероятно, немало изумлен, если бы узнал, что и обыкновенная *яичная* скорлупа, несмотря на тонкость, —

* Достойно удивления, что эта особенность совместных действий муравьев давно уже подмечена была американским юмористом Марком Твеном. Рассказывая о встрече двух муравьев, из которых один нашел ножку кузнечика, он говорит: «Они берут ногу за оба конца и тянут изо всех сил в противоположные стороны. Оба видят, что что-то неладно, но что — не могут понять. Начинаются взаимные пререкания; спор переходит в драку... Происходит примирение, и снова начинается совместная и бессмысленная работа, причем раненный в драке товарищ является только помехой. Стараясь изо всей мочи, здоровый товарищ тащит ношу, а с ней и раненого друга, который, вместо того чтобы уступить добычу, висит на ней...»

Шутя, Твен бросает совершенно правильное замечание, что «муравей хорошо работает только тогда, когда за ним наблюдает неопытный натуралист, делающий неверные выводы».

тоже далеко не нежная вещь. Раздавить яйцо между ладонями, напирая на его концы, не так-то легко; нужно немалое усилие, чтобы сломать скорлупу при подобных условиях*.

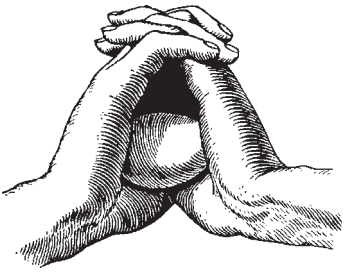


Рис. 16. Чтобы сломать яйцо в таком положении, требуется значительное усилие

Столь необычайная крепость яичной скорлупы зависит исключительно от ее выпуклой формы и объясняется так же, как и прочность всякого рода сводов и арок.

На прилагаемом рис. 17 изображен разрез небольшого каменного свода над окном. Груз *S* (т. е. вес вышележащих частей кладки), напирающий на клинообразный средний камень свода, давит вниз с силой, которая обозначена на рисунке стрелкой *A*. Но сдвинуться вниз камень не может вследствие своей клинообразной формы; он только давит на соседние камни. При этом сила *A* разлагается, по правилу параллелограмма, на две силы, обозначенные стрелками *C* и *B*; они уравновешиваются сопротивлением прилегающих камней, в свою очередь зажатых между соседними. Таким образом, сила, давящая на свод *снаружи*, не может его разрушить. Зато сравнительно легко разрушить его силой, действующей *изнутри*. Это и понятно, так как клинообразная форма камней, мешающая им *опускаться*, нисколько, однако, не препятствует им *подниматься*.



Рис. 17. Причина прочности свода

Скорлупа яйца — тот же свод, только сплошной, а не составленный из отдельных частей. При давлении *снаружи* он разрушается не так легко, как можно бы ожидать от такого хрупкого материала. Можно поставить довольно тяжелый стол ножками на четыре сырых яйца — и они не раздавятся (для устойчивости яиц и увеличения площади давления надо снабдить яйца на концах гипсовыми расширениями; гипс легко пристает к известковой скорлупе).

* Опыт представляет некоторую опасность (скорлупа может вонзиться в руку) и требует осмотрительности.

Теперь вы понимаете, почему наседке не приходится опасаться сломать скорлупу яиц тяжестью своего тела. И в то же время слабый птенчик, желая выйти из природной темницы, без труда пробивает клювиком скорлупу *изнутри*.

С легкостью разламывая скорлупу яйца боковым ударом чайной ложечки, мы и не подозреваем, как прочна она, когда давление действует на нее при естественных условиях, и какой надежной броней защитила природа развивающееся в ней живое существо.

Загадочная прочность электрических лампочек, казалось бы столь нежных и хрупких, объясняется так же, как и прочность яичной скорлупы. Их крепость станет еще поразительнее, если вспомним, что многие из них (пустотные, а не газополные) — почти *абсолютно пусты* и ничто *изнутри* не противодействует давлению внешнего воздуха. А величина давления воздуха на электрическую лампочку весьма немалая: при поперечнике в 10 см она сдавливается с обеих сторон силою более 75 кг (вес человека!). Опыт показывает, что пустотная электрическая лампочка способна выдержать даже в $2^1/_2$ раза большее давление.

Под парусами против ветра

Не моряку кажется непостижимым, как могут парусные суда идти «против ветра» — или, по выражению моряков, идти «в бейдевинд». Правда, моряк скажет вам, что прямо против ветра идти под парусами нельзя, а можно двигаться лишь под острым углом к направлению

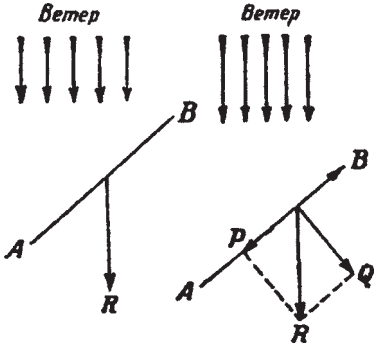


Рис. 18. Ветер толкает парус всегда под прямым углом к его плоскости

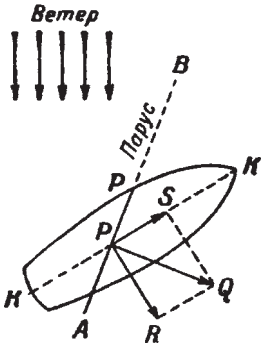


Рис. 19. Как можно идти на парусах против ветра

ветра. Но угол этот мал — около четверти прямого угла — и представляется, пожалуй, одинаково непонятным: плыть ли прямо против ветра или под углом к нему в 22°.

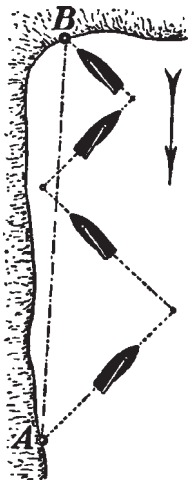


Рис. 20. Лавировка парусного судна

На деле это, однако, не безразлично, и мы сейчас объясним, каким образом можно силой ветра идти навстречу ему под небольшим углом. Сначала рассмотрим, как вообще действует ветер на парус, т. е. куда он толкает парус, когда дует на него. Если вы не моряк, то, вероятно, думаете, что ветер всегда толкает парус в ту сторону, куда сам дует. Но это не так: куда бы ветер ни дул, он толкает парус перпендикулярно к его плоскости. В самом деле: пусть ветер дует в направлении, указанном стрелками на рис. 18; линия *AB* обозначает парус. Так как ветер напирает равномерно на всю поверхность паруса, то заменяем давление ветра силой *R*, приложенной к середине паруса. Эту силу разложим на две: силу *Q*, перпендикулярную к парусу, и силу *P*, направленную вдоль него (рис. 18, справа). Последняя сила никуда не толкает парус, так как трение ветра о холст незначительно. Остается сила *Q*, которая толкает парус под прямым углом к нему.

Зная это, мы легко поймем, как может парусное судно идти под острым углом навстречу ветру. Пусть линия *KK* (рис. 19) изображает килевую линию судна. Ветер дует под острым углом к этой линии в направлении, указанном рядом стрелок. Линия *AB* изображает парус; его помещают так, чтобы плоскость его делила пополам угол между направлением киля и направлением ветра. Проследите на рис. 19 за разложением сил. Напор ветра на парус мы изображаем силой *Q*, которая, мы знаем, должна быть перпендикулярна к парусу. Силу эту разложим на две: силу *R*, перпендикулярную к килю, и силу *S*, направленную вперед, вдоль килевой линии судна. Так как движение судна в направлении *R* встречает сильное сопротивление воды (киль в парусных судах делается очень глубоким), то сила *R* почти полностью уравновешивается сопротивлением воды. Остается одна лишь сила *S*, которая, как видите, направлена вперед и, следовательно, подвигает судно под углом, как бы навстречу ветру*. Обыкновенно

* Можно доказать, что сила *S* получает наибольшее значение тогда, когда плоскость паруса делит пополам угол между направлениями киля и ветра.

это движение выполняется зигзагами, как показывает рис. 20. На языке моряков такое движение судна называется «лавировкой» в тесном смысле слова.

Мог ли Архимед поднять Землю?

«Дайте мне точку опоры, и я подниму Землю!» — такое восклицание легенда приписывает Архимеду, гениальному механику древности, открывшему законы рычага. «Однажды Архимед, — читаем мы у Плутарха, — написал сиракузскому царю Гиерону, которому он был родственник и друг, что данной силой можно подвинуть какой угодно груз. Увлеченный силой доказательств, он прибавил, что, если бы была другая Земля, он, перейдя на нее, сдвинул бы с места нашу».

Архимед знал, что нет такого груза, которого нельзя было бы поднять самой слабой силой, если воспользоваться рычагом: стоит только приложить эту силу к очень длинному плечу рычага, а короткое плечо заставить действовать на груз. Поэтому он и думал, что, напирая на чрезвычайно длинное плечо рычага, можно силой рук поднять и груз, масса которого равна массе земного шара*.

Но если бы великий механик древности знал, как огромна масса земного шара, он, вероятно, воздержался бы от своего горделивого восклицания. Вообразим на мгновение, что Архимеду дана та «другая Земля», та точка опоры, которую он искал; вообразим далее, что он изготовил рычаг нужной длины. Знаете ли, сколько времени понадобилось бы ему, чтобы груз, равный по массе земному шару, поднять хотя бы на один сантиметр? *Не менее тридцати тысяч биллионов лет!*

В самом деле. Масса Земли известна астрономам**; тело с такой массой весило бы на Земле круглым числом

6 000 000 000 000 000 000 000 тонн.

Если человек может непосредственно поднять только 60 кг, то, чтобы «поднять Землю», ему понадобится приложить свои руки к длинному плечу рычага, которое больше короткого в

100 000 000 000 000 000 000 000 раз!

* Под выражением «поднять Землю» мы будем подразумевать — чтобы внести определенность в задачу — поднятие на земной поверхности такого груза, масса которого равна массе нашей планеты.

** О том, как она была определена, см. «Занимательную астрономию».

Простой расчет убедит вас, что, пока конец короткого плеча поднимается на 1 см, другой конец опишет во Вселенной огромную дугу в

1 000 000 000 000 000 000 км.

Такой невообразимо длинный путь должна была бы пройти рука Архимеда, налегающая на рычаг, чтобы «поднять Землю» только на один сантиметр! Сколько же времени понадобится для этого? Если считать, что Архимед способен был поднять груз в 60 кг на высоту 1 м за одну секунду (работоспособность почти в целую лошадиную силу!), то и тогда для «поднятия Земли» на 1 см потребуется

1 000 000 000 000 000 000 000 с,

или тридцать тысяч биллионов лет! За всю свою долгую жизнь Архимед, напирая на рычаг, не «поднял бы Земли» даже на толщину тончайшего волоса...

Никакие ухищрения гениального изобретателя не помогли бы ему заметно сократить этот срок. «Золотое правило механики» гласит, что на всякой машине выигрыш в силе неизбежно сопровождается соответствующей потерей в длине перемещения, т. е. во времени. Если бы даже Архимед довел быстроту своей руки до величайшей скорости, какая возможна в природе, — до 300 000 км/с (скорость света), то и при таком фантастическом допущении он «поднял бы Землю» на 1 см лишь после *десяти миллионов лет* работы.

Жюль-верновский силач и формула Эйлера

Вы помните у Жюля Верна силача-атлета Матифу? «Великолепная голова, пропорциональная исполинскому росту; грудь, похожая на кузнечный мех; ноги — как хорошие бревна, руки — настоящие подъемные краны, с кулаками, похожими на молоты...» Вероятно, из подвигов этого силача, описанных в романе «Матиас Сандорф», вам памятен поразительный случай с судном «Трабоколо», когда наш гигант силой могучих рук задержал спуск целого корабля.

Вот как рассказывает романист об этом подвиге:

«Судно, освобожденное уже от подпорок, которые поддерживали его по бокам, было готово к спуску. Достаточно было отнять швартов, чтобы судно начало скользить вниз. Уже с полдюжины плотников возились под килем судна. Зрители с живым любопытством следили за операцией. В этот момент, обогнув береговой выступ, появилась увеселительная яхта.

Чтобы войти в порт, яхта должна была пройти перед верфью, где подготовляли спуск „Трабоколо“, и, как только она подала сигнал, пришлось, во избежание всяких случайностей, задержать спуск, чтобы снова приняться за дело после прохода яхты в канал. Если бы суда — одно, стоявшее поперек, другое, подвигающееся с большой быстротой, — столкнулись, яхта погибла бы.

Рабочие перестали стучать молотками. Все взоры были устремлены на грациозное судно, белые паруса которого казались позолоченными в косых лучах солнца. Скоро яхта очутилась как раз против верфи, где замерла тысячная толпа любопытных. Вдруг раздался крик ужаса: „Трабоколо“ закачалось и пришло в движение в тот самый момент, когда яхта повернулась к нему штирбортом! Оба судна готовы были столкнуться; не было ни времени, ни возможности помешать этому столкновению. „Трабоколо“ быстро скользило вниз по наклону... Белый дымок, появившийся вследствие трения, закрутился перед его носом, тогда как корма погрузилась уже в воду бухты (судно спускалось кормой вперед. — *Я. П.)*.

Вдруг появляется человек, схватывает швартов, висящий у передней части „Трабоколо“, и старается удержать его, пригнувшись к земле. В одну минуту он наматывает швартов на вбитую в землю железную трубу и, рискуя быть раздавленным, держит с нечеловеческой силой в руках канат в продолжение 10 секунд. Наконец швартов обрывается. Но этих 10 секунд было достаточно: „Трабоколо“, погрузившись в воду, только слегка задело яхту и пронеслось вперед.

Яхта была спасена. Что касается человека, которому никто не успел даже прийти на помощь — так быстро и неожиданно все произошло, — то это был Матифу».

Как изумился бы автор романа, если бы ему сказали, что для совершения подобного подвига не нужно вовсе быть великаном и обладать, как Матифу, «силою тигра». Каждый находчивый человек, при обыкновенной силе мышц, мог бы сделать то же самое!

Механика учит, что при скольжении каната, навитого на тумбу, трение достигает сильнейшей степени. Чем больше число оборотов каната, тем трение больше; правило возрастания трения таково, что с увеличением числа оборотов в прогрессии арифметической — трение растет в прогрессии геометрической. Поэтому даже слабый ребенок, держа за свободный конец каната, 3–4 раза навитого на неподвижный вал, может уравновесить огромную силу. Подростки часто на речных пароходных пристанях останавливают этим приемом подходящие к пристаням пароходы с сотней пассажиров. Помогает им не феноменальная сила их рук, а установленная знаменитым математиком XVIII века Эйлером зависимость величины трения от числа оборотов веревки вокруг сваи.

Для тех, кого не пугает сжатый язык алгебраических выражений, приводим эту поучительную формулу Эйлера:

$$F = fe^{k\alpha}.$$

Здесь F — та сила, против которой направлено наше усилие f. Буквой e обозначено число 2,718...; k — коэффициент трения между канатом и тумбой. Буквой α обозначен «угол навивания», т. е. отношение длины дуги, охваченной веревкой, к радиусу этой дуги.

Применим формулу к тому случаю, который описан у Жюля Верна. Результат получится поразительный. Силой F в данном случае является сила тяги судна, скользящего по доку. Вес судна из романа известен: 50 т. Пусть наклон стапеля $^1/_{10}$; тогда на канат действовал не полный вес судна, а $^1/_{10}$ его, т. е. 5 т, или 5000 кг.

Далее, величину k — коэффициента трения каната о железную тумбу — будем считать равной $^1/_3$. Величину α легко определим, если примем, что Матифу обвил канат вокруг тумбы всего три раза. Тогда:

$$\alpha = \frac{3 \times 2\pi r}{r} = 6\pi.$$

Подставив все эти значения в приведенную выше формулу Эйлера, получим уравнение:

$$5000 = f \times 2{,}726^{\pi \times \frac{1}{3}} = f \times 2{,}72^{2\pi}.$$

Неизвестное f (т. е. величину необходимого усилия) можно определить из этого уравнения, прибегнув к помощи логарифмов:

$$\lg 5000 = \lg f + 2\pi \times \lg 2{,}72,$$

откуда

$$f = 9{,}3 \text{ кг}.$$

Итак, чтобы совершить подвиг, великану достаточно было тянуть канат с силой лишь 10 килограммов!

Не думайте, что эта цифра — 10 кг — только теоретическая и что на деле потребуется усилие гораздо большее. Напротив, наш результат даже преувеличен: при *пеньковой веревке* и *деревянной свае*, когда коэффициент трения k больше, усилие потребуется до смешного ничтожное. Лишь бы веревка была достаточно крепка и могла выдержать натяжение, — тогда даже слабый ребенок, благодаря формуле Эйлера, мог бы, навив веревку 3–4 раза, не только повторить подвиг жюль-верновского богатыря, но и превзойти его.

От чего зависит крепость узлов

В обыденной жизни мы, сами не подозревая, часто пользуемся выгодой, на которую указывает нам *формула Эйлера*. Что такое узел, как не бечевка, навитая на валик, роль которого в данном случае играет другая часть той же бечевки? Крепость всякого рода узлов — обыкновенных, «беседочных», «морских», завязок, бантов и т. п. — зависит исключительно от трения, которое здесь во много раз усиливается вследствие того, что шнурок обвивается вокруг себя, как веревка вокруг тумбы. В этом нетрудно убедиться, проследив за изгибами шнурка в узле. Чем больше изгибов, чем больше раз бечевка обвивается вокруг себя, тем больше «угол навивания» в формуле Эйлера и, следовательно, тем крепче узел.

Бессознательно пользуется формулой Эйлера и портной, пришивая пуговицу. Он много раз обматывает нить вокруг захваченного стежком участка материи и затем обрывает ее; если только нитка крепка, пуговица не отпорется. Здесь применяется уже знакомое нам правило: с увеличением числа оборотов нитки в прогрессии арифметической крепость шитья возрастает в прогрессии геометрической.

Если бы не было трения, мы не могли бы пользоваться пуговицами: нитки размотались бы под их тяжестью, и пуговицы отвалились бы.

Если бы не было трения

Вы видите из сейчас сказанного, как разнообразно и порой неожиданно проявляется роль трения в окружающей нас обстановке. Трение принимает участие, и притом весьма существенное, в целом ряде таких явлений, где мы о нем даже и не подозреваем. Если бы трение внезапно исчезло из мира, огромное множество обычных явлений протекало бы совершенно иным образом.

Очень картинно пишет о роли трения французский физик Гильом:

> «Всем нам случалось выходить в гололедицу: сколько усилий стоило нам удерживаться от падения, сколько смешных движений приходилось нам проделывать, чтобы устоять! Это заставляет нас признать, что обычно земля, по которой мы ходим, обладает драгоценным свойством, благодаря которому мы сохраняем равновесие без особых усилий. Та же мысль возникает у нас, когда мы едем на велосипеде по скользкой мостовой или

когда лошадь скользит по асфальту и падает. Изучая подобные явления, мы приходим к открытию тех следствий, к которым приводит трение. Инженеры стремятся по возможности устранить его в машинах — и хорошо делают. В прикладной механике о трении говорится как о крайне нежелательном явлении, и это правильно — однако лишь в узкой, специальной области. Во всех прочих случаях мы должны быть благодарны трению: оно дает нам возможность ходить, сидеть и работать без опасения, что книги и чернильница упадут на пол, что стол будет скользить, пока не упрется в угол, а перо выскользнет из пальцев.

Трение представляет настолько распространенное явление, что нам, за редкими исключениями, не приходится призывать его на помощь: оно является к нам само. Иногда услугами трения пренебрегают, и это ведет к печальным результатам.

Трение способствует устойчивости. Плотники выравнивают пол так, что столы и стулья остаются там, куда их поставили. Блюда, тарелки, стаканы, поставленные на стол, остаются неподвижными без особых забот с нашей стороны, если только дело не происходит на пароходе во время качки.

Вообразим, что трение может быть устранено совершенно. Тогда никакие тела, будь они величиною с каменную глыбу или малы, как песчинка, никогда не удержатся одно на другом: все будет скользить и катиться, пока не окажется на одном уровне. Не будь трения, Земля представляла бы собой шар без неровностей, подобно жидкому».

К этому можно прибавить, что при отсутствии трения гвозди и винты выскальзывали бы из стен, ни одной вещи нельзя было бы удержать в руках, никакой постройки невозможно было бы возвести, никакой вихрь никогда бы не прекращался, никакой звук не умолкал бы, а звучал бы бесконечным эхом, неослабно отражаясь от стен комнаты.

Наглядный урок, убеждающий нас в огромной важности трения, дает нам всякий раз гололедица. Застигнутые ею на улице, мы оказываемся беспомощными и не рискуем ступить ни шагу, чтобы не упасть. Вот поучительная выдержка из газеты (декабрь 1927 г.):

«Лондон, 21. Вследствие сильной гололедицы уличное и трамвайное движение в Лондоне заметно затруднено. Около 1400 человек поступило в больницы с переломом рук, ног и т. д.».

«При столкновении вблизи Гайд-парка трех автомобилей и двух трамвайных вагонов машины были совершенно уничтожены из-за взрыва бензина...»

«Париж, 21. Гололедица в Париже и его пригородах вызвала многочисленные несчастные случаи...»

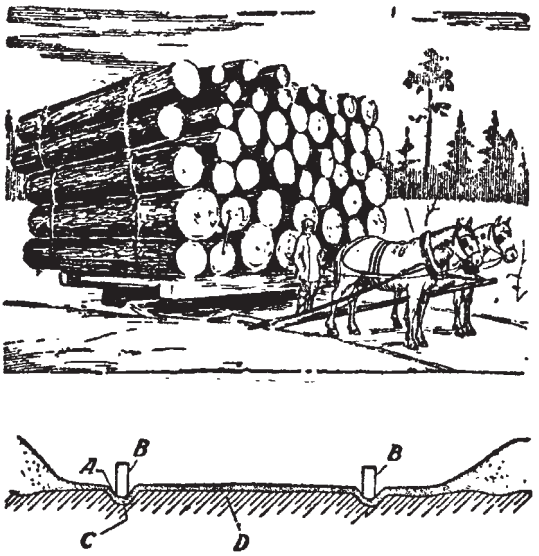


Рис. 21. Вверху — нагруженные сани на ледяной дороге; две лошади везут 70 т груза. Внизу — ледяная дорога: *A* — колея; *B* — полоз; *C* — уплотненный снег; *D* — земляное основание дороги

Однако ничтожное трение на льду может быть успешно использовано технически. Уже обыкновенные сани служат тому примером. Еще лучше свидетельствуют об этом так называемые ледяные дороги, устраиваемые для вывозки леса с места рубки к железной дороге или к пунктам сплава. На такой дороге, словно имеющей гладкие ледяные рельсы, две лошади тащат сани, нагруженные 70 тоннами бревен (рис. 21).

Физическая причина катастрофы «Челюскина»

Из сказанного сейчас не следует делать поспешного вывода, что трение о лед ничтожно при всяких обстоятельствах. Даже при температуре, близкой к нулю, трение о лед бывает нередко довольно значительно. В последние годы, в связи с работой наших ледоколов, тщательно изучалось трение льда полярных морей о стальную обшивку корабля. Оказалось, что оно неожиданно велико, не меньше трения железа по железу: коэффициент трения новой стальной судовой обшивки о лед равен 0,2.

Чтобы понять, какое значение имеет эта цифра для судов при плавании во льдах, разберемся в рис. 22; он изображает направление сил, действующих на борт *MN* судна при напоре льда. Сила *P* давления льда разлагается на две силы: *R* — перпендикулярную к борту и *F* — направленную по касательной к борту. Угол между *P* и *R* равен углу α наклона борта к вертикали. Сила *Q* трения льда о борт равна силе *R*, умноженной на коэффициент трения, то есть на 0,2; имеем $Q = 0{,}2R$. Если сила трения *Q* меньше *F*, последняя сила увлекает напирающий лед под воду; лед скользит вдоль борта, не успевая причинить судну вреда. Если же сила *Q* больше *F*, трение мешает скольжению льдины и лед при продолжительном напоре может смять и продавить борт.

Когда же $Q < F$? Легко видеть, что $F = R \operatorname{tg} \alpha$; следовательно, должно существовать неравенство $Q < R \operatorname{tg} \alpha$; а так как $Q = 0{,}2R$, то неравенство $Q < F$ приводит к другому:

$$0{,}2R < R \operatorname{tg} \alpha,$$

или

$$\operatorname{tg} \alpha > 0{,}2.$$

По таблицам отыскиваем угол, тангенс которого 0,2; он равен 11°. Значит, $Q < F$ тогда, когда $\alpha > 11°$. Тем самым определяется, какой наклон бортов корабля к вертикали обеспечивает безопасное плавание во льдах: наклон должен быть не меньше 11°.

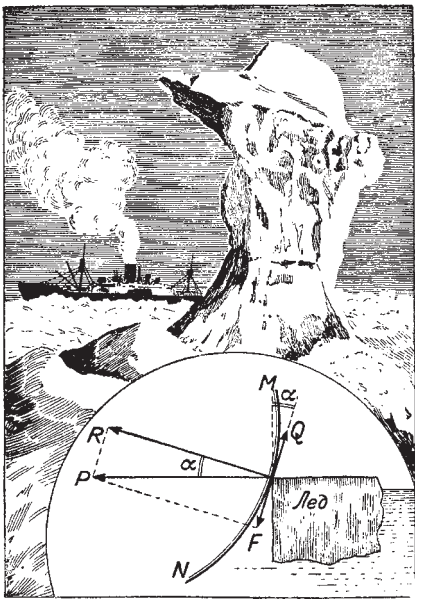


Рис. 22. «Челюскин», затертый во льдах. Внизу: силы, действующие на борт *MN* судна при напоре льда

Обратимся теперь к гибели «Челюскина». Этот пароход, не ледокол, успешно прошел весь Северный морской путь, но в Беринговом проливе оказался зажатым во льдах.

Льды унесли «Челюскин» далеко на север и раздавили (в феврале 1934 г.). Двухмесячное героическое пребывание челюскинцев на льдине и спасение их героями-летчиками общеизвестны.

Вот описание самой катастрофы:

«Крепкий металл корпуса сдал не сразу, — сообщал по радио начальник экспедиции проф. О. Ю. Шмидт. — Видно было, как льдина вдавливается в борт и как над нею листы обшивки пучатся, изгибаясь наружу. Лед продолжал медленное, но неотразимое наступление. Вспученные железные листы обшивки корпуса разорвались по шву. С треском летели заклепки. В одно мгновение левый борт парохода был оторван от носового трюма до кормового конца палубы...»

После того, что сказано было в этой статье, читателю должна быть понятна физическая причина катастрофы.

Отсюда вытекают и практические следствия: при сооружении судов, предназначенных для плавания во льдах, необходимо придавать бортам их надлежащий уклон, а именно не менее 11°.

Самоуравновешивающаяся палка

На указательные пальцы расставленных рук положите гладкую палку, как показано на рис. 23. Теперь двигайте пальцы навстречу друг другу, пока они не сойдутся вплотную. Странная вещь! Окажется, что в этом окончательном положении палка не опрокидывается, а сохраняет равновесие. Вы проделываете опыт много раз, меняя первоначальное положение пальцев, но результат неизменно тот же: палка оказывается уравновешенной. Заменив палку чертежной линейкой, тростью с набалдашником, бильярдным кием, половой щеткой, — вы заметите ту же особенность.

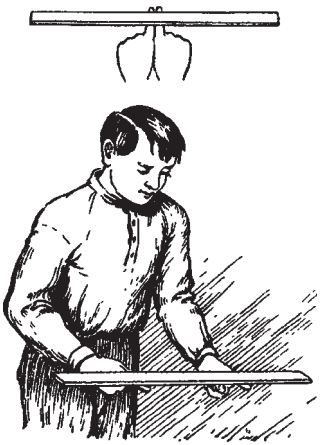


Рис. 23. Опыт с линейкой. Вверху — конец опыта

В чем разгадка неожиданного финала?

Прежде всего устанавливаем следующее: раз палка оказывается уравновешенной на примкнутых пальцах, то ясно, что пальцы сошлись под центром тяжести палки (тело остается в равновесии, если отвесная линия, проведенная из центра тяжести, проходит внутри границ опоры). Далее соображаем, что, когда пальцы раздвинуты, бóльшая нагрузка приходится на тот палец, который

ближе к центру тяжести палки. С давлением растет и трение; палец, более близкий к центру тяжести, испытывает большее трение, чем удаленный. Поэтому близкий к центру тяжести палец не скользит под палкой; двигается всегда лишь тот палец, который дальше от этой точки. Как только двигавшийся палец окажется ближе к центру тяжести, нежели другой, пальцы меняются ролями; такой обмен совершается несколько раз, пока пальцы не сойдутся вплотную. И так как движется каждый раз только один из пальцев, именно тот, который дальше от центра тяжести, то естественно, что в конечном положении оба пальца сходятся под центром тяжести палки.

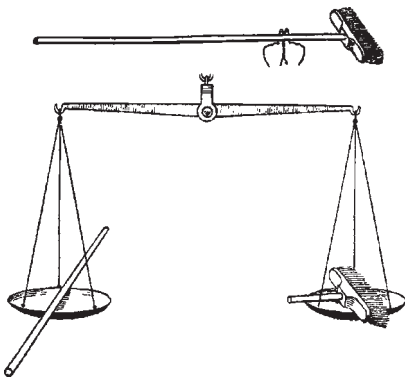


Рис. 24. Тот же опыт с половой щеткой. Что перевесит?

Прежде чем с этим опытом покончить, повторите его с половой щеткой (рис. 24, вверху) и поставьте перед собой такой вопрос: если разрезать щетку в том месте, где она подпирается пальцами, и положить обе части на разные чашки весов (рис. 24, внизу), то какая чашка перетянет — с палкой или со щеткой?

Казалось бы, раз обе части щетки уравновешивали одна другую на пальцах, они должны уравновешиваться и на чашках весов. В действительности же чашка со щеткой перетянет. О причине нетрудно догадаться, если принять в расчет, что, когда щетка уравновешивалась на пальцах, силы веса обеих частей приложены были к *неравным* плечам рычага; в случае же весов те же силы приложены к концам равноплечего рычага.

Для Павильона занимательной науки в Ленинградском парке культуры мною был заказан набор палок с различным положением центра тяжести; палки разнимались на две обычно неравные части как раз в том месте, где находился центр тяжести. Кладя эти части на весы, посетители с удивлением убеждались, что короткая часть тяжелее длинной.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

КРУГОВОЕ ДВИЖЕНИЕ

Почему не падает вращающийся волчок?

Из тысяч людей, забавлявшихся в детстве верчением волчка, едва ли хоть один сможет правильно ответить на этот вопрос. Как, в самом деле, объяснить то, что вращающийся волчок, поставленный отвесно или даже наклонно, не опрокидывается, вопреки всем ожиданиям? Какая сила удерживает его в таком, казалось бы, неустойчивом положении? Разве тяжесть на него не действует?

Здесь имеет место весьма любопытное взаимодействие сил.

Теория волчка нелегка, и углубляться в нее мы не станем. Наметим лишь основную причину, вследствие которой вращающийся волчок не падает.

На рис. 25 изображен волчок, вращающийся в направлении стрелок. Обратите внимание на часть *A* его ободка и на часть *B*, противоположную ей. Часть *A* стремится двигаться *от вас*, часть *B* — *к вам*. Проследите теперь, какое движение получают эти части, когда вы наклоняете ось волчка *вправо*. Этим толчком вы заставляете часть *A* двигаться вверх, часть *B* — вниз; обе части получают толчок под прямым углом к их собственному движению. Но так как при быстром вращении волчка окружная скорость частей диска очень велика, то сообщаемая вами незначительная скорость, складываясь с большой круговой скоростью точки *A*, дает равнодействующую, весьма близкую к этой круговой, — и движение волчка почти не меняется. Отсюда понятно, почему волчок как бы сопротивляется попытке его опрокинуть. Чем массивнее волчок и чем быстрее он вращается, тем упорнее противодействует он опрокидыванию.



Рис. 25. Почему волчок не падает?

Не будем рассматривать всех движений волчка, которые возникают при действии на него посторонней силы. Это потребовало бы чересчур подробных объяснений, которые, пожалуй, многим покажутся скучными. Я хотел лишь разъяснить причину основного стремления всякого вращающегося тела — сохранять неизменным направление оси вращения.



Рис. 26. Диаболо легко поймать только потому, что во все время своего подъема и падения он не перестает вращаться

Этим свойством объясняется ряд явлений, с которыми мы сталкиваемся в обыденной жизни. Ребенок, катящий свой обруч, бессознательно пользуется тем же свойством вращающихся тел: пока обруч находится в быстром вращении, он не падает. Игра с диаболо основана на том же принципе: сначала мы с помощью бечевки приводим диаболо в быстрое вращательное движение и затем закидываем его высоко; но, летя вверх и падая потом вниз, вращающийся диаболо не перестает сохранять горизонтальность оси вращения, — вот почему его легко поймать на вытянутую бечевку, опять подкинуть, вновь поймать и т. д. Если бы диаболо не вращался, все это было бы неисполнимо даже для самого искусного жонглера.

Искусство жонглеров

Кое-что о жонглерах: многие удивительнейшие фокусы их разнообразной программы основаны тоже на стремлении вращающихся тел сохранять направление оси вращения. Позволю себе привести выдержку из увлекательной книги английского физика проф. Джона Перри «Вращающийся волчок»:

> «Однажды я показывал некоторые из моих опытов перед публикой, пившей кофе и курившей табак в великолепном помещении концертного зала „Виктория“ в Лондоне. Я старался заинтересовать моих слушателей, насколько мог, и рассказывал о том, что плоскому кольцу надо сооб-

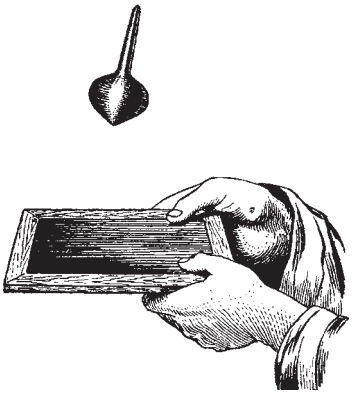


Рис. 27. Вращающийся волчок, будучи подброшен, сохраняет первоначальное направление своей оси.

щить вращение, если его желают бросить так, чтобы можно было наперед указать, куда оно упадет; точно так же поступают, если хотят кому-нибудь бросить шляпу так, чтобы он мог поймать этот предмет палкой. Всегда можно полагаться на сопротивление, которое оказывает вращающееся тело, когда изменяют направление его оси. Далее я объяснял моим слушателям, что, *отполировав* гладко дуло пушки, никогда нельзя рассчитывать на точность прицела; вследствие этого теперь делают нарезные дула, т. е. вырезают на внутренней стороне дула пушек спиралеобразные желоба, на которые приходятся выступы ядра или снаряда, так что последний должен получить вращатель-

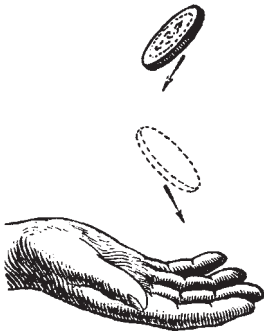


Рис. 28. Как летит монета, подброшенная с вращением

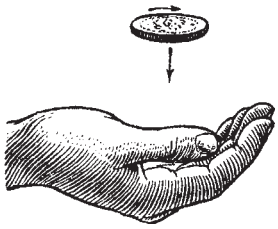


Рис. 29. Монета, подброшенная без вращения, падает в случайном положении

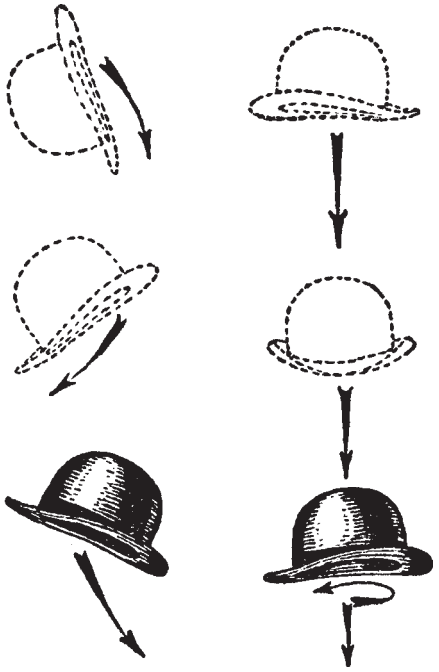


Рис. 30. Подброшенную шляпу легче поймать, если ей было сообщено вращение около оси

ное движение, когда сила взрыва пороха заставляет его двигаться по каналу пушки. Благодаря этому снаряд покидает пушку с точно определенным вращательным движением.

Это было все, что я мог сделать во время этой лекции, так как я не обладаю ловкостью в метании шляп или дисков. Но после того, как я закончил свою лекцию, на подмостки выступили два жонглера — и я не мог пожелать лучшей иллюстрации упомянутых выше законов, нежели та, которую давал каждый отдельный фокус, показанный этими двумя артистами. Они бросали друг другу вращающиеся шляпы, обручи, тарелки, зонтики... Один из жонглеров бросал в воздух целый ряд ножей, ловил их опять и снова подбрасывал с большой точностью вверх; моя аудитория, только что прослушав объяснение этих явлений, ликовала от удовольствия; она замечала вращение, которое жонглер сообщал каждому ножу, выпуская его из рук так, что мог наверное знать, в каком положении нож снова вернется к нему. Я был тогда поражен, что почти все без исключения жонглерские фокусы, показанные в тот вечер, представляли иллюстрацию изложенного выше принципа».

Новое решение Колумбовой задачи

Свою знаменитую задачу о том, как поставить яйцо, Колумб решил чересчур просто: надломил его скорлупу*.

Такое решение, в сущности, неверно: надломив скорлупу яйца, Колумб изменил его *форму* и, значит, поставил не яйцо, а другое тело; ведь вся суть задачи в форме яйца: изменяя форму, мы как бы заменяем яйцо другим телом. Колумб дал решение не для того тела, для которого оно искалось.

А между тем можно решить задачу великого мореплавателя, нисколько не изменяя формы яйца, если воспользоваться свойством волчка; для этого достаточно только привести яйцо во вращательное движение вокруг его длинной оси — и оно будет, не опрокидываясь, стоять некоторое время на тупом или даже на остром конце. Как это сделать — показывает рис. 31: яйцу придают вращательное движение пальцами. Отняв руки, вы увидите, что яйцо продолжает еще некоторое время вращаться стоймя: задача решена.

* Следует отметить, впрочем, что популярная легенда о Колумбовом яйце не имеет под собой исторической почвы. Молва приписала знаменитому мореплавателю то, что было сделано гораздо раньше другим лицом и по совершенно другому поводу, а именно итальянским архитектором Брунеллески (1377–1446), строителем огромного купола Флорентийского собора («Мой купол устоит так же надежно, как держится это яйцо на своем остром конце!»).



Рис. 31. Решение колумбовой задачи: яйцо вращается, стоя на конце

Для опыта необходимо брать непременно вареные яйца. Это ограничение не противоречит условию колумбовой задачи: предложив ее, Колумб взял яйцо тут же со стола, — а к столу, надо полагать, поданы были не сырые яйца. Вам едва ли удастся заставить стоймя вращаться яйцо сырое, потому что внутренняя жидкая масса является в данном случае как бы тормозом. В этом, между прочим, состоит простой способ отличать сырые яйца от сваренных вкрутую — секрет, известный многим хозяйкам.

Уничтоженная тяжесть

«Вода не выливается из сосуда, который вращается, — не выливается даже тогда, когда сосуд перевернут дном вверх, ибо этому мешает вращение», — писал две тысячи лет назад Аристотель. На рис. 32 изображен этот эффектный опыт, который, без сомнения, многим знаком: вращая достаточно быстро ведерко с водой, как показано на рисунке, вы достигаете того, что вода не выливается даже в той части пути, где ведерко опрокинуто вверх дном.

В обиходе принято объяснять это явление «центробежной силой», понимая под нею ту воображаемую силу, которая будто бы приложена к телу и обусловливает стремление его удалиться от центра вращения. Этой силы не существует: указанное стремление есть не что иное, как проявление *инерции*, а всякое движение по инерции осуществляется без участия силы. В физике под центро-

бежной силой разумеют нечто иное, а именно — ту реальную силу, с какой вращающееся тело натягивает удерживающую его нить или давит на свой криволинейный путь. Сила эта приложена не к движущемуся телу, а к *препятствию*, мешающему ему двигаться прямолинейно: к нити, к рельсам на кривом участке пути и т. п. Где этих препятствий нет — например, при движении планеты по орбите, — там нет и центробежной силы в научном понимании этого слова, хотя есть стремление тела удалиться от центра вращения.

Обращаясь к вращению ведерка, попытаемся разобраться в причине этого явления, не прибегая вовсе к двусмысленному понятию «центробежной силы». Зададим себе вопрос: куда направится струя воды, если в стенке ведерка сделать отверстие? Не будь силы тяжести, водяная струя по *инерции* направилась бы по касательной *AK* к окружности *AB* (рис. 33). Тяжесть же заставляет струю снижаться и описывать кривую (параболу *AP*). Если окружная скорость достаточно велика, эта кривая расположится вне окружности *AB*. Струя обнаруживает перед нами тот путь, по которому при вращении ведерка двигалась бы вода, если бы не препятствовало надавливающее на нее ведерко. Теперь понятно, что вода вовсе не стремится двигаться отвесно вниз, а потому и не выливается из ведерка. Она могла бы вылиться из него лишь в том случае, если бы ведерко было обращено отверстием в направлении его вращения.

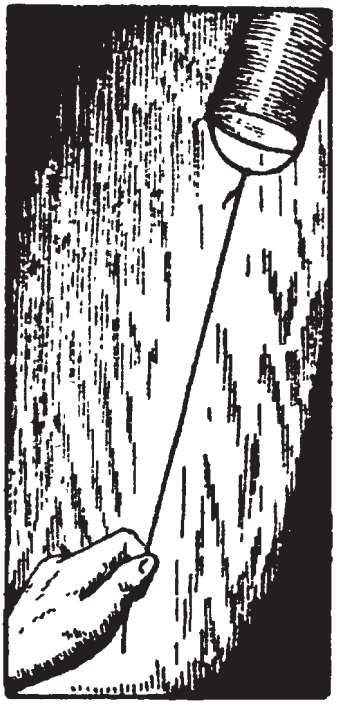


Рис. 32. Вода из опрокинутого ведерка не выливается, если вращать его на веревке с достаточной скоростью

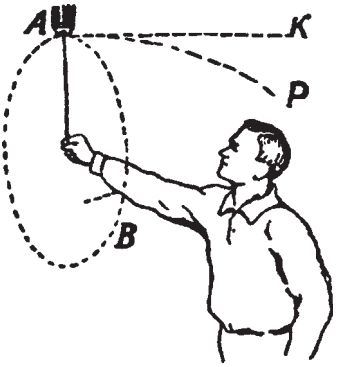


Рис. 33. Почему не выливается вода из вращаемого ведерка?

Вычислите теперь, с какой скоростью надо в нашем опыте вращать ведерко, чтобы вода из него не выливалась вниз. Скорость эта должна быть такова, чтобы центростремительное ускорение вращающегося ведерка было не меньше ускорения тяжести: тогда путь, по которому стремится двигаться вода, будет лежать вне окружности, описываемой ведерком, и вода нигде от ведерка не отстанет. Формула для вычисления центростремительного ускорения W такова:

$$W = \frac{v^2}{R},$$

где v — окружная скорость, R — радиус кругового пути. Так как ускорение тяжести на земной поверхности $g = 9{,}8$ м/с^2, то имеем неравенство:

$$\frac{v^2}{R} \geq 9{,}8;$$

R приблизительно 70 см. Значит,

$$\frac{v^2}{0{,}7} \geq 9{,}8 \quad \text{и} \quad v \geq \sqrt{0{,}7 \times 9{,}8}; \quad v \geq 2{,}6 \text{ м/с}.$$

Легко рассчитать, что для получения такой окружной скорости надо делать рукой около полутора оборотов в секунду. Подобная быстрота вращения вполне достижима, и опыт обыкновенно удается без труда.

Способностью жидкости прижиматься к стенкам сосуда, в котором она вращается вокруг горизонтальной оси, пользуются в технике для так называемого *центробежного литья*. При этом имеет существенное значение то, что неоднородная жидкость расслаивается по удельному весу: более тяжелые составные части располагаются дальше от оси вращения, легкие — занимают место ближе к оси. Вследствие этого все газы, содержащиеся в расплавленном металле и образующие так называемые раковины в литье, выделяются из металла во внутреннюю, полую часть отливки. Изделия, изготовленные таким способом, получаются плотные и свободные от раковин. Центробежное литье дешевле обычного литья под давлением и не требует сложного оборудования.

Вы в роли Галилея

Для любителей сильных ощущений во многих городах устраивается весьма своеобразное развлечение — так называемая чертова качель. Имелась такая качель и в Ленинграде. Мне не пришлось само-

му на ней качаться, а потому приведу здесь ее описание из сборника научных забав Федо:

«Качель подвешена к прочной горизонтальной перекладине, перекинутой через комнату на известной высоте над полом. Когда все сядут, особо приставленный к этому служитель запирает входную дверь, убирает доску, служившую для входа, и, заявив, что он сейчас даст возможность зрителям сделать небольшое воздушное путешествие, начинает легонько раскачивать качель. Вслед за тем он садится назади качели, подобно кучеру на запятках, или совсем выходит из зала.

Между тем размахи качели становятся все больше и больше; она, повидимому, поднимается до высоты перекладины, потом переходит за нее выше и выше и, наконец, описывает полный круг. Движение ускоряется все заметнее, и качающиеся, хотя по большей части уже предупрежденные, испытывают несомненные ощущения качания и быстрого движения; им кажется, что они несутся вниз головой в пространстве, так что невольно хватаются за спинки сидений, чтобы не упасть.

Но вот размахи начинают уменьшаться; качель более не поднимается уже на высоту перекладины, а еще через несколько секунд останавливается совершенно.

На самом же деле качель *все время висела неподвижно*, пока продолжался опыт, а сама комната, с помощью очень несложного механизма, напротив, обращалась мимо зрителей вокруг горизонтальной оси. Разного рода мебель прикреплена к полу или стенам зала; лампа, припаянная

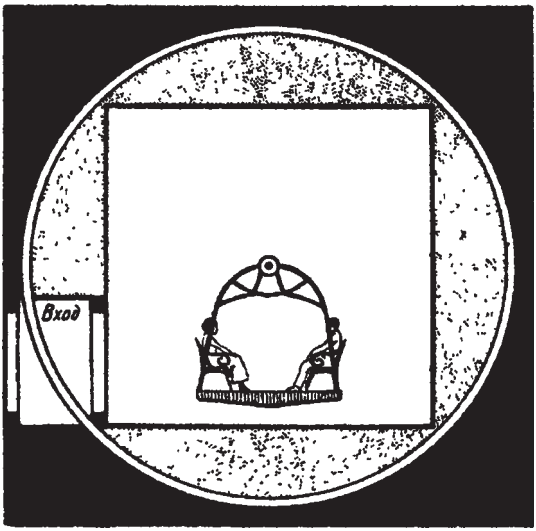


Рис. 34. Схема устройства «чертовой качели»

к столу так, что она, по-видимому, легко может перевернуться, состоит из электрической лампочки накаливания, скрытой под большим колпаком. *Служитель*, который, казалось бы, раскачивал качель, давая ей легкие толчки, в сущности сообразовал их с легкими колебаниями зала и делал только вид, что раскачивает. Вся обстановка способствует полному успеху обмана».

Секрет иллюзии, как видите, прост до смешного. И все-таки, если бы теперь, уже зная, в чем дело, вы очутились на «чертовой качели», вы неизбежно поддались бы обману. Такова сила иллюзии!

Помните стихотворение Пушкина «Движение»?

— Движенья нет, — сказал мудрец брадатый*.
Другой** смолчал — и стал пред ним ходить.
Сильнее бы не мог он возразить.
Хвалили все ответ замысловатый.
Но, господа, забавный случай сей
Другой пример на память мне приводит:
Ведь каждый день над нами Солнце ходит,
Однако ж прав упрямый Галилей!

Среди пассажиров качели, не посвященных в ее секрет, вы были бы своего рода Галилеем — только наоборот: Галилей доказывал, что Солнце и звезды неподвижны, а кружимся, вопреки очевидности, мы сами; вы же будете доказывать, что неподвижны мы, а вся комната вертится вокруг нас. Возможно, что вам пришлось бы при этом испытать и печальную участь Галилея: на вас смотрели бы как на человека, спорящего против очевидных вещей...

Мой спор с вами

Доказать свою правоту вам будет не так легко, как вы, может быть, полагаете. Вообразите, что вы в самом деле очутились на «чертовой качели» и хотите убедить ваших соседей, что они заблуждаются. Предлагаю вам вступить в этот спор со мной. Сядем с вами на «чертову качель», дождемся момента, когда, раскачавшись, она начнет на первый взгляд описывать полные круги, и заведем диспут о том, что кружится: качель или вся комната? Прошу только помнить, что во

* Греческий философ Зенон Элейский (V в. до н. э.), учивший, что все в мире неподвижно и что только вследствие обмана чувств нам кажется, будто какое-либо тело движется.

** Диоген.

время спора мы не должны покидать качели; все необходимое захватим с собой заблаговременно.

Вы. Как можно сомневаться в том, что мы неподвижны, а вертится комната! Ведь если бы нашу качель в самом деле опрокинуть вверх дном, то мы с вами не повисли бы вниз головой, а выпали бы из нее. Но мы, как видите, не падаем. Значит, вертится не качель, а комната.

Я. Однако вспомните, что вода из быстро кружащегося ведерка не выливается, хотя оно и опрокидывается вверх дном (с. 269). Велосипедист в «чертовой петле» (см. далее, с. 279) также не падает, хотя и едет вниз головой.

Вы. Если так, то вычислим центростремительное ускорение и убедимся, достаточно ли оно для того, чтобы мы не выпали из качели. Зная наше расстояние от оси вращения и число оборотов в секунду, мы легко определим по формуле...

Я. Не трудитесь вычислять. Устроители «чертовой качели», зная о нашем споре, предупредили меня, что число оборотов будет вполне достаточно, чтобы явление объяснялось по-моему. Следовательно, вычисление не решит нашего спора.

Вы. Однако я не потерял надежды вас переубедить. Видите, вода из этого стакана не выливается на пол... Впрочем, вы и тут сошлетесь на опыт с вращающимся ведерком. Хорошо же: я держу в руке отвес — он все время направлен к нашим ногам, т. е. вниз. Если бы вертелись мы, а комната оставалась неподвижной, отвес был бы все время обращен к полу, т. е. вытягивался бы то к нашим головам, то вбок.

Я. Ошибаетесь: если мы вертимся с достаточною скоростью, то отвес все время должен отбрасываться от оси вдоль радиуса вращения, т. е. к нашим ногам, как мы и наблюдаем.

Вы. Ну вот, наконец, решающий опыт: я роняю карандаш за борт нашей качели, и он падает — в потолок! Ясно, что потолок очутился на месте пола, потому что предметы, сколько известно, вверх не падают.

Я. Если бы ваш карандаш был раньше в покое, то, выроненный, он должен был бы упасть на пол, вниз. Но ведь карандаш обладал значительною скоростью прежде, чем вы его уронили, скоростью кругового движения (я утверждаю, что мы движемся); при таком условии он вовсе не должен упасть непременно на пол: он может быть откинут, вопреки силе тяжести, и на потолок, и на стены. Как видите, и этот ваш довод пока ничего не доказывает...

Финал нашего спора

Теперь позвольте вам посоветовать, как одержать победу в этом споре. Надо взять с собою на «чертову качель» пружинные весы, положить на их чашку гирю, например в 1 кг, и следить за положением указателя: он все время будет показывать один и тот же означенный на гире вес, именно — один килограмм. Это и есть доказательство неподвижности качели.

В самом деле: если бы мы вместе с пружинными весами описывали круги около оси, то на гирю, кроме силы тяжести, действовал бы также центробежный эффект, который в нижних точках пути *увеличивал бы* вес гири, а в верхних *уменьшал бы* его; мы должны были бы замечать, что гиря то становится тяжелее, то почти ничего не весит. А раз этого не замечается, значит вращается комната, а не мы.

В «заколдованном» шаре

Один предприниматель в Америке устроил для развлечения публики очень забавную и поучительную карусель в форме шарообразной вращающейся комнаты. Люди внутри нее испытывают такие необыкновенные ощущения, какие мы считаем возможными разве только во сне или в волшебной сказке.

Вспомним сначала, что испытывает человек, стоящий на быстро вращающейся круглой платформе.

Вращательное движение стремится отбросить человека наружу; чем дальше стоите вы от центра, тем сильнее будет клонить и тянуть вас наружу. Если закроете глаза, вам будет казаться, что вы стоите не на горизонтальном полу, а на наклонной плоскости, на которой с трудом сохраняете равновесие. Это станет понятно, когда рассмотрим, какие силы действуют здесь на наше тело (рис. 35). Действие

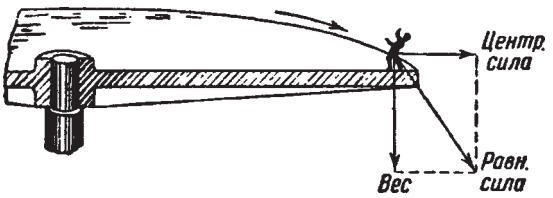


Рис. 35. Что испытывает человек на краю вращающейся платформы

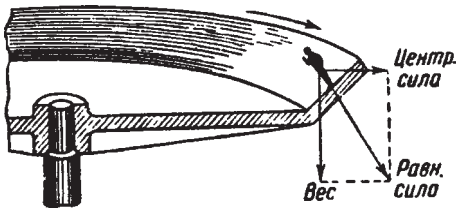


Рис. 36. Человек прочно стоит на наклонном конце вращающейся платформы

вращения увлекает наше тело наружу, тяжесть — тянет вниз; оба движения, складываясь по правилу параллелограмма, дают результирующее действие, которое *наклонено вниз*. Чем быстрее вращается платформа, тем это результирующее движение больше и направляется более отлого.

Представьте же себе теперь, что край платформы загнут вверх и вы стоите на этой отогнутой наклонной части (рис. 36). Если платформа неподвижна, вы в таком положении не удержитесь, а сползете или даже опрокинетесь. Другое дело, если платформа вращается: тогда эта наклонная плоскость станет для вас при известной скорости как бы горизонтальной, потому что результирующее обоих увлекающих вас движений направится тоже наклонно, под прямым углом к отогнутой части платформы*.

Если вращающейся платформе придать такую кривизну, чтобы при определенной скорости ее поверхность была в *каждой* точке перпендикулярна к результирующей, то помещенный на ней человек будет чувствовать себя во всех ее точках как на горизонтальной плоскости. Математическим вычислением найдено, что такая кривая поверхность есть поверхность особого геометрического тела — *параболоида*. Ее можно получить, если быстро вращать вокруг вертикальной оси стакан, до половины налитый водой: тогда вода у краев поднимется, в центре опустится, и поверхность ее примет форму параболоида.

Если вместо воды налить в стакан растопленный воск и продолжать вращение до тех пор, пока воск не остынет, то затвердевшая поверхность его даст нам точную форму параболоида. При определенной скорости вращения такая поверхность является для тяжелых

* Это, заметим кстати, объясняет, почему на закруглениях железнодорожного пути наружный рельс укладывают выше внутреннего, а также почему наклоняют внутрь трековую дорожку для велосипедов и мотоциклов и почему гонщики-профессионалы могут ехать по круто наклоненному круговому настилу.

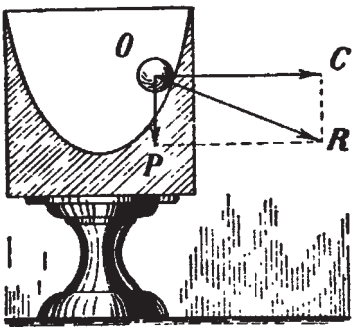


Рис. 37. Если этот бокал вращать с достаточной скоростью, то шарик не скатится на его дно

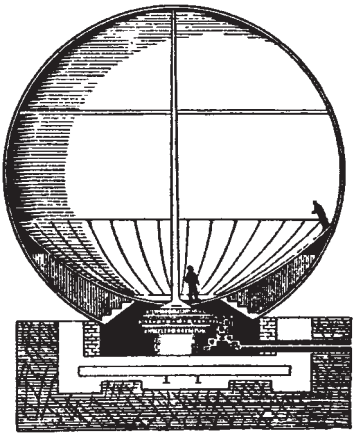


Рис. 38. «Заколдованный» шар (разрез)

тел как бы горизонтальной: шарик, положенный в любую ее точку, не скатывается вниз, а остается на этом уровне (рис. 37).

Теперь легко будет понять устройство «заколдованного» шара. Дно его (рис. 38) составляет большая вращающаяся платформа, которой придана кривизна параболоида. Хотя вращение благодаря скрытому под платформой механизму совершается чрезвычайно плавно, все же люди на платформе испытывали бы головокружение, если бы окружающие предметы не перемещались вместе с ними; чтобы не дать возможности наблюдателю обнаружить движение, вращающуюся платформу помещают внутри большого шара с непрозрачными стенками, который вращается с такою же скоростью, как и сама платформа.

Таково устройство этой карусели, носящей название «заколдованной», или «волшебной», сферы. Что же испытываете вы, находясь на платформе внутри сферы? Когда она вращается, пол под вашими ногами горизонтален, в какой бы точке кривой платформы вы ни находились, — у оси, где пол действительно горизонтален, или у края, где он наклонен на 45°. Глаза ясно видели бы вогнутость, мускульное же чувство свидетельствовало бы, что под вами *ровное* место. Показания обоих чувств противоречили бы друг другу самым резким образом. Если вы перейдете с одного края платформы на другой, то вам покажется, будто весь огромный шар с легкостью мыльного пузыря перевалился на другой бок под тяжестью вашего тела: ведь во всякой точке вы чувствуете себя как на горизонтальной плоскости. А положение других людей, стоящих на платформе наклонно, должно представляться вам до крайности необычайным: вам бук-

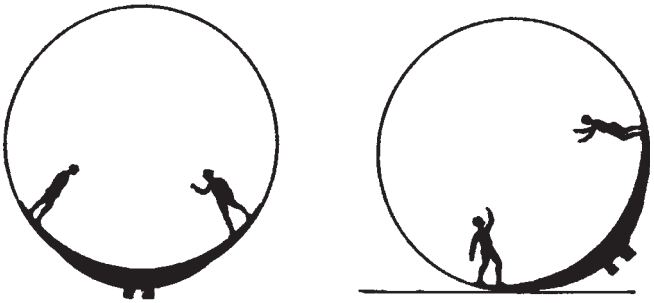


Рис. 39. Каково истинное положение людей внутри «заколдованного» шара (слева) и что кажется при этом (справа) каждому из двух посетителей

вально будет казаться, что люди, как мухи, ходят по стенам (рис. 39).

Вода, вылитая на пол «заколдованного шара», растеклась бы ровным слоем по его кривой поверхности. Людям казалось бы, что вода здесь стоит перед ними наклонной стеной.

Привычные представления о законах тяжести словно отменяются в этом поистине заколдованном шаре, и мы переносимся в сказочный мир чудес...

Подобные ощущения испытывает на поворотах летчик, несущийся с большой скоростью. Так, если он летит со скоростью 200 км/ч по кривой радиусом 500 м, то земля должна казаться* ему приподнявшейся и наклоненной на 16°.

В Германии, в городе Гёттингене, была сооружена для научных изысканий подобная вращающаяся лаборатория. Это (рис. 40) цилиндрическая комната 3 м в поперечнике, вращающаяся со скоростью до 50 оборотов в секунду. Так как пол комнаты плоский, то при вращении наблюдателю, стоящему у стены, кажется, будто комната откинулась назад, а сам он полулежит на покатой стене (рис. 41).



Рис. 40. Вращающаяся лаборатория — действительное положение



Рис. 41. Кажущееся положение той же вращающейся лаборатории

* См. пятую главу «Занимательной механики».

Жидкий телескоп

Наилучшая форма для зеркала отражательного телескопа — параболическая, т. е. та именно форма, какую сама собою принимает поверхность жидкости во вращающемся сосуде. Конструкторы телескопов затрачивают много хлопотливого труда, чтобы придать зеркалу подобную форму. Шлифовка зеркала для телескопа длится целые годы. Американский физик проф. Вуд обошел эти затруднения, устроив *жидкое зеркало*: вращая ртуть в широком сосуде, он получил идеальную параболическую поверхность, могущую играть роль зеркала, так как ртуть хорошо отражает лучи света. Рис. 42 изображает этот своеобразный жидкий телескоп Вуда. *C* — сосуд с ртутью; *D* — электромотор, приводящий его в весьма быстрое вращение; *B* — труба «телескопа»; *A* — отверстие в крыше здания, с которого наблюдатель смотрит в «зеркало», находящееся на дне трубы, значительно ниже уровня земли. Недостаток телескопа, однако, тот, что малейший толчок морщит поверхность жидкого зеркала и искажает изображение, а также и тот, что горизонтальное зеркало дает возможность непосредственно рассматривать только те светила, которые находятся в зените.

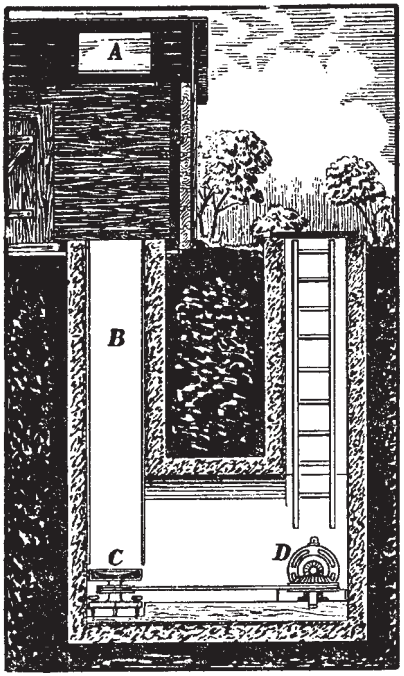


Рис. 42. Жидкое зеркало телескопа

«Чертова петля»

Быть может, вам знаком головокружительный велосипедный трюк, иногда исполняемый в цирках: велосипедист едет в петле снизу вверх и описывает полный круг, несмотря на то что по верхней

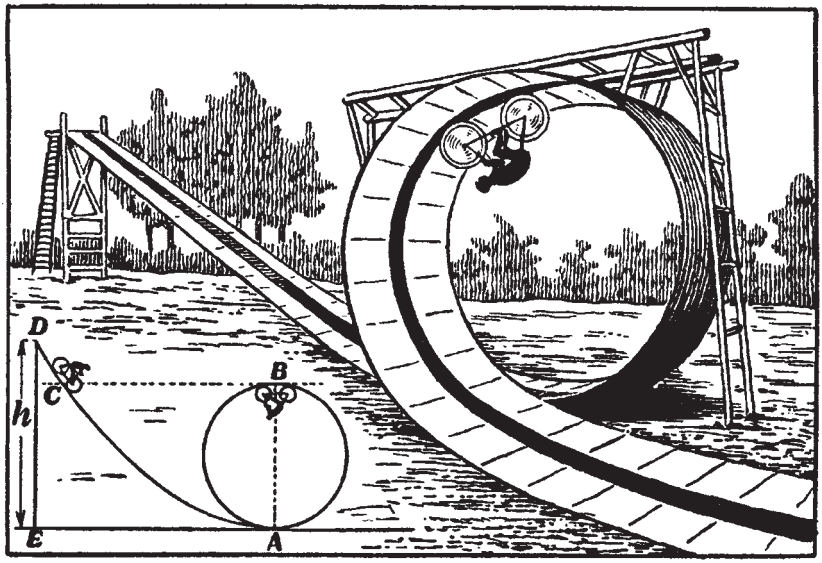


Рис. 43. «Чертова петля». Внизу слева — схема для расчета

части круга ему приходится *ехать вниз головой*. На арене устраивают деревянную дорожку в виде петли с одним или несколькими завитками, как изображено на нашем рис. 43. Артист спускается на велосипеде по наклонной части петли, затем быстро взлетает на своем стальном коне вверх, по круговой ее части, совершает полный оборот, буквально вися вниз головой, и благополучно съезжает на землю*.

Этот головоломный велосипедный фокус кажется зрителям верхом акробатического искусства. Озадаченная публика в недоумении спрашивает себя: какая таинственная сила удерживает смельчака вниз головой? Недоверчиво настроенные готовы подозревать здесь ловкий обман — между тем в фокусе нет ничего сверхъестественного. Он нацело объясняется законами механики. Бильярдный шар, пущенный по этой дорожке, выполнил бы тот же фокус не с меньшим успехом. В школьных физических кабинетах имеются миниатюрные «чертовы петли», в которых пробег совершает маленький шарик. В большом масштабе такая «мертвая петля» с шаром демонстрировалась в ленинградском Павильоне занимательной науки в ЦПКО.

* «Чертова петля» изобретена в 1902 г. одновременно двумя цирковыми артистами — Дьяволо (Джонсоном) и Мефисто (Нуазеттом).

Знаменитый исполнитель и изобретатель этого трюка артист Мефисто для испытания прочности «чертовой петли» имел тяжелый шар, вес которого равнялся весу артиста вместе с велосипедом. Шар этот пускали по дорожке петли, и если он благополучно пробегал ее, то артист решался проделать петлю сам.

Читатель, конечно, догадывается, что причина странного явления та же, которая объясняет общеизвестный опыт с кружащимся ведерком (с. 269). Однако фокус удается не всегда; необходимо в точности рассчитать высоту, с которой велосипедист должен начать свое движение, — иначе трюк окончится катастрофой.

Математика в цирке

Я знаю, что ряды «бездушных» формул отпугивают иных любителей физики. Но, отказываясь от знакомства с математической стороной явлений, такие недруги математики лишают себя удовольствия заранее предусматривать ход явления и определять его условия. В данном, например, случае две-три формулы помогут нам в точности определить, при каких условиях возможно успешное выполнение столь удивительного фокуса, как пробег в «чертовой петле».

Приступим же к расчетам.

Обозначим буквами те величины, с которыми придется вести расчеты:

буквой h обозначим *высоту*, с которой скатывается велосипедист;

буквой x обозначим ту часть высоты h, которая возвышается над верхней точкой «петли»; из рис. 43 очевидно, что $x = h - AB$;

буквой r обозначим радиус круга петли;

буквой m — общую *массу* артиста вместе с велосипедом; вес их выразится тогда через mg, причем:

буквой g обозначено *ускорение силы земной тяжести*; оно равно, как известно, 9,8 м/с^2;

буквой v обозначим *скорость* велосипеда в тот момент, когда он достигает самой верхней точки круга.

Все эти величины мы можем связать двумя уравнениями. Во-первых, мы знаем из механики, что скорость, которую приобретает велосипед к моменту, когда, катясь по наклонной дорожке, он находится в C на уровне точки B (это положение изображено внизу рис. 43), равна той, какую он имеет в верхней части петли, в точке B. Первая

скорость выражается формулой* $v = \sqrt{2gx}$, или $v^2 = 2gx$. Следовательно, и скорость v велосипедиста в точке B равна $\sqrt{2gx}$, т. е. $v^2 = 2gx$.

Далее, для того чтобы велосипедист, достигнув высшей точки кругового пути, не упал вниз, нужно (ср. с. 269–270), чтобы развивающееся при этом центростремительное ускорение было больше, нежели ускорение тяжести, т. е. надо, чтобы

$$\frac{v^2}{r} > g, \quad \text{или} \quad v^2 > gr.$$

Но мы уже знаем, что $v^2 = 2gx$; следовательно, $2gx > gr$, или

$$x > \frac{r}{2}.$$

Итак, мы узнали, что для успешного выполнения этого головоломного фокуса необходимо устроить «чертову петлю» так, чтобы вершина наклонной части пути возвышалась над верхней точкой петли больше чем на $^1/_2$ ее радиуса, или более чем на $^1/_4$ ее диаметра. Крутизна наклона, как видите, роли не играет — нужно только, чтобы пункт, с которого велосипедист начинает спускаться, возвышался над вершиной петли больше чем на $^1/_4$ ее поперечника. Если, например, петля имеет в поперечнике 16 м, то артист должен начать спуск не меньше чем с 20-метровой высоты. Не выполни он этого условия, никакое искусство не поможет ему описать «чертову петлю»: достигнув ее верхней части, он неминуемо упадет вниз.

Надо заметить, что при исполнении этого трюка велосипедист едет без цепи, предоставляя машину действию тяжести: ни ускорять, ни замедлять своего движения он не может, да и не должен. Все его искусство в том, чтобы держаться середины деревянной дорожки; при малейшем уклонении артист рискует съехать с дорожки и быть с огромной силой отброшенным в сторону. Скорость движения по кругу весьма велика: при круге с поперечником 16 м ездок совершает оборот за 3 секунды. Это соответствует скорости 60 км/ч! Управлять велосипедом при такой быстроте, конечно, мудрено; но этого и не надо; можно смело положиться на законы механики. «Сам по себе велосипедный трюк, — читаем мы в брошюре, составленной профессионалом**, — при правильном расчете и прочной конструкции аппарата не опасен. Опасность трюка лежит в самом артисте. Если

* При этом мы пренебрегаем энергией вращающихся ободов велосипедных колес; влияние этого обстоятельства на результат расчета незначительно.

** Бостонс, «Велосипедные аттракционы».

рука артиста дрогнет, если он будет взволнован, потеряет самообладание, если ему неожиданно сделается дурно, то можно ожидать всего».

На этом же законе покоится всем известная «мертвая петля» и другие фигуры высшего пилотажа. В «мертвой петле» первостепенную роль играет правильный «разгон» пилота по кривой и умелое управление мотором.

Нехватка в весе

Какой-то шутник объявил однажды, что знает способ без обмана обвешивать покупателей. Секрет состоит в том, чтобы покупать товары в странах экваториальных, а продавать — поближе к полюсам. Давно известно, что близ экватора вещи имеют меньший вес, нежели близ полюсов; 1 кг, перенесенный с экватора на полюс, прибавится в весе на 5 г. Надо пользоваться, однако, не обыкновенными весами, а пружинными, притом изготовленными (градуированными) на экваторе, — иначе никакой выгоды не получится: товар станет тяжелее, но и на столько же тяжелее сделаются гири. Если купить тонну золота где-нибудь в Перу, а сбыть ее, скажем, в Исландии, то можно, пожалуй, на этом кое-что заработать — при бесплатном провозе, разумеется.

Не думаю, чтобы подобная торговля могла кого-нибудь обогатить, но по существу шутник прав: сила тяжести действительно увеличивается с удалением от экватора. Происходит это оттого, что тела на экваторе описывают при вращении Земли самые большие круги, а также и оттого, что земной шар как бы вздут у экватора.

Главная доля недостачи веса обусловлена вращением Земли; оно уменьшает вес тела близ экватора на $^{1}/_{290}$ долю по сравнению с весом того же тела у полюсов.

Разница в весе при переносе тела с одной широты на другую для легких тел ничтожна. Но для предметов грузных она может достигнуть величины довольно солидной. Вы и не подозревали, например, что паровоз, весящий в Москве 60 т, становится по прибытии в Архангельск на 60 кг тяжелее, а в Одессу — на столько же легче. С острова Шпицбергена ежегодно вывозят в более южные порты до 300 000 т угля. Если бы это количество было доставлено в какой-нибудь экваториальный порт, то там обнаружена была бы недостача

в 1200 т, будь груз перевешен при приемке на пружинных весах, вывезенных со Шпицбергена. Линкор, весивший в Архангельске 20 000 т, по прибытии в экваториальные воды становится легче тонн на 80; но это остается неощутимым, так как соответственно становятся легче и все другие тела, не исключая, конечно, и воды в океане*.

Если бы земной шар вращался вокруг своей оси быстрее, чем теперь, — например, если бы сутки длились не 24 часа, а, скажем, 4 часа, — то разница в весе тел на экваторе и полюсах была бы заметна резче. При четырехчасовых сутках, например, гиря, весящая на полюсе 1 кг, весила бы на экваторе всего 875 г. Именно таковы приблизительно условия тяжести на Сатурне: близ полюсов этой планеты все тела на $^1/_6$ тяжелее, чем на экваторе.

Так как центростремительное ускорение возрастает пропорционально квадрату скорости, то нетрудно вычислить, при какой быстроте вращения оно на земном экваторе должно стать в 290 раз более, т. е. сравняться с силой притяжения. Это наступит при скорости в 17 раз большей, нежели нынешняя (17 × 17 = почти 290). Тогда сила тяжести полностью будет расходоваться только на то, чтобы удерживать тела на круговом пути, не допускать двигаться за его пределами. В таком состоянии тела́ перестанут оказывать давление на свои опоры. Другими словами, если бы Земля вращалась в 17 раз скорее, вещи на экваторе *совсем не имели бы веса*! На Сатурне это наступило бы при скорости вращения всего в $2^1/_2$ раза большей, чем нынешняя.

---

* Поэтому, между прочим, судно сидит в экваториальных водах столь же глубоко, как и в полярных: оно хотя и делается легче, но на столько же легче становится и вытесняемая им вода.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ВСЕМИРНОЕ ТЯГОТЕНИЕ

Велика ли сила притяжения?

«Если бы мы не наблюдали ежеминутно падения тел, оно было бы для нас самым удивительным явлением», — писал знаменитый французский астроном Араго. Привычка делает то, что притяжение всех земных предметов Землей кажется нам естественным и обычным явлением. Но когда нам говорят, что предметы притягивают также и *друг друга*, мы не склонны этому верить, потому что ведь в обыденной жизни ничего подобного не замечается.

Почему, в самом деле, закон всеобщего притяжения не проявляется постоянно вокруг нас в обычной обстановке? Почему не видим мы, чтобы притягивали друг друга столы, арбузы, люди? Потому что для небольших предметов сила притяжения чрезвычайно мала. Приведу наглядный пример. Два человека, отстоящие на два метра друг от друга, несомненно притягивают один другого — но сила этого притяжения ничтожна: для людей среднего веса — менее $^{1}/_{100}$ миллиграмма. Это значит, что два человека притягивают друг друга с такою же силой, с какой гирька в $^{1}/_{100\,000}$ грамма давит на чашку весов; только чрезвычайно чувствительные весы научных лабораторий способны обнаружить столь ничтожный грузик! Такая сила, понятно, не может сдвинуть нас с места — этому мешает трение наших подошв о пол. Чтобы сдвинуть нас, например, на деревянном полу (сила трения подошв о пол равна 30% веса тела), нужна сила не меньше 20 кг. Смешно даже сравнивать эту силу с ничтожной силой притяжения в одну сотую миллиграмма. Миллиграмм — тысячная часть грамма; грамм — тысячная часть килограмма; значит, 0,01 мг составляет половину *одной миллиардной* доли той силы, которая нужна, чтобы сдвинуть нас с места! Удивительно ли, что при обычных условиях мы не замечаем и намека на взаимное притяжение земных тел?

Другое дело, если бы трения не существовало; тогда ничто не мешало бы даже и слабому притяжению вызвать сближение тел. Но

при силе в 0,01 мг *быстрота* этого движения людей должна быть совершенно ничтожна. Можно вычислить, что при отсутствии трения два человека, отстоящие на расстоянии 2 м, в течение первого часа придвинулись бы друг к другу на 3 см; в течение следующего часа они сблизились бы еще на 9 см; в течение третьего часа — еще на 15 см. Движение все ускорялось бы, но вплотную оба человека сблизились бы не ранее чем через пять часов.

Так ничтожна сила тяготения между небольшими массами! При увеличении масс она возрастает пропорционально их произведению. Но тут многие склонны преувеличивать эту силу. Один ученый — правда, не физик, а зоолог — пытался уверить меня, что взаимное притяжение, наблюдаемое нередко между морскими судами, вызывается силой всемирного тяготения! Нетрудно показать вычислением, что тяготение здесь ни при чем: два линейных корабля, в 25 000 т каждый, на расстоянии 100 м притягивают друг друга с силой всего 400 г. Разумеется, такая сила недостаточна, чтобы сообщить кораблям в воде хотя бы ничтожное перемещение. Истинную же причину загадочного притяжения кораблей объясним позже, в главе о свойствах жидкостей.

Ничтожная для небольших масс сила тяготения становится весьма ощутимой, когда речь идет о колоссальных массах небесных тел. Так, даже Нептун, страшно далекая от нас планета, медленно кружащаяся почти на краю Солнечной системы, шлет нам свой «привет», притягивая Землю с силою 18 миллионов тонн! Несмотря на невообразимо огромное расстояние, отделяющее нас от Солнца, Земля удерживается на своей орбите единственно лишь силой тяготения.

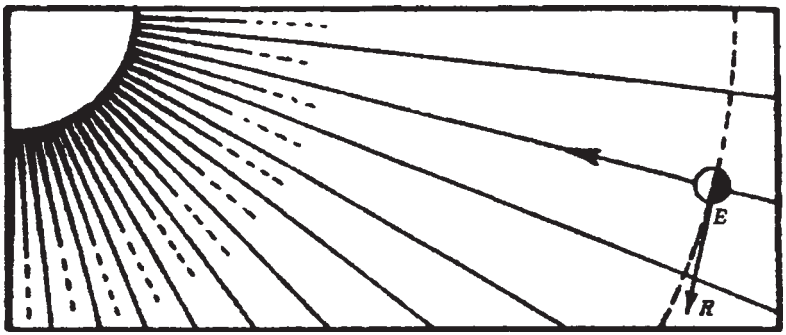


Рис. 44. Притяжение Солнца искривляет путь Земли *E*. Вследствие инерции земной шар стремится умчаться по касательной линии *ER*

Если бы сила солнечного притяжения почему-либо исчезла, Земля полетела бы по линии, касательной к ее орбите (рис. 44), и навеки умчалась бы в бездонную глубь мирового пространства.

Стальной канат от Земли до Солнца

Вообразите, что могущественное притяжение Солнца почему-либо в самом деле исчезло и Земле предстоит печальная участь навсегда удалиться в холодные и мрачные пустыни Вселенной. Вы можете представить себе — здесь необходима фантазия, — что инженеры решили, так сказать, заменить невидимые цепи притяжения материальными связями, т. е. попросту задумали соединить Землю с Солнцем крепкими стальными канатами, которые должны удерживать земной шар на круговом пути в его беге вокруг Солнца. Что может быть крепче стали, способной выдержать натяжение в 100 кг на каждый квадратный миллиметр? Представьте себе мощную стальную колонну, поперечником в 5 м. Площадь ее сечения заключает круглым счетом 20 000 000 мм^2; следовательно, такая колонна разрывается лишь от груза в 2 000 000 000 кг, или два миллиона тонн. Вообразите далее, что колонна эта простирается от Земли до самого Солнца, соединяя оба светила. Знаете ли вы, сколько таких могучих колонн потребовалось бы для удержания Земли на ее орбите? Миллион миллионов! Чтобы нагляднее представить себе этот лес стальных колонн, густо усеивающих все материки и океаны, прибавлю, что при равномерном распределении их по всей обращенной к Солнцу половине земного шара промежутки между соседними колоннами были бы лишь немногим шире самих колонн. Вообразите силу, необходимую для разрыва этого огромного леса стальных колонн, и вы получите представление о могуществе невидимой силы взаимного притяжения Земли и Солнца.

И вся эта колоссальная сила проявляется лишь в том, что, искривляя путь движения Земли, каждую секунду заставляет Землю уклоняться от касательной на 3 мм; благодаря этому путь нашей планеты и превращается в замкнутый, эллиптический. Не странно ли: чтобы придвигать Землю каждую секунду на 3 мм — толщину этой строки, — нужна такая исполинская сила! Это только показывает, как огромна *масса* земного шара, если даже столь чудовищная сила может сообщить ей лишь весьма незначительное перемещение.

Можно ли укрыться от силы тяготения?

Сейчас мы фантазировали о том, что было бы, если бы взаимное притяжение между Солнцем и Землей исчезло. Освободившись от невидимых цепей притяжения, Земля умчалась бы в бесконечный простор Вселенной. Теперь пофантазируем на другую тему: что стало бы со всеми земными предметами, если бы не было тяжести? Ничто не привязывало бы их к нашей планете, и при малейшем толчке они уносились бы прочь в межпланетное пространство. Не пришлось бы, впрочем, дожидаться и толчка: вращение нашей планеты раскидало бы в пространство все, что непрочно связано с ее поверхностью.

Английский писатель Уэллс воспользовался подобного рода идеей, чтобы описать в романе фантастическое путешествие на Луну. В этом произведении («Первые люди на Луне») остроумный романист указывает на очень оригинальный способ путешествовать с планеты на планету. А именно: ученый герой его романа изобрел особый состав, который обладает замечательным свойством — непроницаемостью для силы тяготения. Если слой такого состава подвести под какое-нибудь тело, оно освободится от притяжения Земли и станет невесомым. Это фантастическое вещество Уэллс назвал «кеворитом» — по имени его вымышленного изобретателя Кевора.

> «Мы знаем, — пишет романист, — что для всемирного тяготения, то есть для силы тяжести, проницаемы все тела. Вы можете поставить преграды, чтобы отрезать лучам света доступ к предметам; с помощью металлических листов можете оградить предмет от доступа электрических волн радиотелеграфа, — но никакими преградами не можете вы защитить предмет от действия тяготения Солнца или от силы земной тяжести. Отчего, собственно, в природе нет подобных преград для тяготения, трудно сказать. Однако Кевор не видел причин, почему бы и не существовать такому веществу, непроницаемому для тяготения; он считал себя способным искусственно создать такое непроницаемое для тяготения вещество.
>
> Всякий обладающий хоть искрой воображения легко представит себе, какие необычайные возможности открывает перед нами подобное вещество. Если, например, нужно поднять груз, то, как бы огромен он ни был, достаточно будет разостлать под ним лист из этого вещества — и груз можно будет поднять хоть соломинкой».

Обладая таким замечательным веществом, герои романа сооружают небесный корабль, в котором и совершают смелый полет на Луну. Устройство снаряда весьма несложно: в нем нет никакого дви-

гательного механизма, так как он перемещается действием притяжения светил.

Вот описание этого фантастического снаряда:

«Вообразите себе шарообразный снаряд, достаточно просторный, чтобы вместить двух человек с их багажом. Снаряд будет иметь две оболочки — внутреннюю и наружную; внутренняя из толстого стекла, наружная — стальная. Можно взять с собой запас сгущенного воздуха, концентрированной пищи, аппараты для дистилляции воды и т. п. Стальной шар будет весь снаружи покрыт слоем „кеворита“. Внутренняя стеклянная оболочка будет сплошная, кроме люка; стальная же будет состоять из отдельных частей, и каждая такая часть может сворачиваться, как штора. Это легко устроить посредством особых пружин; шторы можно будет опускать и свертывать электрическим током, проводимым по платиновым проводам в стеклянной оболочке. Но это уже технические подробности. Главное то, что наружная оболочка снаряда будет вся состоять как бы из окон и „кеворитных“ штор. Когда все шторы наглухо спущены, внутрь шара не может проникнуть ни свет, ни какой-либо вообще вид лучистой энергии, ни сила всемирного тяготения. Но вообразите, что одна из штор поднята, — тогда любое массивное тело, которое случайно находится вдали против этого окна, притянет нас к себе. Практически мы сможем путешествовать в мировом пространстве в том направлении, в каком пожелаем, притягиваемые то одним, то другим небесным телом».

Как полетели на Луну герои Уэллса

Интересно описан у романиста самый момент отправления межпланетного вагона в путь. Тонкий слой «кеворита», покрывающий наружную поверхность снаряда, делает его как бы совершенно невесомым. Вы понимаете, что невесомое тело не может лежать спокойно на дне воздушного океана; с ним должно произойти то же, что произошло бы с пробкой, погруженной на дно озера: пробка быстро всплыла бы на поверхность воды. Точно также невесомый снаряд — отбрасываемый к тому же и инерцией вращения земного шара — должен стремительно взлететь ввысь и, дойдя до крайних границ атмосферы, свободно продолжать свой путь в мировом пространстве. Герои романа так и полетели. А очутившись в мировом пространстве, они, открывая одни заслонки, закрывая другие, подвергая внутренность снаряда притяжению то Солнца, то Земли, то Луны, добрались до поверхности нашего спутника. Впоследствии один из путешественников в том же снаряде возвратился на Землю.

Не будем останавливаться здесь на разборе идеи Уэллса по существу — это сделано мною в другом сочинении*, в котором я и выяснил ее несостоятельность. Поверим на минуту остроумному романисту и последуем за его героями на Луну.

Полчаса на Луне

Посмотрим, как чувствовали себя герои повести Уэллса, очутившись в мире, где тяжесть слабее, чем на Земле.

Вот эти любопытные страницы** романа «Первые люди на Луне». Рассказ ведется от лица одного из жителей Земли, только что прибывших на Луну.

«Я принялся вывинчивать крышку снаряда. Став на колени, я высунулся из люка: внизу, на расстоянии трех футов от моей головы, лежал девственный снег Луны.

Закутавшись в одеяло, Кевор сел на край люка и стал осторожно свешивать ноги. Спустив их до высоты полуфута над почвой, он после минутного колебания соскользнул вниз на почву лунного мира.

Я следил за ним через стеклянную оболочку шара. Пройдя несколько шагов, он постоял минуту, озираясь кругом, затем решился и — прыгнул вперед.

Стекло искажало его движения, но мне казалось, что это и в действительности был чересчур большой прыжок. Кевор сразу очутился от меня на расстоянии 6–10 метров. Стоя на скале, он делал мне какие-то знаки; возможно, что он и кричал, — однако звуки не достигали меня... Но как он проделал свой прыжок?

Озадаченный, я пролез через люк и тоже спустился вниз, очутившись на краю снежной выемки. Сделав шаг вперед, я прыгнул.

Я почувствовал, что лечу, и вскоре очутился близ скалы, на которой стоял поджидавший меня Кевор; ухватившись за нее, я повис в страшном изумлении.

Кевор, нагнувшись, кричал мне визгливым голосом, чтобы я был осторожнее.

Я и забыл, что на Луне сила тяжести в шесть раз слабее, нежели на Земле. Действительность сама напоминала мне об этом.

Осторожно, сдерживая свои движения, я поднялся на вершину скалы и, ступая, словно больной ревматизмом, стал на солнце рядом с Кевором. Снаряд наш лежал на тающем сугробе снега, футах в тридцати от нас.

---

* «Межпланетные путешествия».

** Отрывок приведен здесь с несущественными пропусками.

— Посмотрите, — обратился я, поворачиваясь к Кевору. Но Кевор исчез.

Одно мгновение я стоял, пораженный этой неожиданностью, затем, желая заглянуть за край скалы, поспешно шагнул вперед, совершенно забыв, что я на Луне. Усилие, которое я сделал, подвинуло бы меня на один метр, будь я на Земле; на Луне же оно подвинуло меня на 6 метров, и я очутился в 5 метрах за краем скалы.

Я испытывал то ощущение витания в пространстве, которое приходится переживать во сне, когда снится, будто падаешь в бездну. На Земле человек, падая, опускается в течение первой секунды на 5 метров, на Луне же он проходит при падении в первую секунду 80 сантиметров. Вот почему я плавно порхнул вниз на глубину метров девяти. Падение показалось мне продолжительным; оно длилось секунды три. Я поплыл в воздухе и опустился плавно, как пушинка, увязши по колено в снежном сугробе на дне скалистой долины.

— Кевор! — крикнул я, осматриваясь кругом.

Но нигде не было и следов его.

— Кевор! — крикнул я громче.

И вдруг я увидел его: он смеялся и делал мне знаки, стоя на голом утесе, метрах в двадцати от меня. Я не мог слышать слов, но понял смысл его жестов: он приглашал меня прыгнуть к нему.

Я колебался: расстояние казалось мне слишком огромным. Но скоро я сообразил, что раз Кевор проделал такой прыжок, то, наверное, удастся прыгнуть и мне.

Отступив на шаг, я прыгнул изо всех сил. Стрелой взвился я в воздух и, казалось, никогда не опущусь вниз. Это был фантастический полет — чудовищный, как в сновидении, но в то же время восхитительно приятный.

Прыжок оказался слишком сильным: я перелетел над головой Кевора».

Стрельба на Луне

Следующий эпизод, взятый из повести выдающегося советского изобретателя К. Э. Циолковского «На Луне», поможет нам уяснить условия движения под действием силы тяжести. На Земле атмосфера, препятствуя движению в ней тел, заслоняет от нас простые законы падения, усложняя их добавочными условиями. На Луне воздух отсутствует совершенно. Луна была бы превосходной лабораторией для изучения падения тел, если бы мы могли на ней очутиться и заниматься там научными исследованиями.

Обращаясь к эпизоду повести, поясним, что два собеседника приводимого далее отрывка находятся на Луне и желают исследовать, как будут двигаться там пули, вылетевшие из ружья.

«— Но будет ли тут работать порох?

— Взрывчатые вещества в пустоте должны проявлять себя даже с большей силой, чем в воздухе, так как последний только препятствует их расширению; что же касается кислорода, то они в нем не нуждаются, потому что все необходимое его количество заключается в них самих.

— Установим ружье вертикально, чтобы пулю после взрыва отыскать поблизости...

Огонь, слабый звук*, легкое сотрясение почвы.

— Где же пыж? Он должен быть тут, поблизости.

— Пыж улетел вместе с пулей и едва ли от нее отстанет, так как только атмосфера мешает ему на Земле поспевать за свинцом; здесь же пух падает и летит вверх с такой же стремительностью, как и камень. Возьми пушинку, торчащую из подушки, а я возьму чугунный шарик. Ты можешь кидать свою пушинку и попадать ею в цель, даже отдаленную, с таким же удобством, как я шариком. Я могу, при малой тяжести, кинуть шарик метров на 400; ты на такое же расстояние можешь бросить пушинку; правда, ты никого ею не убьешь и при бросании даже не почувствуешь, что ты что-нибудь бросаешь. Бросим наши метательные снаряды изо всех сил — которые у нас не очень различны — и в одну цель: вон в тот красный гранит...

Пушинка опередила немного чугунный шарик, как бы увлекаемая сильным вихрем.

— Но что это? Со времени выстрела прошло три минуты, а пули нет!

— Подожди две минуты, и она, наверное, вернется.

Действительно, через указанный срок мы ощущаем легкое сотрясение почвы и видим прыгающий невдалеке пыж.

— Как долго летала пуля! На какую же высоту она должна подняться?

— Километров на семьдесят. Эту высоту создают малая тяжесть и отсутствие воздушного сопротивления».

Проверим. Если для скорости пули в момент вылета из ружейного ствола взять сравнительно скромную цифру 500 м/с (для современных ружей это раза в полтора меньше действительной), то высота поднятия на *Земле*, *при отсутствии атмосферы*, была бы:

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{500^2}{2 \times 10} = 12\,500 \text{ м},$$

т. е. $12^1/_2$ км. На Луне же, где напряжение тяжести в 6 раз слабее, вместо g надо взять $^{10}/_6$ м/с^2; достигаемая пулей высота должна равняться:

$$12\,500 \times 6 = 75 \text{ км}.$$

* Звук, передаваемый через почву и тела людей, а не через воздух, которого на Луне нет.

В бездонном колодце

О том, что делается в глубоких недрах нашей планеты, ученым известно пока очень мало. Одни полагают, что под твердой корой в сотню километров толщины начинается огненно-жидкая масса; другие считают весь земной шар отвердевшим до самого центра. Решить вопрос трудно: ведь самая глубокая шахта простирается не глубже $2^1/_2$ км*, а радиус земного шара равен 6400 км. Если бы можно было просверлить через нашу планету сквозной колодец, прорезающий земной шар по диаметру, — тогда подобные вопросы, разумеется, были бы разрешены. Современная техника далека еще от возможности осуществления подобных предприятий, — хотя все прорытые в земной коре буровые скважины, взятые вместе, составили бы длину, превышающую диаметр нашей планеты.

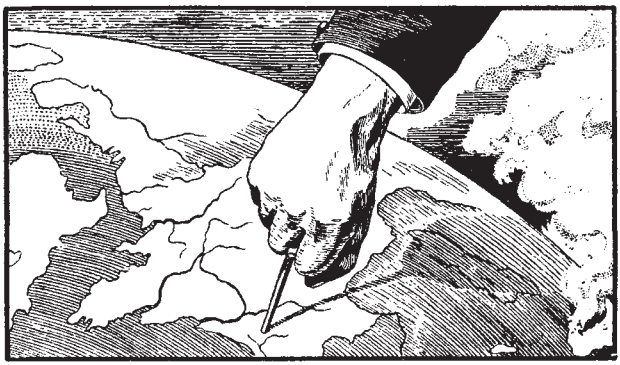


Рис. 45. Если просверлить земной шар по диаметру...

О прорытии сквозного туннеля через земной шар мечтали в XVIII веке знаменитый математик Мопертюи и философ Вольтер. К этому проекту — правда, в ином, более скромном масштабе — вернулся французский астроном Фламмарион; мы воспроизводим здесь заглавный рисунок его статьи, посвященной этой теме (рис. 45).

---

* Такую глубину имеет шахта, прорытая в 1932 г. в Южной Африке в золотом руднике Вилейдж Дип. Второе место в мире по глубине (около 2300 м) занимает бразильский золотой рудник Морро Вельхо, о котором мы еще будем говорить в шестой главе. Глубочайшая шахта нашего Союза — «Новая Смолянка» в Донбассе — достигает 900 м.

Глубже проникает в земную кору бурильное долото; самая глубокая нефтяная скважина заложена в Техасе (США): она достигает 3835 м.

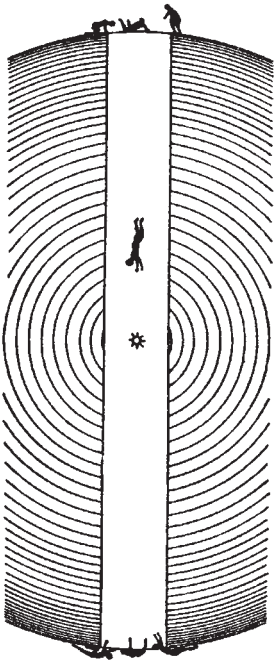


Рис. 46. Упав в колодец, прорытый через центр земного шара, тело будет качаться безостановочно от одного конца колодца до другого, совершая каждое полное качание в течение 1 часа 24 минут

Ничего подобного, конечно, пока еще не сделано; но воспользуемся воображаемым бездонным колодцем, чтобы заняться одной любопытной задачей. Как вы думаете, что было бы с вами, если бы вы упали в такой бездонный колодец (о сопротивлении воздуха на время забудем)? Разбиться о дно вы не можете — дна здесь не существует, — но где же вы остановитесь?

В центре Земли? Нет.

Когда вы долетите до центра, тело ваше будет иметь такую колоссальную скорость (около 8 км/с), что об остановке в этой точке не может быть и речи. Вы промчитесь далее и будете нестись, постепенно замедляя движение, пока не поравняетесь с краями противоположного конца колодца. Здесь надо будет вам покрепче ухватиться за края — иначе вы вновь проделаете прогулку через весь колодец до другого конца. Если и тут не удастся вам ухватиться за что-нибудь, вы опять полетите в колодец и будете качаться так без конца. Механика учит, что при таких условиях (если только, повторяю, пренебречь сопротивлением воздуха в колодце) тело должно качаться туда и назад вечно*.

Какова была бы продолжительность одного такого качания? Оказывается, что весь путь, туда и обратно, занял бы 84 минуты 24 секунды, т. е. круглым счетом полтора часа.

«Так было бы, — продолжает французский астроном, — если бы колодец вырыт был по оси от полюса до полюса. Но достаточно перенести точку отправления на какую-либо иную широту — на материк Европы, Азии или Африки, — и придется принять в расчет влияние вращения Земли. Известно, что каждая точка земной поверхности пробегает на экваторе 465 м/с, а на широте Парижа — 300 м/с. Так как окружная скорость *возрастает* с удалением от оси вращения, то свинцовый шарик, напри-

* При наличии же сопротивления воздуха качания будут постепенно затухать, и дело кончится тем, что человек остановится в центре Земли.

мер брошенный в колодец, не падает по вертикали, а уклоняется несколько к востоку. Если вырыть бездонный колодец на экваторе, то ширина его должна быть весьма значительна либо же он должен быть сильно скошен, потому что тело, падающее с поверхности Земли, пронеслось бы далеко к востоку от ее центра.

Если бы входное отверстие колодца находилось на одном из плоскогорий Южной Америки, на высоте, положим, двух километров, а противоположный конец туннеля приходился на уровне океана, то человек, который по неосторожности свалился бы в американское отверстие, достиг бы противоположного конца с такою скоростью, что вылетел бы из него на высоту двух километров.

А если бы оба конца колодца приходились на уровне океана, можно было бы подать летящему человеку руку в момент появления его у отверстия, когда скорость полета равняется нулю. В предыдущем же случае следовало бы, напротив, с опаскою посторониться от чересчур стремительного путешественника».

Сказочная дорога

В начале XX века в Санкт-Петербурге появилась брошюра со странным заглавием: «Самокатная подземная железная дорога между С.-Петербургом и Москвой. Фантастический роман пока в трех главах, да и то неоконченных». Автор этой брошюры, А. А. Родных, предлагает остроумный проект, с которым интересно познакомиться любителю физических парадоксов.

Проект состоит «в проведении 600-километрового туннеля, который должен соединить обе наши столицы по совершенно прямой подземной линии. Таким образом, впервые явилась бы возможность для человечества совершать путь по прямой, а не ходить кривыми путями, как это было до сих пор». (Автор хочет сказать, что все наши дороги, подчиняясь кривизне земной поверхности, следуют по дугам, между тем как проектируемый туннель пройдет по прямой линии — по хорде.)

Такой туннель, если бы его можно было прорыть, имел бы удивительное свойство, каким не обладает ни одна дорога в мире. Оно заключается в том, что любой экипаж в подобном туннеле *должен двигаться сам собой*. Вспомним наш подземный колодец, пробуравливающий земной шар. Ленинградо-московский туннель — тот же колодец, только просверленный не по диаметру, а по хорде. Правда, при взгляде на рис. 47 может казаться, что туннель прорыт горизонтально и что поезду, следовательно, нет причины катиться по нему



Рис. 47. Если бы прорыть туннель между Ленинградом и Москвой, то поезда мчались бы в нем туда и обратно собственным весом, без паровозов

в силу тяжести. Но это лишь обман зрения: проведите мысленно радиусы к концам туннеля (направление радиуса есть направление отвеса); вы поймете тогда, что туннель прорыт не под прямым углом к отвесу, т. е. не горизонтально, а *наклонно*.

В таком косом колодце всякое тело должно качаться, увлекаемое силою тяжести, вперед и назад, все время прижимаясь ко дну. Если в туннеле устроить рельсы, то железнодорожный вагон будет сам катиться по ним: вес заменит тягу паровоза. Вначале поезд будет двигаться очень медленно. С каждой секундой скорость самокатного поезда будет возрастать; вскоре она дойдет до невообразимой величины, так что воздух в туннеле будет уже заметно мешать его движению. Но забудем на время об этом досадном препятствии, мешающем осуществлению многих заманчивых проектов, и проследим за поездом дальше. Домчавшись до середины туннеля, поезд будет обладать такой огромной скоростью — во много раз быстрее пушечного снаряда! — что с разбега докатится почти до противоположного конца туннеля. Если бы не трение, не было бы и этого «почти»: поезд без паровоза сам доехал бы из Ленинграда в Москву. Продолжительность перелета в один конец, как показывает расчет, — та же, что и для падения сквозь туннель, прорытый по диаметру: 42 минуты 12 секунд. Странным образом она не зависит от длины туннеля; путешествия в туннеле Москва — Ленинград, Москва — Владивосток или Москва — Мельбурн продолжались бы одинаковое время*.

То же повторялось бы с любым другим экипажем: дрезиной, каретой, автомобилем и т. д. Поистине сказочная дорога, которая, сама оставаясь неподвижной, мчит по себе все экипажи от одного конца до другого, и притом с невообразимой быстротой!

(Интересующиеся математической стороной этой задачи могут найти подробный разбор ее в моей статье, напечатанной в журнале «Математика и физика в школе», 1936, № 3, с. 106–107.)

* Можно доказать еще и другое, не менее любопытное положение, относящееся к бездонному колодцу: продолжительность качания зависит не от размера планеты, а только от ее плотности.

Как роют туннели?

Взгляните на рис. 48, изображающий три способа проведения туннелей, и скажите: какой из них прорыт горизонтально?

Не верхний и не нижний, а средний, идущий по дуге, которая во всех точках образует прямые углы с направлением отвесных линий (или земных радиусов). Это и есть горизонтальный туннель — его изгиб вполне соответствует кривизне земной поверхности.

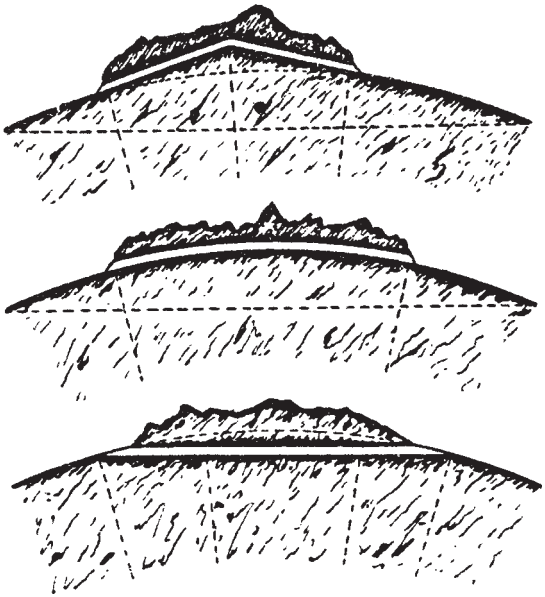


Рис. 48. Три способа прокладывать туннели сквозь горы

Большие туннели прорывают обыкновенно так, как показано вверху рис. 48: по прямым линиям, касательным к земной поверхности в крайних точках туннеля. Такой туннель сначала идет немного *вверх*, затем *вниз*. Он представляет то удобство, что вода не застаивается в нем, а сама стекает к краям.

Если бы туннель рылся строго горизонтально, то длинный туннель имел бы дугообразную форму. Вода не имела бы стремления вытекать из него, так как в каждой его точке находилась бы в равновесии. Когда такой туннель длиннее 15 км (Симплонский, например, имеет в длину 20 км), то, стоя у одного выхода, нельзя видеть другого: луч зрения упирается в потолок, так как средняя точка та-

кого туннеля более чем на 4 м возвышается над его конечными точками.

Наконец, если прорыть туннель по прямой линии, соединяющей крайние точки, он будет с обоих концов иметь легкий наклон *вниз* к середине. Вода не только не будет вытекать из него, но, напротив, скопится в средней, самой низкой его части. Зато, стоя у одного конца такого туннеля, можно будет видеть другой. Прилагаемые рисунки поясняют сказанное*.

* Из изложенного следует, между прочим, что все горизонтальные линии — кривые; прямых горизонтальных линий быть не может. Вертикальные же, напротив, могут быть только прямые.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ПУТЕШЕСТВИЕ В ПУШЕЧНОМ СНАРЯДЕ

В заключение наших бесед о законах движения и силе притяжения разберем то фантастическое путешествие на Луну, которое так занимательно описано Жюлем Верном в романах «С Земли на Луну» и «Вокруг Луны»*. Вы, конечно, помните, что члены Пушечного клуба Балтиморы, обреченные на бездеятельность с окончанием Североамериканской войны, решили отлить исполинскую пушку, зарядить ее огромным полым снарядом и, посадив внутрь пассажиров, выстрелом отправить снаряд-вагон на Луну.

Фантастична ли эта мысль? И прежде всего: можно ли сообщить телу такую скорость, чтобы оно безвозвратно покинуло земную поверхность?

Ньютонова гора

Предоставим слово гениальному Ньютону, открывшему закон всемирного тяготения. В своих «Математических началах физики» он пишет (приводим это место ради облегчения понимания в вольном переводе):

> «Брошенный камень под действием тяжести отклоняется от прямолинейного пути и падает на Землю, описывая кривую линию. Если бросить камень с большею скоростью, то он полетит дальше; поэтому может случиться, что он опишет дугу в десять, сто, тысячу миль и наконец выйдет за пределы Земли и не вернется на нее больше. Пусть *AFB* (рис. 49) представляет поверхность Земли, *C* — ее центр, а *UD*, *UE*, *UF* — кривые линии, которые описывает тело, бросаемое в горизонтальном направлении с очень высокой горы с все большей и большей скоростью. Мы не принимаем во внимание противодействия атмосферы, т. е. предполагаем, что она совершенно отсутствует. При меньшей первоначальной скорости тело описывает кривую *UD*, при большей скорости — кривую *UE*, при

* Русский перевод (Марко Вовчок) озаглавлен «Из пушки на Луну». Он вышел под редакцией Я. Перельмана в «Детиздате» в 1936 г.

еще бóльших скоростях — кривые *UF*, *UG*. При некоторой скорости тело обойдет вокруг всей Земли и возвратится к вершине горы, с которой его бросили. Так как при возвращении к исходному пункту скорость тела будет не *меньше*, чем в самом начале, то *тело* будет продолжать двигаться и *дальше* по той же кривой».

Если бы на этой воображаемой горе была пушка, то выброшенный ею снаряд при известной скорости никогда не упал бы обратно на Землю, а стал бы безостановочно кружиться вокруг земного шара. Путем довольно простого расчета* нетрудно определить, что это должно наступить при скорости около 8 км/с. Другими словами, снаряд, извергаемый пушкой со скоростью восемь километров в секунду, навсегда покидает поверхность земного шара и становится как бы спутником нашей планеты. Он будет мчаться в 17 раз быстрее, чем какая-либо точка на экваторе, и опишет полный оборот вокруг нашей планеты за 1 час 24 минут. Если же сообщить снаряду бóльшую скорость, он будет вращаться около Земли уже не по кругу, а по более или менее вытянутому эллипсу, удаляясь от Земли на огромное расстояние. При еще большей начальной скорости снаряд навсегда удалится от нашей планеты в мировое пространство. Это должно наступить при начальной скорости около 11 км/с. (Во всех этих рассуждениях имеются в виду снаряды, движущиеся в *пустом* пространстве, а не в воздушной среде.)

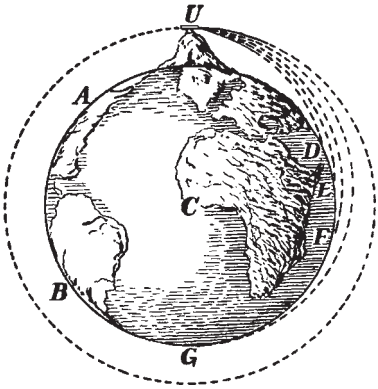


Рис. 49. Как должны падать камни, бросаемые на вершине горы с огромной скоростью в горизонтальном направлении

Итак, если бы не существовало атмосферы, ничего невозможного не было бы в мысли перебросить на Луну какое-либо земное тело. Теперь посмотрим, можно ли осуществить это теми средствами, которые предлагал Жюль Верн. Современные пушки сообщают снарядам скорость не более двух километров в первую секунду. Это в пять раз меньше той скорости, с какой тело может полететь на Луну. Герои романов думали, что, соорудив исполинскую пушку и зарядив ее огромным количеством взрывчатых веществ, им удастся получить скорость, достаточную, чтобы отправить снаряд на Луну.

* См. «Занимательную физику» (книга первая, глава вторая).

Фантастическая пушка

И вот члены Пушечного клуба отливают гигантскую пушку, длиной в четверть километра, отвесно врытую в землю. Изготавливается соответственно огромный снаряд, который внутри представляет собою каюту для пассажиров. Вес его — 8 т. Заряжают пушку хлопчатобумажным порохом — пироксилином — в количестве 160 т. В результате взрыва снаряд, если верить романисту, приобретает скорость 16 км/с, но вследствие трения о воздух скорость эта уменьшается до 11 км/с. Таким образом, очутившись за пределами атмосферы, жюльверновский снаряд обладает скоростью, достаточной, чтобы долететь до Луны.

Так описывается в романе. Что же может сказать об этом физика?

Проект Жюля Верна уязвим совсем не в том пункте, куда обычно направляется сомнение читателя. Во-первых, можно доказать (я доказываю это в книге «Межпланетные путешествия»), что пороховые пушки никогда не смогут сообщить снарядам скорости, большей 3 км/с.

Кроме того, Жюль Верн не посчитался с сопротивлением воздуха, которое при такой огромной скорости должно быть весьма велико и совершенно изменить картину полета. Но и помимо этого имеются серьезные возражения против проекта полета на Луну в артиллерийском снаряде.

Главные опасения вызывает участь самих пассажиров. Не думайте, что опасность грозит им во время полета от Земли до Луны. Если бы им удалось остаться живыми к тому моменту, когда они покинут жерло пушки, то во время дальнейшего путешествия им нечего уже было бы опасаться. Огромная скорость, с которой пассажиры будут мчаться в мировом пространстве вместе с их вагоном, столь же безвредна для них, как безвредна для нас, обитателей Земли, та еще большая скорость, с какой земной шар мчится вокруг Солнца.

Тяжелая шляпа

Самый опасный момент для наших путешественников представили бы те несколько сотых долей секунды, в течение которых каюта-снаряд движется в канале пушки. Ведь в течение этого ничтожно малого промежутка времени скорость, с какою пассажиры будут двигаться в пушке, должна возрасти от нуля до 16 километров в секунду!

Недаром в романе пассажиры с таким трепетом ожидали выстрела. И Барбикен был вполне прав, утверждая, что момент, когда снаряд полетит, будет для пассажиров столь же опасен, как если бы они находились не внутри, а впереди снаряда. Действительно: в момент выстрела нижняя площадка каюты ударит пассажиров снизу с такой же силой, с какой налетел бы снаряд на всякое тело, находящееся на его пути. Герои романа отнеслись к этой опасности чересчур легко, воображая, что отделаются в худшем случае только приливом крови к голове...

Дело обстоит серьезнее. В канале ствола снаряд движется ускоренно: скорость его растет под постоянным напором газов, образующихся при взрыве. В течение ничтожной доли секунды скорость эта возрастает от 0 до 16 км/с. Допустим для простоты, что возрастание скорости совершается равномерно; тогда ускорение, необходимое для того, чтобы в столь ничтожное время довести скорость снаряда до 16 км/с, достигнет здесь круглым счетом 600 км/с за секунду. (Вычисления приведены далее на с. 303.)

Роковое значение этой цифры мы вполне поймем, если вспомним, что обычное ускорение силы тяжести на земной поверхности равняется всего 10 м/с за секунду*. Отсюда следует, что каждый предмет внутри снаряда в момент выстрела оказывал бы на дно каюты давление, которое в 60 000 раз больше веса этого предмета. Другими словами: пассажиры чувствовали бы, что сделались словно в несколько десятков тысяч раз тяжелее! Под действием такой колоссальной тяжести они были бы мгновенно раздавлены. Один цилиндр мистера Барбикена весил бы в момент выстрела не менее 15 тонн (вес груженого вагона); такой шляпы слишком достаточно, чтобы раздавить ее владельца.

Правда, в романе описаны меры, принятые для ослабления удара: ядро снабжено пружинными буферами и двойным дном с водою, заполняющей пространство в нем. Продолжительность удара от этого немного растягивается и, следовательно, быстрота нарастания скорости ослабевает. Но при огромных силах, с которыми приходится здесь иметь дело, выгода от этих приспособлений получается мизерная. Сила, которая будет придавливать пассажиров к полу, уменьшается на ничтожную долю, — а не все ли равно, быть раздавленным шляпой в 15 или 14 тонн?!.

---

* Прибавлю еще, что ускорение гоночного автомобиля, начинающего свое быстрое движение, не превышает 2–3 м/с^2, а ускорение поезда, плавно отходящего от станции, — 1 м/с за секунду.

Как ослабить сотрясение?

Физика дает указание на то, как можно было бы ослабить роковую быстроту нарастания скорости.

Этого можно достигнуть, если во много *раз удлинить ствол пушки*.

Удлинение потребуется, однако, весьма значительное, если мы хотим, чтобы в момент выстрела сила «искусственной» тяжести внутри снаряда равнялась обыкновенной тяжести на земном шаре. Приблизительный расчет показывает, что для этого нужно было бы изготовить пушку длиной ни мало ни много — в 6000 км! Другими словами, жюль-верновская «колумбиада» должна бы простираться вглубь земного шара до самого его центра... Тогда пассажиры могли бы быть избавлены от всяких неприятностей: к их обычному весу прибавился бы еще только такой же кажущийся вес вследствие медленного нарастания скорости, и они чувствовали бы, что стали всего вдвое тяжелее.

Впрочем, в течение краткого промежутка человеческий организм способен без вреда переносить увеличение тяжести в несколько раз. Когда мы скатываемся с ледяной горы вниз и здесь быстро меняем направление своего движения, вес наш в этот краткий миг заметно увеличивается, т. е. тело наше прижимается к санкам сильнее обычного. Увеличение тяжести раза в три переносится нами довольно благополучно. Если допустить, что человек может безвредно переносить в течение короткого времени даже десятикратное увеличение веса, то достаточно будет отлить пушку «всего» в 600 км длиною. Однако это мало утешительно, потому что и подобное сооружение лежит за пределами технически возможного.

Вот при каких лишь условиях мыслимо осуществление заманчивого проекта Жюля Верна: полететь на Луну в пушечном снаряде*.

---

* Описывая в романе условия жизни внутри летящего пушечного снаряда, Жюль Верн сделал существенное упущение, о котором подробно говорится в первой книге «Занимательной физики». Романист не принял в расчет, что после выстрела во все время перелета предметы внутри снаряда будут совершенно невесомы, так как сила тяжести сообщает одинаковые ускорения и снаряду, и всем телам в нем (см. также далее статью «Недостающая глава в романе Жюля Верна», с. 359). Невесомыми должны быть предметы и внутри того небесного корабля, о котором говорилось в статье «К звездам на ракете», с. 244. Подробнее об этом см. мои книги «Межпланетные путешествия», «Ракетой на Луну», «Циолковский», а также послесловие к книге Ж. Верна «Из пушки на Луну» — в изд. «Детгиза».

Для друзей математики

Среди читателей этой книги, без сомнения, найдутся и такие, которые пожелают сами проверить расчеты, упомянутые выше. Приводим здесь эти вычисления. Они верны лишь приблизительно, так как основаны на допущении, что в канале пушки снаряд движется равномерно-ускоренно (в действительности же возрастание скорости происходит неравномерно).

Для расчетов придется пользоваться следующими двумя формулами ускоренного движения:

скорость v по истечении t-й секунды равна at, где a — ускорение:

$$v = at;$$

пространство S, пройденное за t секунд, определяется формулой:

$$S = \frac{at^2}{2}.$$

По этим формулам определим прежде всего ускорение снаряда, когда он скользил в канале «колумбиады».

Из романа известна длина части пушки, не занятой зарядом, — 210 м; это и есть пройденный снарядом путь S.

Мы знаем и конечную скорость $v = 16\,000$ м/с. Данные S и v позволяют определить величину t — продолжительность движения снаряда в канале орудия (рассматривая это движение как равномерно-ускоренное). В самом деле:

$$v = at = 16\,000,$$

$$210 = S = \frac{at \times t}{2} = \frac{16\,000t}{2} = 8000t,$$

откуда

$$t = \frac{210}{8000} \approx \frac{1}{40} \text{ с.}$$

Снаряд, оказывается, скользил бы внутри пушки всего $^1/_{40}$ секунды!

Подставив $t = \frac{1}{40}$ в формулу $v = at$, имеем:

$$16\,000 = \frac{a}{40}, \text{ откуда } a = 640\,000 \text{ м/с}^2.$$

Значит, ускорение снаряда при движении в канале равно 640 000 м/с^2, т. е. в 64 000 раз больше ускорения силы тяжести!

Какой же длины должна быть пушка, чтобы ускорение снаряда было всего в 10 раз больше ускорения падающего тела (т. е. равнялось 100 м/с^2)?

Это задача, обратная той, которую мы сейчас решили. Данные: a = 100 м/с^2; v = 11 000 м/с (при отсутствии сопротивления атмосферы такая скорость достаточна).

Из формулы $v = at$ имеем: 11 000 = 100t, откуда t = 110 с.

Из формулы $S = \frac{at^2}{2} = \frac{at \times t}{2}$ получаем, что длина пушки должна равняться $\frac{11\,000 \times 110}{2}$ = 605 000 м, т. е. круглым счетом 600 км.

Такими вычислениями получены те цифры, которые разрушают заманчивые планы героев Жюля Верна.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Море, в котором нельзя утонуть

Такое море существует в стране, известной человечеству с древнейших времен. Это знаменитое Мертвое море Палестины. Воды его необыкновенно солены, настолько, что в них не может жить ни одно живое существо. Знойный, бездождный климат Палестины вызывает сильное испарение воды с поверхности моря. Но испаряется только чистая вода, растворенные же соли остаются в море и увеличивают соленость воды. Вот почему вода Мертвого моря содержит не 2 или 3 % соли (по весу), как большинство морей и океанов, а 27 % и более процентов; с глубиной соленость растет. Итак, четвертую часть содержимого Мертвого моря составляют соли, растворенные в его воде. Общее количество солей в нем оценивается в 40 миллионов тонн.

Высокая соленость Мертвого моря связана с одной любопытной его особенностью: вода этого моря значительно тяжелее обыкновенной морской воды. Утонуть в такой тяжелой жидкости — нельзя: человеческое тело легче ее. Вес нашего тела заметно меньше веса равного объема густо-соленой воды, и, следовательно, по закону плавания, человек не может в Мертвом море потонуть; он всплывает в нем, как всплывает в соленой воде куриное яйцо (которое в пресной тонет).

Юморист Марк Твен, посетивший это озеро-море, с комичной обстоятельностью описывает необычайные ощущения, которые он и его спутники испытали, купаясь в тяжелых водах Мертвого моря:

> «Это было забавное купанье! Мы не могли утонуть. Здесь можно вытянуться на воде во всю длину, лежа на спине и сложив руки на груди, причем бóльшая часть тела будет оставаться над водой. При этом можно совсем поднять голову... Вы можете лежать очень удобно на спине, подняв колени к подбородку и охватив их руками, — но вскоре перевернетесь, так как голова перевешивает. Вы можете встать на голову — и от

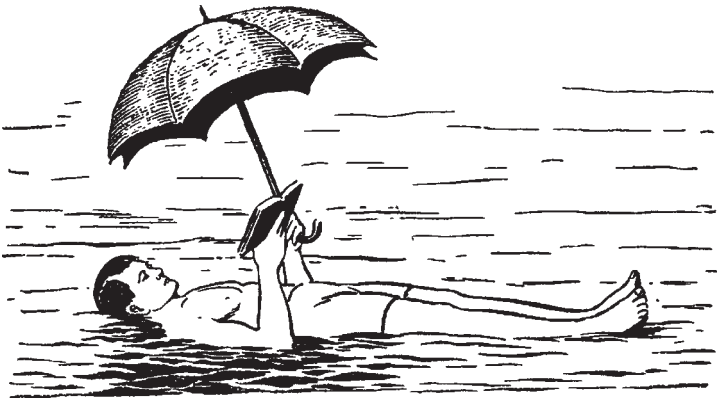


Рис. 50. Человек на поверхности Мертвого моря (с фотографии)

середины груди до конца ног будете оставаться вне воды; но вы не сможете долго сохранять такое положение. Вы не можете плыть на спине, подвигаясь сколько-нибудь заметно, так как ноги ваши торчат из воды, и вам приходится отталкиваться только пятками. Если же вы плывете лицом вниз, то подвигаетесь не вперед, а назад. Лошадь так неустойчива, что не может ни плавать, ни стоять в Мертвом море, — она тотчас же ложится на бок».

На рис. 50 вы видите человека, довольно удобно расположившегося на поверхности Мертвого моря; большой удельный вес воды позволяет ему в этой позе читать книгу, защищаясь зонтиком от жгучих лучей солнца.

Такими же необычайными свойствами обладает вода Кара-Богаз-Гола (залива Каспийского моря)* и не менее соленая вода озера Эльтон, содержащая 27% солей.

Нечто в этом роде приходится испытывать тем больным, которые принимают соленые ванны. Если соленость воды очень велика — как, например, в Старорусских минеральных водах, — то больному приходится прилагать немало усилий, чтобы удерживаться на дне ванны. Я слышал, как женщина, лечившаяся в Старой Руссе, с возмущением жаловалась, что вода «положительно выталкивала ее из ванны». Кажется, она склонна была винить в этом не закон Архимеда, а администрацию курорта...

* Удельный вес воды Кара-Богаз-Гола — 1,18. «В такой плотной воде можно плавать без применения усилий и, не обходя закон Архимеда, утонуть невозможно», — замечает по этому поводу исследователь (А. Д. Пельш, «Карабугаз», 1934).

Степень солености воды в различных морях несколько колеблется, и соответственно этому суда сидят не одинаково глубоко в морской воде. Быть может, некоторым из читателей случалось видеть на борту судна близ ватерлинии так называемую Ллойдовскую марку — знак, показывающий уровень предельных ватерлиний в воде различной плотности. Например, изображенная на рис. 51 грузовая марка означает уровень предельной ватерлинии (у нас эти марки введены как обязательные с 1909 г.):

в пресной воде *(Fresh Water)*	*FW*
в Индийском океане *(India Summer)*	*IS*
в соленой воде летом *(Summer)*	*S*
в соленой воде зимой *(Winter)*	*W*
в Сев. Атлант. океане зимой *(Winter North Atlantik)*	*WNA*

Заметим в заключение, что недавно открыта разновидность воды, которая и в чистом виде, без всяких примесей, заметно тяжелее обыкновенной: ее удельный вес 1,1, т. е. на 10% больше, нежели обыкновенной; следовательно, в бассейне с водой этого сорта человек, даже и не умеющий плавать, едва ли мог бы утонуть. Новооткрытый сорт воды называется «тяжелой» водой; ее химическая формула D_2O, или ^2H_2O (входящий в ее состав водород состоит из атомов, вдвое тяжелее атомов обыкновенного водорода, и обозначается буквою D). Тяжелая вода в незначительном количестве растворена

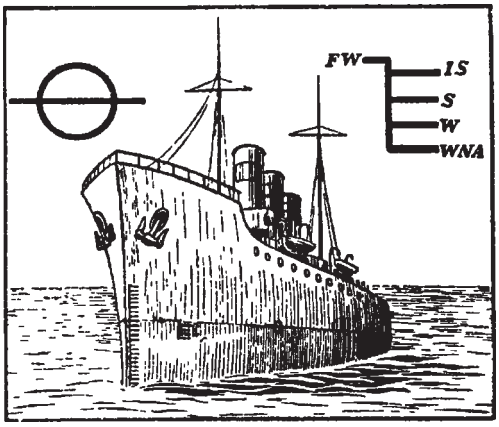


Рис. 51. Ллойдовская, или грузовая марка на борту корабля. Обозначения марок делаются на уровне ватерлинии. Для отчетливости они показаны также отдельно в увеличенном виде. Значение букв объяснено в тексте

в обыкновенной: в ведре питьевой воды содержится около 8 г тяжелой.

Тяжелая вода состава D_2O (сортов тяжелой воды различного состава возможно 17) в настоящее время добывается уже почти в чистом виде; примесь обыкновенной воды составляет менее 1% и доводится даже до 0,05%. Такую тяжелую воду можно купить за границей по цене около 300 долларов за литр, так что устройство плавательного бассейна тяжелой воды обошлось бы в миллионы долларов.

Как работает ледокол?

Принимая ванну, не упустите случая проделать следующий опыт. Прежде чем покинуть ванну, откройте ее выпускное отверстие, продолжая пока лежать на ее дне. По мере того, как станет выступать над водою все большая и большая часть вашего тела, вы будете ощущать постепенное его отяжеление. Самым наглядным образом убедитесь вы при этом, что вес, утрачиваемый телом в воде (вспомните, как легко чувствовали вы себя в ванне!), появляется вновь, лишь только тело оказывается вне воды. Когда такой опыт невольно проделывает кит, очутившись во время отлива на мели, последствия оказываются для животного роковыми: оно раздавливается собственным чудовищным весом. Недаром киты, будучи млекопитающими, живут в водной стихии: выталкивающая сила жидкости спасает их от гибельного действия силы тяжести.

Сказанное имеет ближайшее отношение к заголовку настоящей статьи. Работа ледокола основана на том же физическом явлении: вынесенная из воды часть корабля перестает уравновешиваться выталкивающим действием воды и приобретает свой «сухопутный» вес. Не следует думать, что ледокол разрезает лед на ходу непрерывным давлением своей носовой части — напором форштевня. Так работают *не ледоколы*, а *ледорезы* — например, наш знаменитый «Литке». Этот способ действия пригоден только для льда сравнительно незначительной толщины.

Подлинные морские ледоколы — такие, как «Красин», «Ленин» или «Ермак», — работают иначе. Действием своих мощных машин ледокол надвигает на поверхность льда свою носовую часть, которая с этой целью устраивается сильно искошенною под водою. Оказавшись вне воды, нос корабля приобретает полный свой вес, и этот огромный груз (доходящий у «Ермака», например, до 800 т) обламы-

вает лед. Для усиления действия в носовые цистерны ледокола нередко накачивают еще воду — «жидкий балласт».

Так действует ледокол до тех пор, пока толщина льда не превышает полуметра. Более мощный лед побеждается *ударным* действием судна. Ледокол отступает назад и налетает всей своей массой на кромку льда. При этом действует уже не вес, а «живая сила» движущегося корабля; судно превращается словно в артиллерийский снаряд небольшой скорости, зато огромной массы, в таран. Ледяные торосы в несколько метров высоты разбиваются энергией многократных ударов прочной носовой части ледокола.

Участник знаменитого перехода «Сибирякова» в 1932 г., моряк-полярник Н. Марков, так описывает работу этого ледокола:

> «Среди сотен ледяных скал, среди сплошного покрова льда „Сибиряков“ начал битву. 52 часа подряд стрелка машинного телеграфа прыгала от „полного назад“ к „полному вперед“. Тринадцать четырехчасовых морских вахт „Сибиряков“ с разгона врезался в лед, крошил его *носом*, *влезал на лед*, ломал его и снова отходил назад. Лед, толщиною в три четверти метра, с трудом уступал дорогу. С каждым ударом пробивались на треть корпуса».

Самыми крупными и самыми мощными в мире ледоколами располагает СССР.

Где находятся затонувшие суда?

Распространено мнение — даже среди моряков, — будто суда, затонувшие в океане, не достигают морского дна, а висят недвижно на некоторой глубине, где вода «соответственно уплотнена давлением вышележащих слоев».

Мнение это разделял, по-видимому, даже автор «20 тысяч лье под водой»; в одной из глав этого романа Жюль Верн описывает неподвижно висящее в воде затонувшее судно, а в другой упоминает о кораблях, «догнивающих, свободно вися в воде».

Правильно ли подобное утверждение?

Некоторое основание для него как будто имеется, так как давление воды в глубинах океана действительно достигает огромных степеней. На глубине 10 м вода давит с силой 1 кг на 1 $см^2$ погруженного тела. На глубине 20 м это давление равно уже 2 кг, на глубине 100 м — 10 кг, 1000 м — 100 кг. Океан же во многих местах имеет глубину в несколько километров, достигая в самых глубоких частях

Великого океана 11 км и более. Легко вычислить, какое огромное давление должны испытывать вода и погруженные в нее предметы на этих огромных глубинах.

Если порожнюю закупоренную бутылку опустить на значительную глубину и затем извлечь вновь, то обнаружится, что давлением воды пробка вогнана внутрь бутылки и вся посудина полна воды. Знаменитый океанограф Джон Меррей в своей книге «Океан» рассказывает, что был проделан такой опыт: три стеклянные трубки различных размеров, с обоих концов запаянные, были завернуты в холст и помещены в медный цилиндр с отверстиями для свободного пропуска воды. Цилиндр был спущен на глубину 5 км. Когда его извлекли оттуда, оказалось, что холст наполнен снегообразной массой: это было раздробленное стекло. Куски дерева, опускавшиеся на подобную глубину, после извлечения тонули в бочке с водой, как кирпич, — настолько они были сдавлены.

Естественно, казалось бы, ожидать, что столь чудовищное давление должно настолько уплотнить воду на больших глубинах, что даже тяжелые предметы не будут в ней тонуть, как не тонет железная гиря в ртути. Однако подобное мнение совершенно необоснованно. Опыт показывает, что вода — как и все вообще жидкости — мало поддается сжатию. Сдавливаемая с силой 1 кг на 1 см^2 вода сжимается всего только на одну $^1/_{22\,000}$ долю своего объема и примерно так же сжимается при дальнейшем возрастании давления на каждый килограмм. Если бы мы пожелали довести воду до такой плотности, чтобы в ней плавало железо, необходимо было бы уплотнить ее в 8 раз. Между тем для уплотнения только вдвое, т. е. для сокращения объема наполовину, необходимо давление 11 000 кг на 1 см^2 (если только упомянутая мера сжатия имеет место для таких огромных давлений). Это соответствует глубине 110 км под уровнем океана!

Отсюда ясно, что говорить о сколько-нибудь заметном уплотнении воды в глубине океанов совершенно не приходится. В самом глубоком их месте вода уплотнена лишь на $^{1100}/_{22\,000}$, то есть на $^1/_{20}$ нормальной своей плотности, всего на 5%*. Это почти не может повлиять на условия плавания в ней различных тел, тем более что твердые

* Английский физик Тэт вычислил, что если бы земное притяжение внезапно прекратилось и вода сделалась невесомой, то уровень воды в океане поднялся бы в среднем на 35 м (вследствие того, что сжатая вода приобрела бы нормальный объем). «Океан затопил бы 5 000 000 км^2 суши, обязанной своим надводным существованием лишь сжимаемости окружающих ее вод океанов» (Берже).

предметы, погруженные в такую воду, также подвергаются этому давлению и, следовательно, тоже уплотняются.

Не может быть поэтому ни малейшего сомнения в том, что затонувшие суда покоятся на дне океана. «Все, что тонет в стакане воды, — говорит Меррей, — должно пойти ко дну и в самом глубоком океане».

Мне приходилось слышать против этого такое возражение. Если осторожно погрузить стакан *вверх дном* в воду, он может остаться в этом положении, так как будет вытеснять объем воды, весящий столько же, сколько стакан. Более тяжелый металлический стакан может удержаться в подобном положении и ниже уровня воды, не опускаясь на дно. Точно так же будто бы может остановиться на полпути и опрокинутый вверх килем крейсер или другое судно. Если в некоторых помещениях судна воздух окажется плотно запертым, то судно погрузится на определенную глубину и там остановится. Немало ведь судов идет ко дну в перевернутом состоянии — и возможно, что некоторые из них так и не достигают дна, оставаясь висеть в темных глубинах океана. Достаточно было бы легкого толчка, чтобы вывести такое судно из равновесия, перевернуть, наполнить водою и заставить упасть на дно, — но откуда взяться толчкам в глубине океана, где вечно царит тишина и спокойствие и куда не проникают даже отголоски бурь?

Все эти доводы основаны на физической ошибке. Перевернутый стакан *не погружается в воду сам* — его надо *внешней силой* погрузить в воду, как кусок дерева или пустую закупоренную бутылку. Точно так же и опрокинутый килем вверх корабль вовсе и не начнет тонуть, а останется на поверхности воды. Очутиться на полупути между уровнем океана и его дном он никак не может.

Подводные фабрики

Они еще не существуют, но возможно, что появления их не долго придется ждать. Наши инженеры уже задумываются над ними. На мысль о сооружении фабрик глубоко под водой наводят господствующие там огромные давления. Нельзя ли эту гигантскую силу, пропадающую пока без пользы, заставить служить нуждам техники? Ведь существуют химические процессы, протекающие несравненно энергичнее как раз под усиленным давлением. Некоторые из них имеют весьма важное значение в технике; таковы, например, те

химические реакции, которые происходят при связывании азота воздуха с целью получения азотной кислоты для удобрения, или те, которые совершаются при превращении твердого топлива в жидкое (бергенизация). Естественна мысль перенести подобные производства на дно моря, с тем чтобы использовать господствующее там страшное давление.

С проектом подобного рода недавно (в 1935 г.) выступила газета «Техника», напечатавшая предложение советского инженера А. Сливинского об устройстве некоторых цехов глубоко под водой. Наиболее подходящими местами могли бы быть дно Черного моря у Кавказского берега или дно Байкальского озера; там имеются достаточные глубины для получения давления в 100–150 атмосфер. «Если учесть, — пишет автор проекта, — что вблизи Байкала расположен громадный Иркутский каменноугольный бассейн с углями, весьма подходящими для бергенизации, и возможность разработки многих пластов этого бассейна открытыми работами, то станет ясным исключительное значение глубоководной техники для СССР». Предварительные подсчеты обещают снижение первоначальных затрат, по сравнению с обычным оборудованием, в 50 раз и более.

Большое значение может иметь рассматриваемый проект также в использовании энергии ветра путем накопления запасов кислорода и водорода от электрического разложения воды под высоким давлением. Глубоководные резервуары для хранения накопленных газов в сильно сжатом виде не должны иметь чрезмерно больших размеров.

Проект предусматривает такое устройство подводных частей завода, которое не требует непосредственного присутствия обслуживающего персонала: наблюдение и управление осуществляется с берега на расстоянии (средствами телемеханики). «Если сегодня, — говорит автор проекта, — эта проблема лишь *реальная сказка*, то есть шансы, что завтра это будет *сказочная реальность*».

Как осуществились мечты Жюля Верна и Уэллса

Реальные подводные лодки нашего времени в некоторых отношениях не только догнали фантастический «Наутилус» Жюля Верна, но даже превзошли его. Правда, скорость хода нынешних подводных крейсеров вдвое меньше быстроты «Наутилуса»: 24 узла против 50 у Жюля Верна (узел — около 1,8 км/ч). Самый длинный переход

современного подводного корабля — кругосветное путешествие, между тем как капитан Немо совершил поход вдвое длиннее. Зато «Наутилус» обладал водоизмещением только в 1500 тонн, имел на борту команду всего из двух-трех десятков человек и способен был оставаться под водою без перерыва не более 48 часов. Современный же подводный крейсер («Сюркуф»), принадлежащий французскому флоту, имеет 3200 тонн водоизмещения, управляется командой из 150 человек и может держаться под водою, не всплывая, до 120 часов!

Переход от портов Франции до острова Мадагаскар этот подводный крейсер может совершить, не заходя по пути ни в один порт. По комфортабельности жилых помещений «Сюркуф», быть может, не уступает «Наутилусу». Далее, «Сюркуф» имеет перед кораблем капитана Немо и то несомненное преимущество, что на верхней палубе крейсера устроен водонепроницаемый ангар для разведывательного гидросамолета. Отметим также, что Жюль Верн не снабдил «Наутилус» перископом, дающим лодке возможность обозревать горизонт из-под воды*.

В одном лишь отношении реальные подводные корабли долго еще будут далеко отставать от создания фантазии французского романиста: в глубине погружения. Однако приходится отметить, что в этом пункте фантазия Жюля Верна перешла границы правдоподобия. «Капитан Немо, — читаем в одном месте романа, — достигал глубины в три, четыре, пять, семь, девять и десять тысяч метров под поверхностью океана». А однажды «Наутилус» опустился даже на небывалую глубину — в 16 тысяч метров! «Я чувствовал, — рассказывает герой романа, — как содрогаются скрепы железной обшивки подводного судна, как изгибаются его распоры, как подаются внутрь окна, уступая давлению воды. Если бы корабль наш не обладал прочностью сплошного литого тела, его мгновенно сплющило бы в лепешку».

Опасение вполне уместное, потому что на глубине 16 км (если бы такая глубина имелась в океане) давление воды должно было бы достигать

$$16\,000 : 10 = 1600 \text{ кг/см}^2,$$

или 1600 технических атмосфер; такое усилие не раздробляет железа, но, безусловно, смяло бы конструкцию. Однако подобной глубины

* Подробнее о современных подводных лодках по сравнению с «Наутилусом» Жюля Верна рассказано в послесловии Б. В. Биллевича и Н. И. Тарасова к русскому переводу романа «20 000 лье под водой» (изд. Ленингр. отд. «Молодой гвардии», 1935).

современная океанография не знает. Преувеличенные представления о глубинах океана, господствовавшие в эпоху Жюля Верна (роман написан в 1869 г.), объясняются несовершенством способов измерения глубины. В те времена для линь-лота употреблялась не проволока, а пеньковая веревка; такой лот задерживался трением о воду тем сильнее, чем глубже он погружался; на значительной глубине трение возрастало до того, что лот вовсе переставал опускаться, сколько ни травили линь: пеньковая веревка лишь спутывалась, создавая впечатление огромной глубины.

Подводные корабли нашего времени способны выдерживать давление не более 14 атмосфер; это определяет наибольшую глубину их погружения: 140 м. Гораздо большей глубины удалось достигнуть в особом аппарате, недавно сооруженном в Америке для изучения фауны океанских пучин. Этот аппарат напоминает, однако, не «Наутилус» Жюля Верна, а фантастическое создание другого романиста, именно глубоководный шар Уэллса, описанный в рассказе «В морской глубине». Герой этого рассказа спустился до дна океана на глубину 9 км в толстостенном стальном шаре; аппарат погружался без троса, но со съемным грузом; достигнув дна океана, шар освободился здесь от увлекавшего его груза и, облегченный, стремительно взлетел на поверхность воды.

Действительность почти осуществила фантазию Уэллса. Американский ученый Уильям Биб построил непроницаемый для воздуха стальной шар и в этом аппарате, названном батисферой (рис. 52), трижды уже спускался на сравнительно огромную глубину: в 1932 г. на 660 м и в 1934 г. сначала на 760 м, затем — на 923 м.

Замечательный аппарат имеет в диаметре 1,5 м и весит около 2,5 тонны. В стенках его устроено три круглых окна, диаметром 20 см, в которые вместо стекла вставлены толстые (7,5 см) пластины плавленого кварца. Два окна предназначены для наблюдения сквозь них подводной жизни, через третье проникают лучи яркого прожектора. Батисфера спускалась на тросе с судна, с которым сидящие в шаре поддерживали телефонную связь в течение своего трехчасового погружения.

В настоящее время (1936 г.) советские инженеры закончили разработку проекта глубоководного аппарата, рассчитанного на погружение до глубины 2 км. Поперечник его 2 м 20 см; в нем будут помещаться два человека и множество приборов: прожекторы для освещения водного пространства, фотографический и кинематографиче-

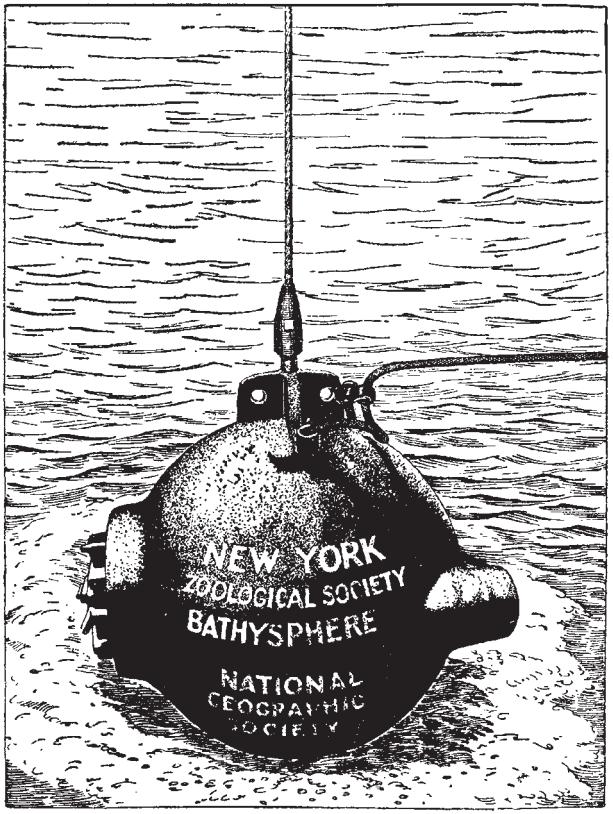


Рис. 52. Стальной шарообразный аппарат «батисфера» для спуска в глубокие слои океана. Толщина стенок шара — около 4 см, диаметр —1,5 м, вес — 2,5 т

ский аппараты с необходимым электрическим оборудованием и т. п. Особые аппараты будут поддерживать нормальный состав воздуха внутри кабины в течение 12 часов без подачи газа извне или откачки. В продолжение всего времени пребывания под водою исследователи будут находиться в двусторонней телефонной связи с надводным миром. В случае аварии аппарат, управляемый изнутри, сможет подняться на поверхность воды.

Советская батисфера (ее называют гидростатом) будет иметь, как видим, много преимуществ над американской и прежде всего — в глубине погружения. ЭПРОН уже приступила к изготовлению модели аппарата.

Как был поднят «Садко»?

В широком просторе океана гибнут ежегодно тысячи крупных и мелких судов, особенно в военное время. Наиболее ценные и доступные из затонувших кораблей в последние годы стали извлекаться со дна моря. Советские инженеры и водолазы, входящие в состав ЭПРОН (т. е. «Экспедиции подводных работ особого назначения»), прославились на весь мир успешным подъемом более чем 150 крупных судов. Среди них одно из самых больших — ледокол «Садко», затонувший на Белом море в 1916 г. из-за халатности капитана. Пролежав на морском дне 17 лет, этот превосходный ледокол («брат» «Малыгина») был поднят работниками ЭПРОН и вступил опять в строй.

Техника подъема была всецело основана на целесообразном применении закона Архимеда. Под корпусом затонувшего судна в грунте морского дна водолазы прорыли 12 туннелей и протянули сквозь каждый из них прочное стальное полотенце. Концы полотенец были прикреплены к понтонам, намеренно потопленным подле ледокола. Вся эта работа выполнена была на глубине 25 м под уровнем моря.

Понтонами (рис. 53) служили полые непроницаемые железные цилиндры 11 м длиною и $5^1/_2$ м в диаметре. Порожний понтон весил 50 т. По правилам геометрии легко вычислить его объем: около 250 кубометров. Ясно, что такой цилиндр порожняком должен плавать на воде: он вытесняет 250 т воды, сам же весит только 50 т; грузоподъемность его равна разности между 250 и 50, т. е. 200 т. Чтобы заставить понтон опуститься на дно, его заполняют водою.

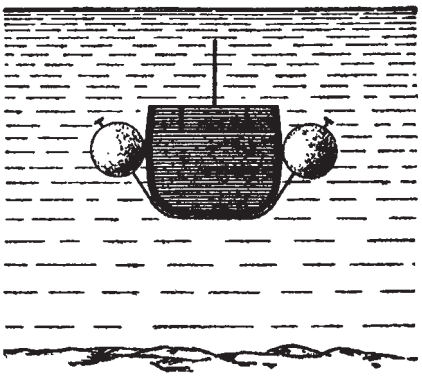


Рис. 53. Схема подъема «Садко»; показан разрез ледокола, понтоны и стропы

Когда (см. рис. 53) концы 12 стальных строп были прочно прицеплены к потопленным понтонам, в цилиндры стали с помощью шлангов нагнетать сжатый воздух. На глубине 25 метров вода давит с силою $^{25}/_{10} + 1$, т. е. $3^1/_2$ атмосфер. Воздух же подавался в цилиндры под давлением около 4 атмосфер и, следовательно, должен был вытеснять воду из понтонов. Облегченные цилиндры с огромной силой выталкивались окружающей водой на поверхность моря. Как аэростат в воздухе, всплывали они в воде. Совместная подъемная их сила при полном вытеснении из них воды равнялась бы 200 × 12, т. е. 2400 т. Это превышает вес затонувшего «Садко», так что ради более плавного подъема понтоны были освобождены от воды только частично.

Тем не менее подъем осуществлен был лишь после нескольких неудачных попыток. «Четыре аварии терпела на нем спасательная партия, пока добилась успеха, — пишет руководивший работами главный корабельный инженер ЭПРОН Т. И. Бобрицкий*. — Три раза, напряженно ожидая судна, мы видели вместо поднимающегося ледокола стихийно вырывающиеся наверх, в хаосе волн и пены, понтоны и разорванные, змеями извивающиеся шланги. Два раза показывался и снова исчезал в пучине моря ледокол, прежде чем всплыл и окончательно удержался на поверхности».

«Вечный» водяной двигатель

Среди множества проектов «вечного двигателя» было немало и таких, которые основаны на всплывании тел в воде. Мы рассмотрим такой образчик подобного «изобретения». Высокая башня, 20 м высотой, наполнена водой. Наверху и внизу башни установлены шкивы, через которые перекинут прочный канат в виде бесконечного ремня. К канату прикреплено 14 полых кубических ящиков в метр высоты, склепанных из железных листов так, что внутрь ящиков вода проникнуть не может. Наши рис. 54 и 55 изображают внешний вид такой башни и ее продольный разрез.

Как же действует эта установка? Каждый знакомый с законом Архимеда сообразит, что ящики, находясь в воде, будут стремиться всплыть вверх. Их увлекает вверх сила, равная весу воды, вытесняемой ящиками, т. е. весу одного кубического метра воды, повторенному

* В книге «Завоевание глубин». Изд. «Молодая гвардия».

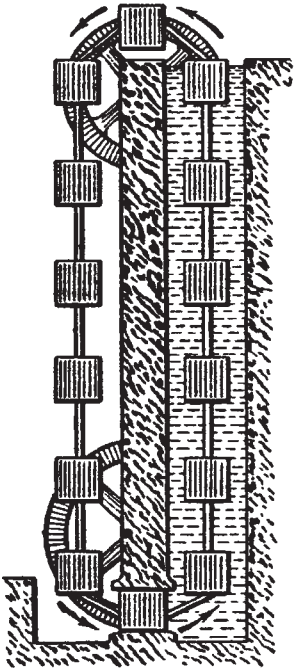


Рис. 54. Устройство башни следующего рисунка

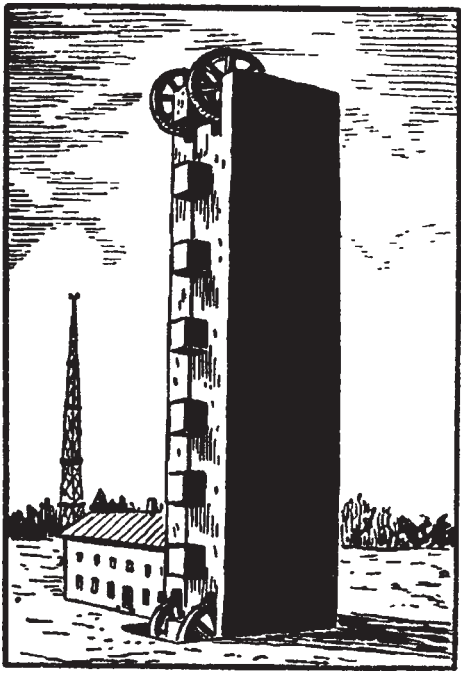


Рис. 55. Проект мнимого «вечного» водяного двигателя

столько раз, сколько ящиков погружено в воду. Из рисунков видно, что в воде оказывается всегда 6 ящиков. Значит, сила, увлекающая погруженные ящики вверх, равна весу 6 м^3 воды, т. е. 6 т. Вниз же их тянет собственный вес ящиков, который, однако, уравновешивается грузом из 6 ящиков, свободно свисающих на наружной стороне каната.

Итак, канат, перекинутый указанным образом, будет всегда подвержен тяге в 6 т, приложенной к одной его стороне и направленной вверх. Ясно, что сила эта заставит канат безостановочно вращаться, скользя по шкивам, и при каждом обороте совершать работу в 6000 × × 20 = 120 000 килограммометров.

Теперь понятно, что если усеять страну такими башнями, то мы сможем получать от них безграничное количество работы, достаточное для покрытия всех нужд народного хозяйства. Башни будут вращать якоря динамо-машин и давать электрическую энергию в любом количестве.

Однако если разобраться внимательно в этом проекте, то легко убедиться, что ожидаемого движения каната происходить вовсе не должно.

Чтобы бесконечный канат вращался, ящики должны входить в водяной бассейн башни снизу и покидать его сверху. Но ведь, вступая в бассейн, ящик должен *преодолеть давление столба воды* в 20 м высотой! Это давление на квадратный метр площади ящика равно ни много ни мало 20 т (весу 20 м^3 воды). Тяга же вверх составляет всего только 6 т, т. е. явно недостаточна, чтобы втащить ящик в бассейн.

Это — лишь один из многочисленных образчиков мнимых водяных «вечных» двигателей, которых придумано было неудачниками-изобретателями целые сотни. Закон Архимеда давал соблазнительную пищу уму искателей «вечного» двигателя и побуждал придумывать хитроумные приспособления для использования кажущейся потери веса в целях получения вечного источника механической энергии.

Кто придумал слова «газ» и «атмосфера»?

Слово «газ» принадлежит к числу слов, *придуманных* учеными наряду с такими словами, как «термометр», «электричество», «гальванометр», «телефон» и прежде всего «атмосфера». Из всех придуманных слов «газ» — безусловно самое короткое. Старинный голландский химик и врач Гельмонт, живший с 1577 по 1644 г. (современник Галилея), произвел «газ» от греческого слова «хаос». Открыв, что воздух состоит из двух частей, из которых одна поддерживает горение и сгорает, остальная же часть не обладает этими свойствами, Гельмонт писал:

> «Такой пар я назвал *газ*, потому что он почти не отличается от *хаоса** древних».

Однако новое словечко долго после этого не употреблялось и было возрождено лишь знаменитым Лавуазье в 1789 г. Оно получило широкое распространение, когда всюду заговорили о полетах братьев Монгольфье на первых воздушных шарах.

Ломоносов в своих сочинениях употреблял другое наименование для газообразных тел — «упругие жидкости» (остававшееся в упо-

* Первоначальный смысл слова «хаос» — сияющее пространство.

треблении еще и тогда, когда я учился в школе). Заметим кстати, что Ломоносову принадлежит заслуга введения в русскую речь ряда названий, ставших теперь обыкновенными словами научного языка:

атмосфера	манометр
барометр	микрометр
воздушный насос	оптика, оптический
вязкость	э(е)лектрический
кристаллизация	э(е)фир и др.
материя	

Гениальный родоначальник русского естествознания писал по этому поводу:

> «Принужден я был искать слов для наименования некоторых физических инструментов, действий и натуральных вещей, которые (т. е. слова) хотя сперва покажутся несколько странны, однако надеюсь, что они со временем через употребление знакомее будут».

Пророчество его сбылось настолько полно, что теперь мы удивляемся, когда узнаем об искусственном происхождении этих слов, — так сроднились они с нашей речью.

Напротив, предложенные впоследствии В. И. Далем (известным составителем «Толкового словаря») слова для замены «атмосферы» — неуклюжие «мироколица» или «колоземица» — совершенно не привились, как не привился его «небозём» вместо горизонта и другие новые слова.

Как будто простая задача

Самовар, вмещающий 30 стаканов, полон воды. Вы подставляете стакан под его кран и с часами в руках следите по секундной стрелке, за сколько времени стакан наполняется до краев. Допустим, что за полминуты. Теперь зададим вопрос: за сколько времени опорожнится весь самовар, если оставить кран открытым?

Казалось бы, здесь детски простая арифметическая задача: один стакан вытекает за $\frac{1}{2}$ минуты, — значит, 30 стаканов выльются за 15 минут.

Но сделайте опыт. Окажется, что самовар опоражнивается не за четверть часа, как вы ожидали, а за полчаса.

В чем же дело? Ведь расчет так прост!

Прост, но неверен. Нельзя думать, что *скорость* истечения с начала до конца остается одна и та же. Когда первый стакан вытек из самовара, струя течет уже под меньшим давлением, так как уровень воды в самоваре понизился; понятно, что второй стакан наполнится в больший срок, чем за полминуты; третий вытечет еще ленивее и т. д.

Скорость истечения всякой жидкости из отверстия в открытом сосуде находится в прямой зависимости от высоты столба жидкости, стоящего над отверстием. Гениальный Торичелли, ученик Галилея, первый указал на эту зависимость и выразил ее простой формулой:

$$v = \sqrt{2gh},$$

где v — скорость истечения, g — ускорение силы тяжести, а h — высота уровня жидкости над отверстием. Вникая в эту формулу, видим, что скорость вытекающей струи совершенно не зависит от *плотности* жидкости: легкий спирт и тяжеловесная ртуть при одинаковом уровне вытекают из отверстия одинаково быстро (рис. 56). Из формулы видно, что на Луне, где сила тяжести в 6 раз меньше, чем на Земле, потребовалось бы для наполнения стакана примерно в $2\frac{1}{2}$ раза больше времени, нежели на Земле.

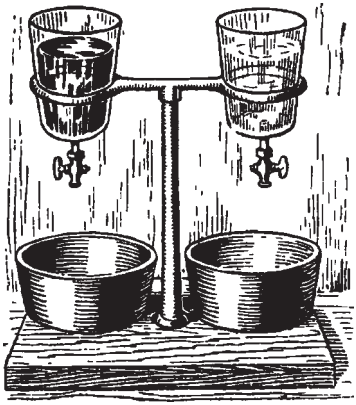


Рис. 56. Что скорее выльется: ртуть или спирт? Уровень жидкости в сосудах одинаков

Но возвратимся к нашей задаче. Если после истечения из самовара 20 стаканов уровень воды в нем (считая от отверстия крана) понизился в *четыре* раза, то 21-й стакан наполнится *вдвое* медленнее, чем 1-й. И если в дальнейшем уровень воды понизится в 9 раз, то для наполнения последних стаканов понадобится уже *втрое* больше времени, чем для наполнения первого. Все знают, как вяло вытекает вода из крана самовара, который уже почти опорожнен. Решая эту задачу приемами высшей математики, можно доказать, что время, нужное на полное опорожнение сосуда, *в два раза больше* срока, в течение которого вылился бы такой же объем жидкости при неизменном первоначальном уровне.

Задача о бассейне

От сказанного один шаг к пресловутым задачам о бассейне, без которых в прежнее время не обходился ни один арифметический и алгебраический задачник. Всем памятны классически скучные, схоластические задачи вроде следующей:

> «В бассейн проведены две трубы. Через одну первую пустой бассейн может наполниться за 5 часов; через одну вторую полный бассейн может опорожниться за 10 часов. За сколько часов наполнится пустой бассейн, если открыть обе трубы сразу?»

Задачи этого рода имеют почтенную давность — без малого 20 веков, восходя к Герону Александрийскому. Вот одна из героновых задач — не столь, правда, замысловатая, как ее потомки:

> Четыре фонтана дано. Обширный дан водоем.
> За сутки первый фонтан до краев его наполняет.
> Два дня и две ночи второй над тем же должен работать.
> Третий втрое, чем первый, слабей.
> В четверо суток последний за ним поспевает.
> Ответь мне, скоро ли будет он полон,
> Если во время одно все их открыть?

Две тысячи лет решаются задачи о бассейнах и — такова сила рутины! — две тысячи лет решаются *неправильно*. Почему неправильно, вы поймете сами после того, что сейчас сказано было о вытекании воды. Как в старой школе учили решать задачи о бассейнах? Первую, например, задачу (рис. 57) решали так. За 1 час первая труба наливает $^1/_5$ бассейна, вторая выливает $^1/_{10}$ бассейна; значит, при действии обеих труб в бассейн ежечасно поступает $^1/_5 - {}^1/_{10} = {}^1/_{10}$, откуда для времени наполнения бассейна получается 10 ч. Это рассуждение неверно: если втекание воды можно считать происходящим под постоянным давлением и, следовательно, равномерным, то ее *вытекание* происходит при изменяющемся уровне и, значит, *неравномерно*. Из того, что второй трубой бассейн опоражнива-

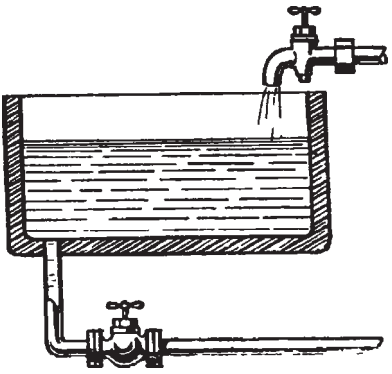


Рис. 57. Задача о бассейне

ется за 10 часов, вовсе не следует, что ежечасно вытекает $^1/_{10}$ доля бассейна; школьный прием решения, как видим, ошибочен. Решить задачу правильно средствами элементарной математики нельзя, а потому задачам о бассейне (с *вытекающей* водой) вовсе не место в арифметических задачниках.

Удивительный сосуд

Возможно ли устроить такой сосуд, из которого вода вытекала бы все время равномерной струей, не замедляя своего течения, несмотря на то что уровень жидкости в нем понижается? После того, что вы узнали из предыдущих статей, вы, вероятно, готовы счесть подобную задачу неразрешимой.

Между тем это вполне осуществимо. Банка, изображенная на рис. 58, есть именно такой удивительный сосуд. Это обыкновенная банка с узким горлом, через пробку которой вдвинута стеклянная трубка. Если вы откроете кран *C* ниже конца трубки, то жидкость будет литься из него неослабевающей струей до тех пор, пока уровень воды не опустится в сосуде до нижнего конца трубки. Вдвинув трубку почти вплотную ко дну, вы можете заставить всю жидкость из сосуда вытечь равномерной, хотя и очень слабой струей.

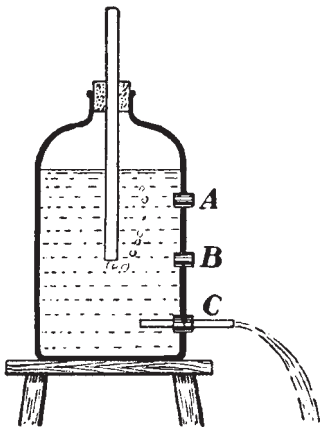


Рис. 58. Устройство сосуда Мариотта. Из отверстия *C* вода течет равномерно

Отчего это происходит? Проследите мысленно за тем, что совершается в сосуде при открытии крана *C* (рис. 59). Прежде всего выливается вода из стеклянной трубки; уровень жидкости внутри нее опускается до конца трубки. При дальнейшем вытекании опускается уже уровень воды в сосуде и через стеклянную трубку входит наружный воздух; он просачивается пузырьками через воду и собирается над ней в верхней части сосуда. Теперь на всем уровне *B* давление равно атмосферному. Значит, вода из крана *C* вытекает лишь под давлением слоя воды *BC*, потому что давление атмосферы изнутри и снаружи сосуда уравновешивается.

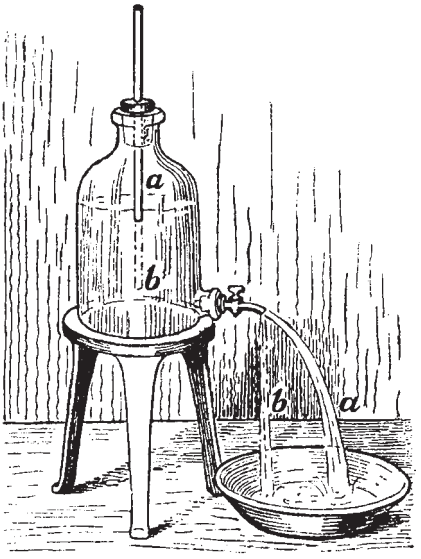


Рис. 59. При выдвинутой трубке *(a)* вода течет сильной струей *(a)*; при низко вдвинутой *(b)* вода течет слабой струей *(b)*

А так как толщина слоя *BC* остается постоянной, то и неудивительно, что струя все время течет с одинаковой скоростью.

Попробуйте же теперь ответить на вопрос: как быстро будет вытекать вода, если вынуть пробочку *B* на уровне конца трубки?

Оказывается, что она *вовсе не будет вытекать* (разумеется, если отверстие настолько мало, что шириной его можно пренебречь; иначе вода будет вытекать под давлением тонкого слоя воды, толщиною в ширину отверстия). В самом деле: здесь изнутри и снаружи давление равно атмосферному, и ничто не побуждает воду вытекать.

А если бы вы вынули пробку *A выше* нижнего конца трубки, то не только вода не вытекала бы из сосуда, но в него еще входил бы наружный воздух. Почему? По весьма простой причине: внутри этой части сосуда давление воздуха *меньше*, чем атмосферное давление снаружи.

Этот сосуд со столь необычайными свойствами был придуман знаменитым физиком Мариоттом и назван по имени ученого сосудом Мариотта.

Поклажа из воздуха

В середине XVII столетия жители города Регенсбурга и съехавшиеся туда владетельные князья Германии во главе с императором были свидетелями поразительного зрелища: 16 лошадей изо всех сил старались разнять два приложенных друг к другу медных полушария. Что связывало их? «Ничто», воздух. И тем не менее восемь лошадей, тянувших в одну сторону, и восемь, тянувших в другую, оказались не в силах их разъединить. Так бургомистр Отто фон Герике

воочию показал всем, что воздух — вовсе не «ничто», что он имеет вес и давит со значительной силой на все земные предметы.

Опыт этот был произведен 8 мая 1654 г. при весьма торжественной обстановке. Ученый бургомистр сумел всех заинтересовать своими научными изысканиями, несмотря на то что дело происходило в разгар политических неурядиц и опустошительных войн.

Описание знаменитого опыта с «магдебургскими полушариями» имеется в учебниках физики. Все же, я уверен, читатель с интересом выслушает этот рассказ из уст самого Герике, этого «германского Галилея», как иногда называют замечательного физика. Объемистая книга с описанием длинного ряда его опытов вышла на латинском языке в Амстердаме в 1672 г. и, подобно всем книгам этой эпохи, носила пространное заглавие. Вот оно:

ОТТО фон ГЕРИКЕ
Так называемые новые магдебургские опыты над
БЕЗВОЗДУШНЫМ ПРОСТРАНСТВОМ,
первоначально описанные профессором математики
в Вюрцбургском университете Каспаром Шоттом.
Издание самого автора, более обстоятельное
и пополненное различными новыми опытами

Интересующему нас опыту посвящена глава XXIII этой книги. Приводим дословный ее перевод:

«Опыт, доказывающий, что давление воздуха соединяет два полушария так прочно, что их нельзя разнять усилиями 16 лошадей.

Я заказал два медных полушария, диаметром в три четверти магдебургских локтя*. Но в действительности диаметр их заключал всего $^{67}/_{100}$, так как мастера, по обыкновению, не могли изготовить в точности то, что требовалось. Оба полушария вполне отвечали одно другому. К одному полушарию был приделан кран; с помощью этого крана можно удалить воздух изнутри и препятствовать проникновению воздуха снаружи. Кроме того, к полушариям прикреплены были 4 кольца, через которые продевались канаты, привязанные к упряжи лошадей. Я велел также сшить кожаное кольцо; оно напитано было смесью воска в скипидаре; зажатое между полушариями, оно не пропускало в них воздуха. В кран вставлена была трубка воздушного насоса, и был удален воздух внутри шара. Тогда обнаружилось, с какою силою оба полушария придавливались друг к другу через кожаное кольцо. Давление наружного

* «Магдебургский локоть» равен 550 мм.

воздуха прижимало их так крепко, что 16 лошадей (рывком) совсем не могли их разнять или достигали этого лишь с трудом. Когда же полушария, уступая напряжению всей силы лошадей, разъединялись, то раздавался грохот, как от выстрела.

Но стоило поворотом крана открыть свободный доступ воздуху — и полушария легко было разнять руками».

Несложное вычисление может объяснить нам, почему нужна такая значительная сила (8 лошадей с каждой стороны), чтобы разъединить части пустого шара. Воздух давит с силою около 1 кг на каждый кв. см; площадь круга* диаметром в 0,67 локтя (37 см) равна 1060 см^2. Значит, давление атмосферы на каждое полушарие должно превышать 1000 кг (1 т). Каждая восьмерка лошадей должна была, следовательно, тянуть с силой тонны, чтобы противодействовать давлению наружного воздуха.

Казалось бы, для 8 лошадей (с каждой стороны) это не очень большой груз. Не забывайте, однако, что, двигая, например, кладь в 1 т, лошади преодолевают силу не в 1 т, но гораздо меньшую, именно — трение колес об оси и о мостовую. А эта сила составляет — на шоссе, например, — всего процентов пять, т. е. при однотонном грузе — 50 кг. (Не говорим уже о том, что при соединении усилий 8 лошадей теряется, как показывает практика, 50% тяги.) Следовательно, тяга в 1 т соответствует при 8 лошадях нагрузке телеги в 20 т. Вот какова та воздушная поклажа, везти которую должны были лошади магдебургского бургомистра! Они словно должны были сдвинуть с места небольшой паровоз, не поставленный к тому же на рельсы.

Измерено, что сильная ломовая лошадь тянет воз с усилием всего в 80 кг**. Следовательно, для разрыва магдебургских полушарий понадобилось бы при равномерной тяге 1000 : 80 по 13 лошадей с каждой стороны***.

---

* Берется площадь круга, а не поверхность полушария, потому что атмосферное давление равно указанной величине лишь при действии на поверхность под прямым углом; для наклонных поверхностей это давление меньше. В данном случае мы берем прямоугольную проекцию шаровой поверхности на плоскость, т. е. площадь большого круга.

** При скорости 4 км/ч. В среднем принимается, что сила тяги лошади составляет 15% ее веса; весит же лошадь: легкая — 400 кг, тяжелая — 750 кг. На очень короткое время (начальное усилие) сила тяги может быть в несколько раз больше.

*** Разъяснение того, почему требуется по 13 лошадей с *каждой* стороны, читатель найдет в моей «Занимательной механике».

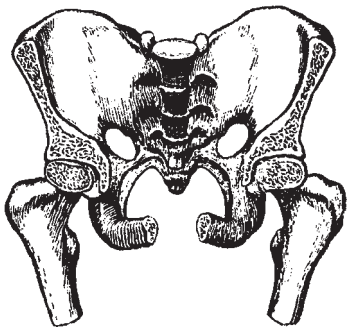


Рис. 60. Кости наших тазобедренных сочленений не распадаются благодаря атмосферному давлению, подобно тому как сдерживаются магдебургские полушария

Читатель будет, вероятно, изумлен, узнав, что некоторые сочленения нашего скелета не распадаются по той же причине, что и магдебургские полушария. Наше тазобедренное сочленение представляет собой именно такие магдебургские полушария. Можно обнажить это сочленение от мускульных и хрящевых связей, — и все-таки бедро не выпадает: его прижимает атмосферное давление, так как в межсуставном пространстве воздуха нет.

Новые Героновы фонтаны

Обычная форма фонтана, приписываемого древнему механику Герону, вероятно, известна моим читателям. Напомню здесь его устройство, прежде чем перейду к описанию новейших видоизменений этого любопытного прибора. Геронов фонтан (рис. 61) состоит из 3 сосудов: верхнего — открытого *(a)* и двух шарообразных (*b* и *c*), герметически замкнутых. Сосуды соединены тремя трубками, расположение которых показано на рисунке. Когда в *a* есть немного воды, шар *b* наполнен водой, а шар *c* — воздухом, фонтан начинает действовать: вода переливается по трубке из *a* в *c*, вытесняя оттуда воздух в шар *b*; под давлением поступающего воздуха вода из *b* устремляется по трубке вверх и бьет фонтаном над сосудом *a*. Когда же шар *b* опорожнится, т. е. вся вода из него перейдет в шар *c*, фонтан перестает бить.

Такова старинная форма Геронова фонтана. Уже в наше время один школьный учитель в Италии, побуждаемый к изобретательности скудной обстановкой своего физического кабинета, упростил устройство Геронова фонтана и придумал такие видоизменения его, которые каждый может устроить при помощи простейших средств (рис. 62). Вместо шаров он употребляет аптечные склянки; вместо стеклянных или металлических трубок берет резиновые. Верхний сосуд не надо продырявливать: можно просто ввести в него концы трубок, как показано на рис. 62 вверху.

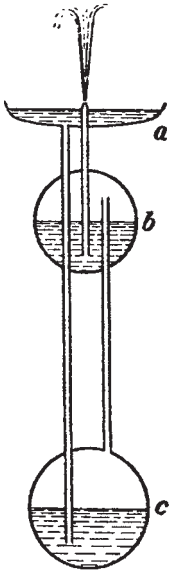


Рис. 61. Старинный Геронов фонтан

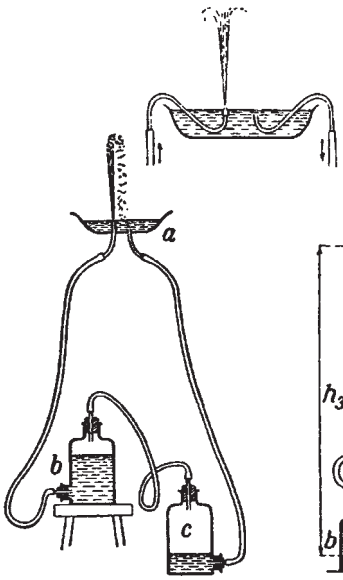


Рис. 62. Современное видоизменение Геронова фонтана. Вверху — вариант устройства тарелки

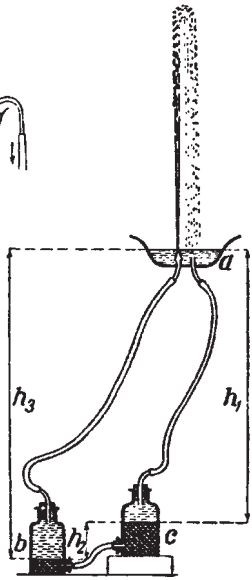


Рис. 63. Фонтан, действующий давлением ртути. Струя бьет раз в десять выше разности уровней ртути

В таком видоизменении прибор гораздо удобнее к употреблению: когда вся вода из банки *b* перельется в банку *c*, можно просто переставить банки — опустив *b*, поднять *c*, и фонтан вновь действует; не надо забывать, разумеется, пересадить также наконечник на другую трубку.

Другое удобство видоизмененного фонтана состоит в том, что он дает возможность произвольно изменять расположение сосудов и изучать, как влияет расстояние уровней сосудов на высоту струи.

Если желаете во много раз увеличить высоту струи, вы можете достигнуть этого, заменив в нижних склянках описанного прибора воду ртутью, а воздух водой (рис. 63). Действие прибора понятно: ртуть, переливаясь из банки *c* в банку *b*, вытесняет из нее воду, заставляя ее бить фонтаном. Зная, что ртуть в $13^1/_2$ раза тяжелее воды, мы можем вычислить, на какую высоту должна подниматься при этом струя фонтана. Обозначим разницу уровней соответственно через h_1, h_2, h_3. Теперь разберемся, под действием каких сил ртуть из сосуда *c* (рис. 63) перетекает в *b*. Ртуть в соединительной трубке

подвержена давлению с двух сторон. Справа на нее действует давление разности h_2 ртутных столбов (которое равносильно давлению в $13^1/_2$ раза более высокого водяного столба, $13^1/_2 h_2$) плюс давление водяного столба h_1. Слева напирает водяной столб h_3. В итоге ртуть увлекается силою

$$13^1/_2 h_2 + h_1 - h_3.$$

Но $h_3 - h_1 = h_2$; заменяем поэтому $h_1 - h_3$ через h_2 и получаем

$$13^1/_2 h_2 - h_2,$$

т. е. $12^1/_2 h_2$. Итак, ртуть поступает в сосуд b под давлением веса водяного столба высотою $12^1/_2 h_2$. Теоретически фонтан должен бить поэтому на высоту, равную разности ртутных уровней в склянках, умноженной на $12^1/_2$. Трение несколько понижает эту теоретическую высоту.

Тем не менее описанный прибор дает удобную возможность получить бьющую высоко вверх струю. Чтобы заставить, например, фонтан бить на высоту 10 м, достаточно поднять одну банку над другой примерно на 1 м. Любопытно, что, как видно из нашего расчета, возвышение тарелки a над склянками с ртутью нисколько не влияет на высоту струи.

Изготовление такого фонтана не представляет больших трудностей, кроме получения ртути, материала сейчас дефицитного.

Обманчивые сосуды

В старину — в XVII и XVIII веках — вельможи забавлялись следующей поучительной игрушкой: изготавливали кружку или кувшин, в верхней части которой имелись крупные узорчатые вырезы (рис. 64). Такую кружку, налитую вином, предлагали незнатному гостю, над которым можно было безнаказанно посмеяться. Как пить из нее? Наклонить — нельзя: вино польется из множества сквозных отверстий, а до рта не достигнет ни капли. Случится, как в сказке:

Мед, пиво пил,
Да усы лишь обмочил.

Но кто знал секрет устройства подобных кружек — секрет, который показан на рис. 64 справа, — тот затыкал пальцем отверстие B, брал в рот носик A и втягивал в себя жидкость, не наклоняя сосуда:

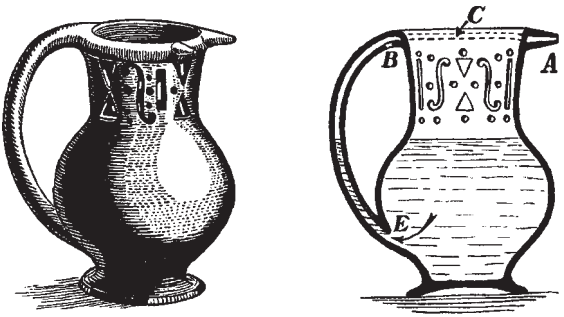


Рис. 64. Обманчивый кувшин конца XVIII века и секрет его устройства

вино поднималось через отверстие *E* по каналу внутри ручки, далее по его продолжению *C* внутри верхнего края кружки и достигало носика *A*.

Не так давно еще подобные кружки изготавливались нашими гончарами. Мне случилось в одном доме видеть образчик их работы, довольно искусно скрывающий секрет устройства сосуда; на кружке была надпись: «Пей, но не облейся».

Сколько весит вода в опрокинутом стакане?

— Ничего, конечно, не весит: в таком стакане вода не держится, выливается, — скажете вы.

— А если не выливается? — спрошу я. — Что тогда?

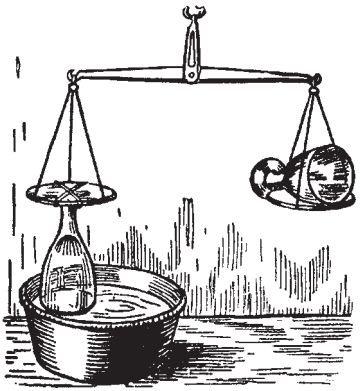


Рис. 65. Какая чашка перетянет?

В самом деле, возможно ведь удержать воду в опрокинутом стакане так, чтобы она не выливалась. Этот случай изображен на рис. 65. Опрокинутый стеклянный бокал, подвязанный за донышко к одной чашке весов, наполнен водой, которая не выливается, так как края бокала погружены в сосуд с водой. На другую чашку весов положен точно такой же пустой бокал.

Какая чашка весов перетянет?

Перетянет та, к которой привязан опрокинутый бокал с водой. Этот

бокал испытывает сверху полное атмосферное давление, снизу же — атмосферное давление, ослабленное весом содержащейся в бокале воды. Для равновесия чашек необходимо было бы наполнить водою бокал, помещенный на другую чашку.

При указанных условиях, следовательно, вода в опрокинутом стакане весит столько же, сколько и в поставленном на дно.

Отчего притягиваются корабли?

Осенью 1912 г. с океанским пароходом «Олимпик» — тогда одним из величайших в мире судов — произошел следующий случай. «Олимпик» плыл в открытом море, а почти параллельно ему, на расстоянии сотни метров, проходил с большой скоростью другой, гораздо меньший, броненосный крейсер «Гаук». Когда оба судна заняли положение, изображенное на рис. 66, произошло нечто неожиданное: меньшее судно стремительно свернуло с пути, словно повинуясь какой-то невидимой силе, повернулось носом к большому пароходу и, не слушаясь руля, двинулось почти прямо на него. Произошло столкновение. «Гаук» врезался носом в бок «Олимпика»; удар был так силен, что «Гаук» проделал в борту «Олимпика» большую пробоину.

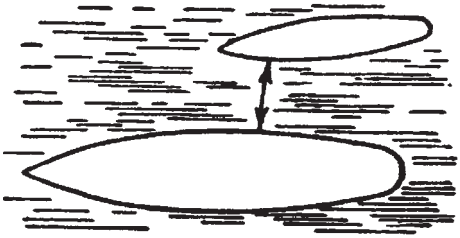


Рис. 66. Положение пароходов «Олимпик» и «Гаук» перед столкновением

Когда этот странный случай рассматривался в морском суде, виновной стороной был признан капитан гиганта «Олимпик», так как — гласило постановление суда — он не отдал никаких распоряжений уступить дорогу идущему наперерез «Гауку».

Суд не усмотрел здесь, следовательно, ничего необычайного: простая нераспорядительность капитана, не больше. А между тем имело место совершенно непредвиденное обстоятельство — случай *взаимного притяжения судов на море.*

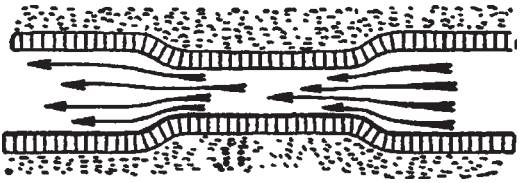


Рис. 67. В узких частях канала вода течет быстрее и давит на стенки слабее, чем в широких

Такие случаи не раз происходили, вероятно, и раньше при параллельном движении двух кораблей. Но пока не строили очень крупных судов, явление это не проявлялось с такой силой. Лишь в самые последние годы, когда воды океанов стали бороздить «плавучие города», явление притяжения судов сделалось гораздо заметнее; с ним считаются командиры военных судов при маневрировании.

Многочисленные аварии мелких судов, проплывавших в соседстве с большими пассажирскими и военными судами, происходили, вероятно, по той же причине.

Чем же объясняется это притяжение? Конечно, здесь не может быть и речи о всемирном тяготении по закону Ньютона; мы уже убедились (гл. четвертая), что это притяжение слишком ничтожно. Причина явления совершенно иного рода и объясняется законами течения жидкостей в трубках и каналах. Можно доказать, что если жидкость протекает по каналу, имеющему сужения и расширения, то в узких частях канала она *течет быстрее и давит на стенки канала слабее*, нежели в широких местах, где она протекает спокойнее и давит на стенки сильнее (так называемый принцип Бернулли).

То же справедливо и для газов. Это явление в учении о *газах* носит название эффекта Клеман — Дезорма (по имени открывших его физиков) и нередко именуется «аэростатическим парадоксом». Впервые явление это, как говорят, обнаружено было случайно при следующих обстоятельствах. В одном из французских рудников рабочему приказано было закрыть щитом отверстие наружной штольни, через которую подавался в шахту сжатый воздух. Рабочий долго боролся со струей врывавшегося в шахту воздуха, но внезапно щит сам собой захлопнул штольню с такой силой, что, будь щит недостаточно велик, его втянуло бы в вентиляционный люк вместе с перепуганным рабочим.

Между прочим, этой особенностью течения газов объясняется действие пульверизатора. Когда мы дуем (рис. 68) в колено *а*, закан-

чивающееся сужением, то воздух, переходя в сужение, уменьшает свою упругость. Таким образом над трубкой *b* оказывается воздух с уменьшенной упругостью, и потому давление атмосферы гонит жидкость из стакана вверх по трубке; у отверстия жидкость попадает в струю выдуваемого воздуха и в нем распыляется.

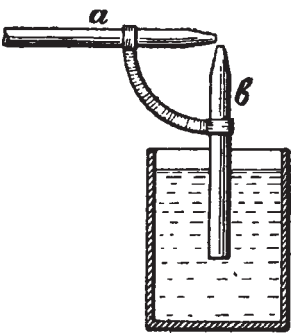


Рис. 68. Пульверизатор

Теперь мы поймем, в чем кроется причина притяжения судов. Когда два парохода плывут параллельно один другому, между их бортами получается как бы водяной канал. В обыкновенном канале стенки неподвижны, а движется вода; здесь же наоборот: неподвижна вода, а движутся стенки. Но действие сил от этого нисколько не меняется: в узких местах подвижного канала вода слабее давит на стенки, нежели в пространстве вокруг пароходов. Другими словами: бока пароходов, обращенные друг к другу, испытывают со стороны воды меньшее давление, нежели наружные части судов. Что же должно произойти вследствие этого? Суда должны под напором наружной воды двинуться друг к другу, и естественно, что меньшее судно перемещается заметнее, между тем как более массивное остается почти неподвижным. Вот почему притяжение проявляется с особенной силой, когда большой корабль быстро проносится мимо маленького.

Итак, притяжение кораблей обусловлено всасывающим действием текущей воды. Этим же объясняется и опасность быстрин для купающихся, всасывающее действие водоворотов и т. п. Можно вычислить, что течение воды в реке при умеренной скорости 1 м/с втягивает человеческое тело с силой 30 кг! Против такой силы нелегко

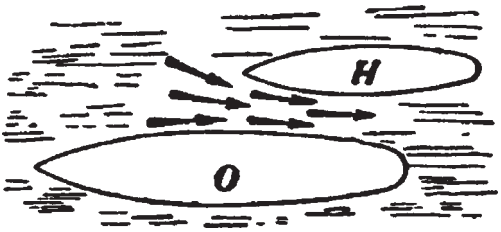


Рис. 69. Течение воды между двумя плывущими судами

устоять, особенно в воде, когда собственный вес нашего тела не помогает нам сохранять устойчивость. Наконец, общеизвестное втягивающее действие быстро несущегося поезда объясняется тем же принципом Бернулли: поезд при скорости 50 км/ч увлекает близстоящего человека с силою около 8 кг.

Явления, связанные с принципом Бернулли, хотя и весьма нередки, мало известны в кругу неспециалистов. Полезно будет поэтому остановиться на нем подробнее. Далее мы приводим отрывок из статьи на эту тему, написанной для одного популярно-научного журнала американским физиком, проф. В. Франклином.

Принцип Бернулли и его следствия

Принцип, впервые высказанный Даниилом Бернулли в 1726 г., гласит: в струе воды или воздуха давление велико, если скорость мала, и давление мало, если скорость велика. Существуют известные ограничения этого принципа, но здесь мы не имеем нужды на них останавливаться.

Рис. 70 иллюстрирует этот принцип.

Воздух продувается через трубку *AB*. Если сечение трубки мало — как в *a*, — скорость воздуха велика; там же, где сечение велико — как в *b*, — скорость воздуха мала. Там, где скорость велика, давление мало, а где скорость мала — давление велико. Вследствие малой величины давления воздуха в *a* жидкость в трубке *C* поднимается; в то же время сильное давление воздуха в *b* заставляет опускаться жидкость в трубке *D*.

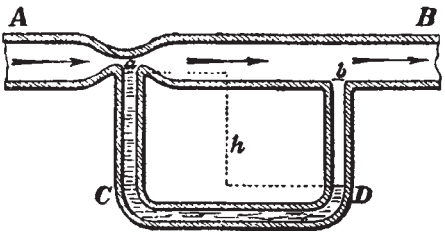


Рис. 70. Иллюстрация принципа Бернулли. В суженной части *(a)* трубки *AB* давление меньше, нежели в широкой *(b)*

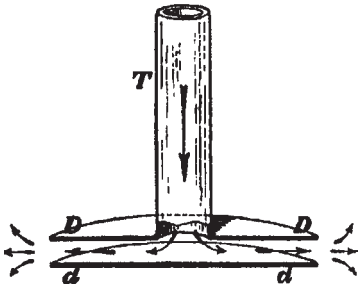


Рис. 71. Опыт с дисками

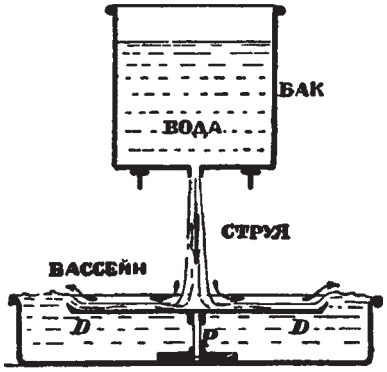


Рис. 72. Диск *DD* приподнимается на стержне *P*, когда на него изливается струя воды из бака *TT*

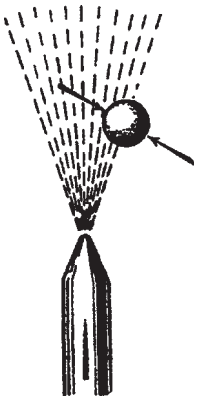


Рис. 73. Шарик, поддерживаемый струей воздуха

На рис. 71 трубка *T* укреплена на медном диске *DD*; воздух продувается через трубку *T* и мимо свободного диска *dd**. Воздух между двумя дисками имеет большую скорость, но эта скорость быстро убывает по мере приближения к краям дисков, так как сечение воздушного потока быстро возрастает и преодолевается инерция воздуха, вытекающего из пространства между дисками. Но давление окружающего диск воздуха велико, так как скорость мала, а давление воздуха между дисками мало, так как скорость велика. Поэтому воздух, окружающий диск, оказывает большее воздействие на диски, стремясь их сблизить, нежели воздушный поток между дисками, стремящийся их раздвинуть; в результате диск *dd* присасывается к диску *DD* тем сильнее, чем сильнее ток воздуха в *T*.

Рис. 72 представляет водяную аналогию рис. 71. Быстро движущаяся вода на диске *DD* находится на низком уровне и сама поднимается до более высокого уровня спокойной воды в бассейне, когда огибает края диска. Поэтому спокойная вода под диском имеет более высокое давление, чем движущаяся вода над диском, вследствие чего диск поднимается. Стержень *P* не допускает боковых смещений диска.

Рис. 73 изображает легкий шарик, плавающий в струе воздуха. Воздушная струя ударяется о шарик и не дает ему падать. Когда

* Тот же опыт можно проделать проще, воспользовавшись катушкой и бумажным кружком. Чтобы кружок не соскальзывал в сторону, его пробивают булавкой, проходящей в канал катушки.

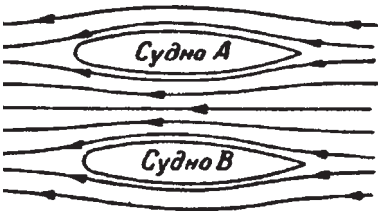


Рис. 74. Два судна, движущиеся параллельно, как бы притягивают друг друга

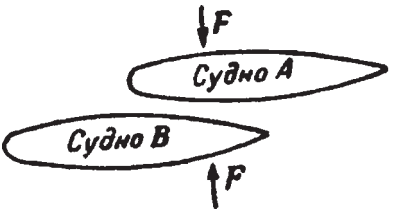


Рис. 75. При движении судов вперед судно *B* поворачивается носом к судну *A*

шарик выскакивает из струи, окружающий воздух возвращает его обратно в струю, так как давление окружающего воздуха, имеющего малую скорость, велико, а давление воздуха в струе, имеющего большую скорость, мало.

Рис. 74 представляет два судна, движущиеся рядом в спокойной воде, или, что сводится к тому же, два судна, стоящие рядом и обтекаемые водою. Поток более стеснен в пространстве между судами, и скорость воды в этом пространстве больше, чем по обе стороны судов. Поэтому давление воды между судами ниже, чем по обе стороны судов; более высокое давление воды, окружающей суда, сближает их. Моряки очень хорошо знают, что два корабля, идущие рядом, сильно притягиваются друг к другу.

Более серьезный случай может иметь место, когда один корабль идет за другим, как представлено на рис. 75. Две силы *F* и *F*, которые сближают корабли, стремятся повернуть их, причем судно *B* поворачивается к *A* со значительной силой. Столкновение в таком случае почти неизбежно, так как руль не успевает изменить направление движения корабля.

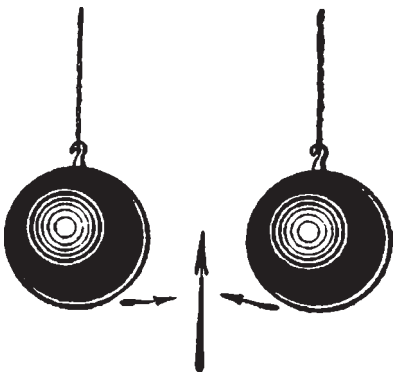


Рис. 76. Если между двумя легкими шарами продувать воздух, они сближаются до соприкосновения

Явление, описанное в связи с рис. 74, можно демонстрировать, продувая воздух между двумя легкими резиновыми мячиками, подвешенными, как указано на рис. 76. Если между ними продувать воздух, они сближаются и ударяются друг о друга.

Назначение рыбьего пузыря

О том, какую роль выполняет плавательный пузырь рыб, обыкновенно говорят и пишут — казалось бы, вполне правдоподобно — следующее. Когда рыба хочет всплыть из глубины в более поверхностные слои воды, она раздувает свой плавательный пузырь: тогда объем ее тела увеличивается, вес вытесняемой воды становится больше ее собственного веса — и, по физическому закону плавания, рыба поднимается вверх. Когда же она хочет прекратить подъем или опуститься вниз, она, напротив, сжимает свой плавательный пузырь. Объем тела, а с ним и вес вытесняемой воды уменьшаются, и рыба опускается на дно, в строгом согласии с законом Архимеда.

Такое упрощенное представление о назначении плавательного пузыря рыб восходит ко временам ученых Флорентийской академии (XVII век) и было высказано главным ее работником, проф. Борелли, в 1685 г. В течение более чем 200 лет оно принималось без возражений, успело укорениться в школьных учебниках, — и только трудами новых исследователей (Моро, Шарбонель) была обнаружена полная несостоятельность этой теории.

Пузырь имеет, несомненно, весьма тесную связь с плаванием рыбы, так как рыбы, у которых пузырь был при опытах искусственно удален, могли держаться в воде, только усиленно работая плавниками, а при прекращении этой работы — падали на дно. Какова же истинная его роль? Весьма ограниченная: он лишь помогает рыбе оставаться на определенной глубине — именно на той, где вес вытесняемой рыбой воды равен весу самой рыбы. Когда же рыба работой плавников опускается *ниже* этого уровня, тело ее, испытывая большое наружное давление со стороны воды, сжимается, сдавливая пузырь; вес вытесняемого объема воды уменьшается, становится меньше веса рыбы — и рыба неудержимо падает вниз. Чем ниже она опускается, тем сильнее становится давление воды (на 1 атмосферу при опускании на каждые 10 м), тем больше сдавливается тело рыбы и тем стремительнее продолжает оно опускаться.

То же самое, только в обратном направлении, происходит тогда, когда рыба, покинув слой, где она находилась в равновесии, перемещается работой плавников в более высокие слои. Тело ее, освободившись от части наружного давления и по-прежнему распираемое изнутри плавательным пузырем (в котором давление газа находилось до этого момента в равновесии с давлением окружающей воды), увеличивается в объеме и вследствие этого всплывает выше. Чем

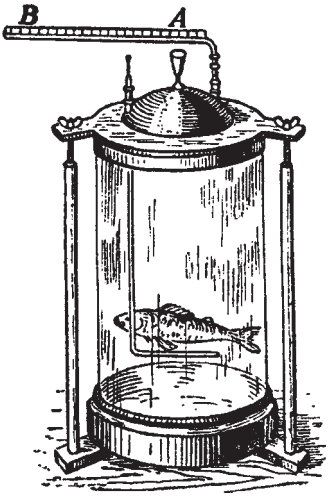


Рис. 77. Опыт с уклейкой

выше рыба поднимается, тем более раздувается ее тело и тем, следовательно, стремительнее ее дальнейший подъем. Помешать этому, «сжимая пузырь», рыба не в состоянии, так как стенки ее плавательного пузыря лишены мышечных волокон, которые могли бы активно изменять его объем.

Что такое *пассивное* расширение объема тела действительно совершается у рыб, подтверждается следующим опытом (рис. 77). Уклейка в захлороформированном состоянии помещается в закрытый сосуд с водой, в котором поддерживается усиленное давление, близкое к тому, какое господствует на определенной глубине в естественном водоеме. На поверхности воды рыбка лежит бездеятельно, вверх брюшком. Погруженная немного глубже, она вновь всплывает на поверхность. Помещенная ближе ко дну, она опускается на дно. Но в промежутке между обоими уровнями существует слой воды, в котором рыбка остается в равновесии — не тонет и не всплывает. Все это становится понятным, если вспомним сказанное сейчас о пассивном расширении и сжатии плавательного пузыря.

Итак, вопреки распространенному мнению, рыба вовсе не может произвольно раздувать и сжимать свой плавательный пузырь. Изменения его объема происходят пассивно, под действием усиленного или ослабленного наружного давления (согласно закону Бойля — Мариотта). Эти изменения объема для рыбы не только не полезны, а, напротив, приносят ей вред, так как обусловливают либо неудержимое, все ускоряющееся падение на дно, либо столь же неудержимый и ускоряющийся подъем на поверхность. Другими словами, пузырь помогает рыбе в неподвижном положении сохранять равновесие, но равновесие это *неустойчивое*.

Наблюдения рыболовов подтверждают сказанное. При ловле рыб из большой глубины случается, что иная рыба на половине пути высвобождается; но, вопреки ожиданию, она не опускается вновь в глубину, из которой была извлечена, а, напротив, стремительно поднимается на поверхность. У таких-то рыб и замечают иногда, что пузырь выпячивается через рот.

Такова истинная роль плавательного пузыря рыб — поскольку речь идет о его отношении к плаванию; выполняет ли он также и другие функции в организме рыбы и какие именно — неизвестно, так что орган этот все же является пока загадочным. И только его гидростатическую роль можно считать в настоящее время вполне выясненной.

Волны и вихри

Многие из повседневных физических явлений не могут быть объяснены на основе элементарных законов физики. Даже такое часто наблюдаемое явление, как волнение моря в ветреный день, не поддается исчерпывающему объяснению в рамках школьного курса физики. А чем обусловлены волны, разбегающиеся в спокойной воде от носа идущего парохода? Почему волнуются флаги в ветреную погоду? Почему песок на берегу моря располагается волнообразно? Почему клубится дым, выходящий из заводской трубы?

Чтобы объяснить эти и другие подобные им явления, надо знать особенности так называемого *вихревого* движения жидкостей и газов. Постараемся очертить здесь вкратце область вихревых явлений и отметить их главные особенности, так как в школьных учебниках о вихрях едва упоминается.

Представим себе жидкость, текущую в трубе. Если все частицы жидкости движутся при этом вдоль трубы по параллельным линиям, то перед нами простейший вид движения жидкостей — спокойный, или, как физики говорят, ламинарный, поток. Однако это вовсе не наиболее частый случай. Напротив, гораздо чаще жидкости текут в трубах неспокойно; от стенок трубы идут к ее оси вихри. Это — вихреобразное, или *турбулентное*, движение. Так течет, например, вода в трубах водопроводной сети (если не иметь в виду тонкие трубы, где течение ламинарное). Вихревое течение наблюдается всякий раз, когда скорость течения данной жидкости в трубе (данного диаметра) достигает определенной величины — так называемой *критической* скорости*.

* Критическая скорость для какой-нибудь жидкости прямо пропорциональна вязкости жидкости и обратно пропорциональна ее плотности и диаметру трубы, по которой жидкость течет. (Подробности в книге В. Л. Кирпичева «Беседы по механике», беседа седьмая.)



Рис. 78. Спокойное (ламинарное) течение жидкости в трубе



Рис. 79. Вихревое (турбулентное) течение жидкости в трубе

Вихри текущей в трубе жидкости можно сделать заметными для глаз, если в прозрачную жидкость, текущую в стеклянной трубке, ввести немного легкого порошка, например ликоподия. Тогда ясно различаются вихри, идущие от стенок трубки к ее оси.

Эта особенность вихревого течения используется в технике при устройстве холодильников и охладителей. Жидкость, текущая турбулентно в трубке с охлаждаемыми стенками, гораздо быстрее приводит все свои частицы в соприкосновение с холодными стенками, нежели при движении без вихрей; надо помнить, что сами по себе жидкости — дурные проводники теплоты и при отсутствии перемешивания охлаждаются или прогреваются очень медленно. Оживленный тепловой и вещественный обмен крови с омываемыми ею тканями также возможен лишь потому, что ее течение в кровеносных сосудах не ламинарное, а вихревое.

Сказанное о трубах относится в равной мере и к открытым каналам и руслам рек: в каналах и реках вода течет турбулентно. При точном измерении скорости течения реки инструмент обнаруживает пульсации, особенно близ дна: пульсации указывают на постоянно меняющееся направление течения, т. е. на вихри. Частицы речной воды движутся не только вдоль речного русла, как обычно представляют себе, но также и от берегов к середине. Оттого и неправильно утверждение, будто в глубине реки вода имеет круглый год одну и ту же температуру, именно +4 °С: вследствие перемешивания температура текущей воды близ дна реки (но не озера) такая же, как и на поверхности.

Вихри, образующиеся у дна реки, увлекают с собою легкий песок и порождают здесь песчаные «волны». То же можно видеть и на песчаном берегу моря, омываемом набегающей волной (рис. 80). Если бы течение воды близ дна было спокойное, песок на дне имел бы ровную поверхность.

Итак, близ поверхности тела, омываемого водой, образуются вихри. Об их существовании говорит нам, например, змеевидно извивающаяся веревка, протянутая вдоль по течению воды (когда один

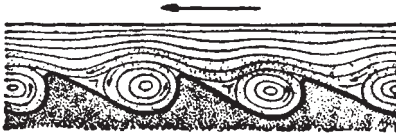


Рис. 80. Образование песчаных волн на морском берегу действием водяных вихрей



Рис. 81. Волнообразное движение веревки в текучей воде обусловлено образованием вихрей

конец веревки привязан, а другой свободен). Что тут происходит? Участок веревки, близ которого образовался вихрь, увлекается им; но в следующий момент этот участок движется уже другим вихрем в противоположную сторону — получается змеевидное извивание (рис. 81).

От жидкостей перейдем к газам, от воды — к воздуху. Кто не видал, как воздушные вихри увлекают с земли пыль, солому и т. п.?

Это — проявление вихревого течения воздуха вдоль поверхности земли. А когда воздух течет вдоль водной поверхности, то в местах образования вихрей, вследствие понижения здесь воздушного давления, вода возвышается горбом — порождается волнение. Та же причина порождает песчаные волны в пустыне и на склонах дюн (рис. 82). Волнение зрелой нивы — того же происхождения.



Рис. 82. Волнообразная поверхность песка в пустыне



Рис. 83. Клубы дыма, выходящего из заводской трубы

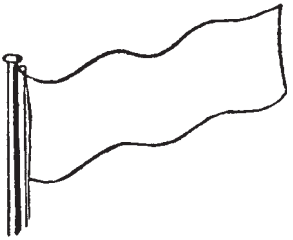


Рис. 84. Реющий флаг на ветру

Легко понять теперь, почему волнуется флаг при ветре: с ним происходит то же, что и с веревкой в текучей воде. Твердая пластинка флюгера не сохраняет при ветре постоянного направления, а, повинуясь вихрям, все время колеблется. Такого же вихревого происхождения и клубы дыма, выходящего из заводской трубы: топочные газы протекают через трубу вихревым движением, которое и продолжается некоторое время по инерции за пределами трубы (рис. 83).

Велико значение турбулентного движения воздуха для авиации. Крыльям самолета придается такая форма, при которой место разрежения воздуха под крылом оказывается заполненным веществом крыла, а вихревое действие над крылом, напротив, усиливается. В итоге крыло снизу подпирается, а сверху присасывается (рис. 85). Сходные явления имеют место и при парении птицы с распростертыми крыльями.

Как действует ветер, обдувающий крышу? Вихри создают над крышей разрежение воздуха; стремясь выравнять давление, воздух из-под крыши, увлекаясь вверх, напирает на нее. В результате происходит то, что, к сожалению, приходится нередко наблюдать: легкая, непрочно прикрепленная крыша уносится ветром. Большие оконные

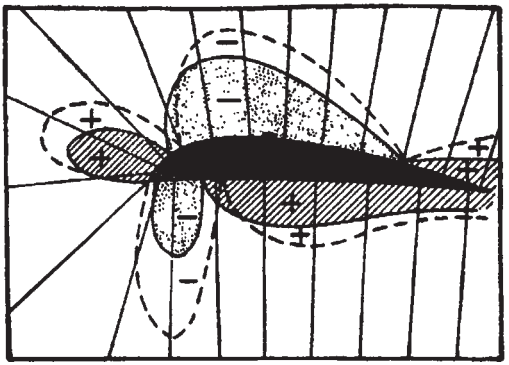


Рис. 85. Каким силам подвержено крыло самолета. Распределение давлений (+) и разрежений (−) воздуха по крылу на основании новейших опытов. В итоге всех приложенных усилий, подпирающих и засасывающих, крыло увлекается вверх. (Сплошные линии показывают распределение давлений; пунктир — то же при резком увеличении скорости полета.)

стекла по той же причине при ветре выдавливаются изнутри (а не разламываются напором снаружи).

Когда два потока воздуха разной температуры и влажности текут один вдоль другого, в каждом возникают вихри. Разнообразные формы облаков в значительной мере обусловлены этой причиной.

Мы видим, какой обширный круг явлений связан с вихревыми течениями.

Однако законы самих вихревых движений еще далеко не изучены: эта область представляет для математического исследования огромные трудности, которые науке предстоит еще преодолеть.

Кто желает подробнее познакомиться с затронутыми сейчас явлениями, при условии серьезной и систематической работы над книгой, тому можно посоветовать «Курс аэродинамики» П. М. Ширманова; руководство это отличается ясностью изложения и не предполагает у читателя знания высшей математики.

Путешествие в недра Земли

Ни один человек не опускался еще в Землю глубже $2^1/_2$ км — а между тем радиус земного шара равен 6400 км. До центра Земли остается еще очень длинный путь. Тем не менее изобретательный Жюль Верн спустил глубоко в недра Земли своих героев — чудака-профессора Лиденброка и его племянника Акселя. В романе «Путешествие к центру Земли» он описал удивительные приключения этих подземных путешественников. В числе неожиданностей, встреченных ими под землей, было, между прочим, и увеличение плотности воздуха. По мере поднятия вверх воздух разрежается очень быстро: его плотность уменьшается в геометрической прогрессии, в то время как высота поднятия растет в прогрессии арифметической. Напротив, при опускании вниз, ниже уровня океана, воздух под давлением вышележащих слоев должен становиться все плотнее. Подземные путешественники, конечно, не могли не заметить этого.

Вот какой разговор происходил между дядей-ученым и его племянником на глубине 12 лье (48 км) в недрах Земли.

«— Посмотри, что показывает манометр? — спросил дядя.

— Очень сильное давление.

— Теперь ты видишь, что, спускаясь помаленьку, мы постепенно привыкаем к сгущенному воздуху и нисколько не страдаем от этого.

— Если не считать боли в ушах.

— Пустяки!

— Хорошо, — отвечал я, решив не противоречить дяде. — Находиться в сгущенном воздухе даже приятно. Вы заметили, как громко раздаются в нем звуки?

— Конечно. В этой атмосфере даже глухой мог бы слышать.

— Но воздух будет становиться все плотнее. Не приобретает ли он в конце концов плотности воды?

— Конечно: под давлением в 770 атмосфер.

— А еще ниже?

— Плотность увеличится еще больше.

— Как же мы станем тогда спускаться?

— Набьем карманы камнями.

— Ну, дядя, у вас на все есть ответ!

Я не стал более вдаваться в область догадок, потому что, пожалуй, опять придумал бы какое-нибудь препятствие, которое рассердило бы дядю. Было, однако, очевидно, что под давлением в несколько тысяч атмосфер воздух может перейти в твердое состояние, а тогда, допуская даже, что мы могли вынести такое давление, придется все же остановиться. Тут уже никакие споры не помогут».

Фантазия и математика

Так повествует романист; но не то окажется, если мы проверим факты, о которых говорится в этом отрывке. Нам не придется спускаться для этого в недра Земли; для маленькой экскурсии в область физики вполне достаточно запастись карандашом и бумагой.

Прежде всего постараемся определить, на какую глубину нужно опуститься, чтобы давление атмосферы возросло на 1000-ю долю. Нормальное давление атмосферы равно весу 760-миллиметрового столба ртути. Если бы мы были погружены не в воздух, а в ртуть, нам надо было бы опуститься всего на $^{760}/_{1000}$ = 0,76 мм, чтобы давление увеличилось на 1000-ю долю. В воздухе же, конечно, мы должны опуститься для этого гораздо глубже, и именно — во столько раз, во сколько раз воздух легче ртути — в 10 500 раз. Значит, чтобы давление увеличилось на 1000-ю долю нормального, нам придется опуститься не на 0,76 мм, как в ртути, а на 0,76 × 10 500, т. е. почти на 8 м. Когда же мы опустимся еще на 8 м, то увеличенное давление возрастет еще на 1000-ю своей величины, и т. д.* На каком бы уровне мы ни нахо-

* Следующий 8-метровый слой воздуха плотнее предыдущего, а потому прибавка давления будет по абсолютной величине больше, чем в предшествовавшем слое. Но она и должна быть больше, потому что здесь берется 1000-я доля от более крупной величины.

дились — у самого «потолка мира» (22 км), на вершине горы Эверест (9 км) или близ поверхности океана, — нам нужно опуститься на 8 м, чтобы давление атмосферы возросло на 1000-ю долю первоначальной величины. Получается, следовательно, такая таблица возрастания давления воздуха с глубиной:

На уровне	Земли	давление 760 мм	=	нормальное
» глубине	8 м	»	=	1,001 нормального
» »	2×8 »	»	=	$(1{,}001)^2$ »
» »	3×8 »	»	=	$(1{,}001)^3$ »
» »	4×8 »	»	=	$(1{,}001)^4$ »

И вообще на глубине $n \times 8$ м давление атмосферы больше нормального в $(1{,}001)^n$ раз; и пока давление не очень велико, во столько же раз увеличится и плотность воздуха (закон Мариотта).

Заметим, что в данном случае дело идет, как видно из романа, об углублении в Землю всего на 48 км, а потому ослабление силы тяжести и связанное с ним уменьшение веса воздуха можно не принимать в расчет.

Теперь можно рассчитать, как велико было, примерно, то давление, которое подземные путешественники Жюля Верна испытывали на глубине 48 км (48 000 м). В нашей формуле n равняется $^{48\,000}/_{8} = 6000$. Приходится вычислить $1{,}001^{6000}$. Так как умножать 1,001 само на себя 6000 раз — занятие довольно скучное и отняло бы много времени, то мы обратимся к помощи логарифмов, о которых справедливо сказал Лаплас, что они, сокращая труд, удваивают жизнь вычислителей*. Логарифмируя, имеем:

$$\text{логарифм неизвестного} = 6000 \times \lg 1{,}001 = 6000 \times 0{,}00043 = 2{,}6.$$

По логарифму 2,6 находим искомое число; оно = 400.

Итак, на глубине 48 км давление атмосферы в 400 раз сильнее нормального; плотность воздуха под таким давлением возрастет, как

* Кто вынес из школы неприязненное чувство к логарифмическим таблицам, тот, быть может, изменит свое нелюбезное к ним отношение, познакомившись с характеристикой, данной им великим французским астрономом. Вот это место в «Изложении системы мира»: «Изобретение логарифмов, сокращая вычисления нескольких месяцев в труд нескольких дней, как бы удваивает жизнь астрономов и освобождает их от погрешностей и утомления, неразлучных с длинными вычислениями. Это изобретение тем лестнее для ума человеческого, что всецело почерпнуто из этого источника (т. е. из ума). В технике человек для увеличения своего могущества пользуется материалами и силами окружающей природы; в логарифмах же все является результатом его собственного ума».

показали опыты, в 315 раз. Сомнительно поэтому, чтобы наши подземные путники нисколько не страдали, испытывая только «боль в ушах»... В романе Жюля Верна говорится, однако, о достижении людьми еще больших подземных глубин — именно 120 и даже 325 км. Давление воздуха должно было достигать там чудовищных степеней; человек же способен переносить безвредно для себя воздушное давление не свыше трех-четырех атмосфер.

Если бы по той же формуле мы стали вычислять, на какой глубине воздух становится так же плотен, как и вода, т. е. уплотняется в 770 раз, то получили бы цифру: 53 км. Но этот результат неверен, так как при высоких давлениях плотность газа уже не пропорциональна давлению. Закон Мариотта вполне верен лишь для не слишком значительных давлений, не превышающих сотни атмосфер. Вот данные о плотности воздуха, полученные при опытах Наттерера:

Давление		Плотность
200	атмосфер	190
400	»	315
600	»	387
1500	»	513
1800	»	540
2100	»	564

Увеличение плотности, как видим, заметно отстает от возрастания давления. Напрасно жюль-верновский ученый ожидал, что он достигнет глубины, где воздух плотнее воды, — этого ему не пришлось бы дождаться, так как воздух достигает плотности воды лишь под давлением 3000 атмосфер, а дальше уже почти не сжимается. О том же, чтобы превратить воздух в твердое состояние одним давлением, без сильнейшего охлаждения (ниже минус 146 °С), не может быть речи.

Справедливость требует отметить, однако, что упомянутый роман Жюля Верна был опубликован задолго до того, как стали известны приведенные сейчас научные факты. Это оправдывает автора, хотя и не исправляет повествования.

Воспользуемся еще приведенной раньше формулой, чтобы вычислить наибольшую глубину шахты, на дне которой человек может оставаться без вреда для своего здоровья. Наибольшее воздушное давление, какое еще способен переносить наш организм, — 3 атмосферы. Обозначая искомую глубину шахты через x, имеем уравнение:

$$(1{,}001)^{x/8} = 3,$$

откуда (логарифмируя) вычисляем x. Получаем $x = 8{,}9$ км.

Итак, человек мог бы без вреда находиться на глубине почти 9 км. Если бы Тихий океан вдруг высох, люди могли бы почти повсюду жить на дне его.

В глубочайшей шахте мира

Кто ближе всего продвинулся к центру Земли — не в фантазии романиста, а в реальной действительности? Конечно, горнорабочие. Мы уже знаем (см. гл. четвертую), что глубочайшие шахты мира прорыты в золотоносных районах Южной Африки и Бразилии: они уходят вглубь более чем на два километра. Здесь имеется в виду не глубина проникновения бурильного долота, достигающая в некоторых случаях $3^1/_4$–$3^1/_3$ км (рис. 86) и даже более*, а углубление самих людей. Вот что рассказывает о бразильской шахте французский писатель д-р Люк Дюртен, лично посетивший ее:

«Знаменитые золотые прииски Морро Вельхо находятся в 400 км от Рио-де-Жанейро. После 16 часов езды по железной дороге в скалистой местности вы спускаетесь в глубокую долину, окруженную джунглями. Здесь английская компания разрабатывает золотоносные жилы на такой глубине, на какую никогда раньше не спускался человек.

Жила идет вглубь косо. Шахта следует за ней шестью уступами. Вертикальные шахты — колодцы, горизонтальные — туннели. Чрезвычайно характерно для современного общества, что глубочайшая шахта, прорытая в коре земного шара, самая смелая попытка человека проникнуть в недра планеты, — сделана в поисках золота.

Наденьте парусиновую прозодежду и кожаную куртку. Осторожнее: малейший камешек, падающий в колодец, может ранить вас. Нас будет сопровождать один из «капитанов» шахты. Вы входите в первый туннель, хорошо освещенный. Вас охватывает дрожь от леденящего ветра в 4 °С: это вентиляция для охлаждения глубин шахты.

Проехав в узкой металлической клетке первый колодец глубиной 700 м, вы попадете во второй туннель. Спускаетесь во второй колодец; воздух становится теплее. Вы уже находитесь ниже уровня моря.

Начиная со следующего колодца, воздух обжигает лицо. Вы достигли наконец знаменитого колодца № 43. Обливаясь по́том, согнувшись под низким сводом, вы подвигаетесь по направлению к реву сверлильных машин. В густой пыли работают обнаженные люди; с них струится пот,

* Самая глубокая в мире скважина пробурена в Техасе на глубине 3835 м в поисках нефти; поиски оказались безрезультатными, и скважина ликвидирована (в 1935 г.). [В настоящее время самой глубокой в мире скважиной является Кольская сверхглубокая — ее глубина достигает 12 км 262 м. — *Примеч. ред.*]

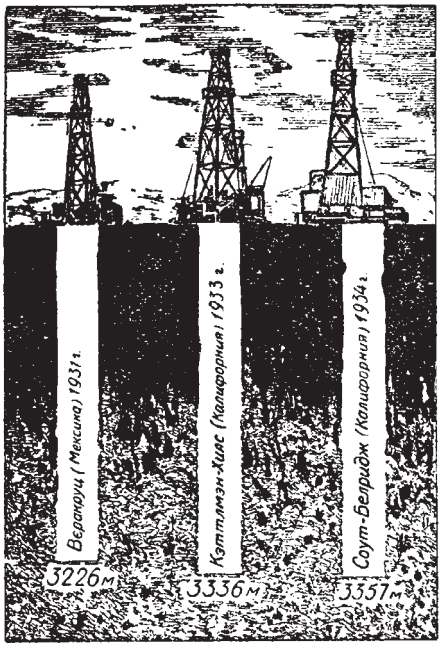


Рис. 86. Буровые скважины

руки безостановочно передают бутыль с водой. Не дотрагивайтесь до обломков руды, сейчас отколотых: температура их 57 °С.

Каков же итог этой ужасной, отвратительной действительности? Около 10 кило золота в день...»*

Описывая физические условия на дне шахты и степень крайней эксплуатации рабочих, французский писатель отмечает высокую температуру, но не упоминает о повышенном давлении воздуха. Вычислим, каково оно на глубине 2300 м. Если бы температура оставалась такая же, как на поверхности Земли, то — согласно знакомой уже нам формуле — плотность воздуха возросла бы в

$$1{,}001^{2300/8} = 1{,}33 \text{ раза.}$$

В действительности температура не остается неизменной, но повышается. Поэтому плотность воздуха растет не столь значительно, а меньше. В конечном итоге воздух на дне шахты по плотности раз-

* Журнал «За рубежом», 1933, № 13.

нится от воздуха на поверхности Земли немногим больше, чем воздух знойного летнего дня от морозного воздуха зимы. Понятно теперь, почему это обстоятельство не привлекло к себе внимания посетителя шахты.

Зато большое значение имеет значительная влажность воздуха в таких глубоких рудниках, делающая пребывание в них невыносимым при высокой температуре. В одном из южноафриканских рудников (Иогансбург), глубиною 2553 м, влажность при 50 °С жары достигает 100%; здесь устраивается теперь так называемый искусственный климат, причем охлаждающее действие установки равнозначаще 2000 т льда.

Ввысь со стратостатами

В предыдущих статьях мы мысленно путешествовали в земные недра, причем нам помогла формула зависимости давления воздуха от глубины. Отважимся теперь подняться вверх и, пользуясь той же формулой, посмотрим, как меняется давление воздуха на больших высотах. Формула для этого случая принимает такой вид:

$$p = 0{,}999^{h/8},$$

где p — давление в атмосферах, h — высота в метрах. Дробь 0,999 заменила здесь число 1,001, потому что при перемещении вверх на 8 м давление не возрастает на 0,001, а *уменьшается* на 0,001.

Решим для начала задачу: как высоко надо подняться, чтобы давление воздуха уменьшилось *вдвое*?

Для этого приравняем в нашей формуле давление $p = 0{,}5$ и станем искать высоту h. Получим уравнение

$$0{,}5 = 0{,}999^{h/8},$$

решить которое не составит труда для читателей, умеющих обращаться с логарифмами. Ответ $h = 5{,}6$ км определяет высоту, на которой давление воздуха должно уменьшиться вдвое.

Направимся теперь еще выше, вслед за отважными советскими воздухоплавателями, достигшими высоты 19 и 22 км. Эти высокие области атмосферы находятся уже в так называемой стратосфере. Поэтому и шарам, на которых совершаются подобные подъемы, присвоено наименование не аэростатов, а стратостатов. Не думаю, чтобы

среди читателей нашелся хотя бы один, который не слыхал бы названий советских стратостатов «СССР» и «ОАХ-1», поставивших мировые рекорды высоты: первый — 19 км, второй — 22 км.

Попытаемся вычислить, каково давление атмосферы на этих высотах.

Для высоты 19 км найдем, что давление воздуха должно составлять

$$0{,}999^{19\,000/8} = 0{,}095 \text{ атм} = 72 \text{ мм}.$$

Для высоты 22 км —

$$0{,}999^{22\,000/8} = 0{,}066 \text{ атм} = 50 \text{ мм}.$$

Однако, заглянув в записи стратонавтов, находим, что на указанных высотах отмечены были другие давления: на высоте 19 км — 50 мм, на высоте 22 км — 45 мм.

Почему же расчет не подтверждается? В чем наша ошибка?

Закон Мариотта для газов при столь малом давлении применим вполне, но на этот раз мы сделали другое упущение: считали температуру воздуха одинаковой во всей 20-километровой толще, между тем как она заметно падает с высотой. В среднем принимают, что температура при поднятии на каждый километр падает на 6,5 °С; так происходит до высоты 11 км, где температура равна минус 56 °С, и далее на значительном протяжении остается неизменной. Если принять это обстоятельство во внимание (для чего уже недостаточны средства элементарной математики), получатся результаты, гораздо более согласные с действительностью. По той же причине на итоги наших прежних вычислений, относящихся к давлению воздуха, нужно тоже смотреть как на более или менее приближенные.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Веер

Когда на многолюдном собрании женщины обмахиваются веерами, им, конечно, становится прохладнее. Казалось бы, что занятие это вполне безвредно для остальных присутствующих и что собравшиеся могут быть только признательны женщинам за охлаждение воздуха в зале.

Посмотрим, так ли это. Почему при обмахивании веером мы ощущаем прохладу? Воздух, непосредственно прилегающий к нашему лицу, нагревается, и эта теплая воздушная маска, невидимо одевающая наше лицо, «греет» его, т. е. замедляет дальнейшую потерю тепла. Если воздух вокруг нас неподвижен, то нагревшийся близ лица слой воздуха лишь весьма медленно вытесняется вверх более тяжелым ненагретым воздухом. Когда же мы смахиваем веером с лица теплую воздушную маску, то лицо соприкасается со все новыми порциями ненагретого воздуха и непрерывно отдает им свою теплоту; тело наше остывает — и мы ощущаем прохладу.

Значит, при обмахивании веером женщины непрерывно удаляют от своего лица нагретый воздух и заменяют его ненагретым; нагревшись, этот воздух удаляется в свою очередь и заменяется новой порцией ненагретого и т. д.

Работа вееров ускоряет перемешивание воздуха и способствует быстрейшему уравнению температуры воздуха во всем зале, т. е. доставляет облегчение обладательницам веера за счет более прохладного воздуха, окружающего остальных присутствующих.

Греет ли вуаль?

Вот еще задача из физики обыденной жизни. Женщины утверждают, что вуаль греет, что без нее лицо зябнет. При взгляде на легкую ткань вуали, нередко с довольно крупными ячейками, мужчины не

очень склонны верить этому утверждению и думают, что согревающее действие вуали — игра воображения.

Однако, если вспомните сказанное выше, вы отнесетесь к этому утверждению более доверчиво. Как бы крупны ни были ячейки вуали, воздух через такую ткань проходит все же с некоторым замедлением. Тот слой воздуха, который непосредственно прилегает к лицу и, нагревшись, служит словно теплой воздушной маской, — слой этот, удерживаемый вуалью, не так быстро сдувается ветром, как при отсутствии ее. Поэтому нет основания не верить женщинам, что при небольшом морозе и слабом ветре лицо во время ходьбы зябнет в вуали меньше, чем без нее.

Отчего при ветре холоднее?

Все знают, конечно, что в тихую погоду мороз переносится гораздо легче, чем при ветре. Но не все представляют себе отчетливо причину этого явления. Усиленный холод при ветре ощущается лишь *живыми существами*; термометр же не опускается ниже, когда его обдувает ветер. Ощущение резкого холода в ветреную морозную погоду объясняется прежде всего тем, что от лица (и вообще от тела) отнимается при этом гораздо больше тепла, нежели в тихую погоду, когда воздух, нагретый телом, не так быстро сменяется новой порцией холодного воздуха. Чем ветер сильнее, тем бóльшая масса воздуха успевает в течение каждой минуты прийти в соприкосновение с кожей и, следовательно, тем больше тепла отнимается ежеминутно от нашего тела. Этого одного уже достаточно, чтобы вызвать ощущение холода.

Но есть и еще причина. Кожа наша всегда испаряет влагу, даже в холодном воздухе. Для испарения требуется теплота; она отнимается от нашего тела и от того слоя воздуха, который к телу прилегает. Если воздух неподвижен, испарение совершается медленно, так как прилегающий к коже слой воздуха скоро насыщается парами (в насыщенном воздухе не происходит интенсивного испарения). Но если воздух движется и к коже притекают все новые и новые его порции, то испарение все время поддерживается очень обильное — а это требует большого расхода теплоты, отбираемой у нашего тела.

Как же велико охлаждающее действие ветра? Оно зависит от его скорости и от температуры воздуха; в общем, оно гораздо значительнее, чем обычно думают. Приведу пример, дающий представление о том, каково бывает это понижение. Пусть температура воздуха + 4 °С, а ветра нет никакого. Кожа нашего тела при таких условиях имеет

температуру 31 °С. Если же дует легкий ветерок, едва движущий флаги и не шевелящий листвы (скорость 2 м/с), то кожа охлаждается на 7 °С; при ветре, заставляющем флаг полоскаться (скорость 6 м/с), кожа охлаждается на 22 °С: температура ее падает до 9 °С! Эти данные взяты из книги Н. Н. Калитина «Основы физики атмосферы в применении к медицине»; любознательный читатель найдет в ней много интересных подробностей.

Итак, о том, как будет ощущаться нами мороз, мы не можем судить по одной лишь температуре, а должны принимать во внимание также и скорость ветра. Один и тот же мороз переносится в Ленинграде в среднем хуже, чем в Москве, потому что средняя скорость ветра на берегах Балтийского моря равна 5–6 м/с, а в Москве — только 4,5 м/с. Еще легче переносятся морозы в Забайкалье, где средняя скорость ветра всего 1,3 м/с. Знаменитые восточносибирские морозы ощущаются далеко не так жестоко, как думаем мы, привыкшие в Европе к сравнительно сильным ветрам; Восточная же Сибирь отличается почти полным безветрием, особенно в зимнее время.

Горячее дыхание пустыни

«Значит, ветер и в знойный день должен приносить прохладу, — скажет, быть может, читатель, прочтя предыдущую статью. — Почему же в таком случае путешественники говорят о *горячем дыхании* пустыни?»

Противоречие объясняется тем, что в тропическом климате воздух бывает *теплее, чем наше тело*. Неудивительно, что там при ветре людям становится не прохладнее, а жарче. Теплота передается там уже не от тела воздуху, но обратно — воздух нагревает человеческое тело. Поэтому, чем большая масса воздуха успеет ежеминутно прийти в соприкосновение с телом, тем сильнее ощущение жара. Правда, испарение и здесь усиливается при ветре, но первая причина перевешивает.

Охлаждающие кувшины

Если вам не случалось видеть таких кувшинов, то, вероятно, вы слыхали или читали о них. Эти сосуды из необожженной глины обладают той любопытной особенностью, что налитая в них вода становится прохладнее, чем окружающие предметы. Кувшины в большом распространении у южных народов (между прочим, и у нас в Крыму)

и носят различные названия: в Испании — «алькаращца», в Египте — «гоула» и т. д.

Секрет охлаждающего действия этих кувшинов прост: жидкость просачивается через глиняные стенки наружу и там медленно испаряется, отнимая при этом теплоту («скрытую теплоту испарения») от сосуда и заключенной в нем жидкости.

Но неверно, что жидкость в таких сосудах охлаждается до очень низкой температуры — как приходится читать в описаниях путешествий по южным странам. Охлаждение не может быть велико. Зависит оно от многих условий. Чем знойнее воздух, тем скорее и обильнее испаряется жидкость, увлажняющая сосуд снаружи, — и, следовательно, тем более охлаждается вода внутри кувшина. Зависит охлаждение и от влажности окружающего воздуха: если в нем много влаги, испарение происходит медленно и вода охлаждается незначительно; в сухом воздухе, напротив, происходит энергичное испарение, вызывающее более заметное охлаждение. Ветер также ускоряет испарение и тем способствует охлаждению: это все хорошо знают по тому ощущению холода, которое приходится испытывать в мокром платье в теплый, но ветреный день. Понижение температуры в охлаждающих кувшинах не превышает 5 °С. В знойный южный день, когда термометр показывает подчас 33 °С, вода в охлаждающем кувшине имеет температуру теплой ванны, 28 °С. Охлаждение, как видим, практически бесполезное. Зато хорошо сохраняют кувшины *холодную воду*; для этой цели их преимущественно и употребляют.

Мы можем попытаться вычислить степень охлаждения воды в «алькараццах». Пусть у нас имеется кувшин, вмещающий 5 л воды; допустим, что $^1/_{10}$ л испарилась. Для испарения 1 л воды (1 кг) требуется при температуре знойного (33 °С) дня около 580 калорий. У нас испарилась $^1/_{10}$ кг; следовательно, понадобилось 58 калорий. Если бы вся эта теплота заимствовалась только от воды, которая находится в кувшине, температура последней понизилась бы на $^{58}/_5$, т. е. *градусов* на 12. Но бóльшая часть тепла, потребного для испарения, отнимается от стенок самого кувшина и от окружающего его воздуха; с другой стороны, рядом с охлаждением воды в кувшине происходит и нагревание ее теплым воздухом, прилегающим к кувшину. Поэтому охлаждение едва достигает половины полученной цифры.

Трудно сказать, где кувшин охлаждается больше — на солнце или в тени. На солнце ускоряется испарение, но вместе с тем усиливается и приток тепла. Выгоднее, вероятно, держать охлаждающие кувшины в тени на слабом ветре.

Ледник без льда

На охлаждении от испарения основано устройство охлаждающего шкафа для хранения продуктов, своего рода ледника без льда.

Устройство такого охладителя весьма несложно: это ящик из дерева (лучше из оцинкованного железа) с полками, на которые кладут подлежащие охлаждению продукты. Вверху ящика ставится длинный сосуд с чистой холодной водой; в сосуд погружен край холста, который идет вдоль задней стенки ящика вниз, кончаясь в сосуде, помещенном под нижней полкой. Холст напитывается водой, которая, как по фитилю, все время движется через него, медленно испаряясь и тем охлаждая все отделения «ледника».

Такой «ледник» следует ставить в прохладное место квартиры и каждый вечер менять в нем холодную воду, чтобы она успела за ночь хорошо остудиться. Сосуды, содержащие воду, и холст, пропитываемый ею, должны быть, конечно, совершенно чисты.

Какую жару способны мы переносить?

Человек гораздо выносливее по отношению к жаре, чем обыкновенно думают: он способен переносить в южных странах температуру заметно выше той, какую мы в умеренном поясе считаем едва переносимой. Летом в Средней Австралии нередко наблюдается температура 46 °С в тени; там отмечались даже температуры в 55 °С в тени. При переходе через Красное море в Персидский залив температура в корабельных помещениях достигает 50 °С и выше, несмотря на непрерывную вентиляцию.

Наиболее высокие температуры, наблюдавшиеся в природе на земном шаре, не превышали 57 °С. Температура эта установлена в так называемой Долине Смерти в Калифорнии. Зной в Туркестане — самом жарком месте нашего Союза — не бывает выше 50 °С.

Отмеченные сейчас температуры измерялись в тени. Объясню кстати, почему метеоролога интересует температура именно в *тени*, а не на солнце. Дело в том, что температуру *воздуха* измеряет только термометр, выставленный в тени. Градусник, помещенный на солнце, может нагреться его лучами значительно выше, чем окружающий его воздух, и показание его нисколько не характеризует теплового состояния воздушной среды. Поэтому и нет смысла, говоря о знойной погоде, ссылаться на показание термометра, выставленного на солнце.

Производились опыты для определения высшей температуры, какую может выдержать человеческий организм. Оказалось, что при весьма постепенном нагревании организм наш *в сухом воздухе* способен выдержать не только температуру кипения воды (100 °С), но иногда даже еще более высокую, до 160 °С, — как доказали английские физики Благден и Чентри, проводившие ради опыта целые часы в натопленной печи хлебопекарни. «Можно сварить яйца и изжарить бифштекс в воздухе помещения, в котором люди остаются без вреда для себя», — замечает по этому поводу Тиндаль.

Чем же объясняется такая выносливость? Тем, что организм наш фактически не принимает этой температуры, а сохраняет температуру, близкую к нормальной. Он борется с нагреванием посредством обильного выделения пота; испарение пота поглощает значительное количество тепла из того слоя воздуха, который непосредственно прилегает к коже, и тем в достаточной мере понижает его температуру. Единственные необходимые условия состоят в том, чтобы тело не соприкасалось непосредственно с источником тепла и чтобы воздух был сух.

Кто бывал в нашей Средней Азии, тот замечал, без сомнения, как сравнительно легко переносится там жара в 37 и более градусов Цельсия. 24-градусная жара в Ленинграде переносится гораздо хуже. Причина, конечно, во влажности воздуха в Ленинграде и сухости его в Средней Азии, где дождь — явление крайне редкое*.

Термометр или барометр?

Известен анекдот о наивном человеке, который не решался принять ванну по следующей необыкновенной причине:

— Я сунул в ванну барометр, а он показал — бурю... Опасно купаться!

Но не думайте, что всегда легко отличить термометр от барометра. Есть такие термометры — вернее, термоскопы, — которые с не меньшим правом могли бы называться барометрами, и наоборот. Примером может служить старинный термоскоп, придуманный Героном Александрийским (рис. 87). Когда солнечные лучи пригревают шар, воздух в верхней части шара, расширяясь, давит на воду и вы-

* В Мирзояне (бывш. Аулие-Ата) мой карманный гигрометр дважды в июне месяце показал нуль влажности (13 и 16 июня 1930 г.).

тесняет ее по изогнутой трубке наружу; вода начинает капать из конца трубки в воронку, откуда стекает в нижний ящик. В холодную же погоду, напротив, упругость воздуха в шаре уменьшается, и вода из нижнего ящика вытесняется давлением наружного воздуха по прямой трубке в шар.

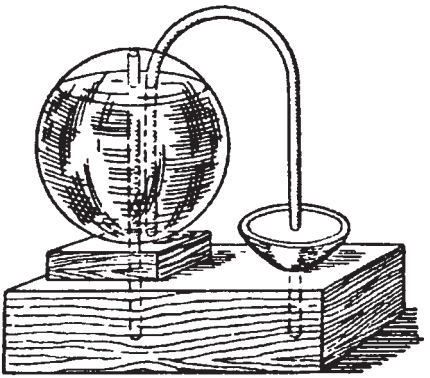


Рис. 87. Термоскоп Герона

Однако прибор этот чувствителен и к изменениям барометрического давления: когда наружное давление ослабевает, воздух внутри шара, сохранивший прежнее более высокое давление, расширяется и вытесняет часть воды по трубке в воронку; при повышении же наружного давления часть воды из ящика вгоняется в шар вследствие разности давления. Каждый градус температурной разницы вызовет такое же изменение в объеме воздуха внутри шара, как $^{760}/_{273}$ = около $2^{1}/_{2}$ мм разницы в высоте барометрического столба (ртутного). В Москве барометрические колебания достигают 20 мм и более; это соответствует 8 °С в термоскопе Герона, — значит, такое падение атмосферного давления легко принять за повышение температуры на 8 градусов!

Вы видите, что старинный термоскоп не в меньшей мере является и бароскопом. Одно время в продаже имелись у нас водяные барометры, которые являлись в такой же степени и термометрами, — о чем, однако, не подозревали не только покупатели, но, кажется, и их изобретатель.

Для чего служит ламповое стекло?

Мало кто знает о том, какой долгий путь прошло ламповое стекло, прежде чем достигло своего современного вида. Длинный ряд тысячелетий люди пользовались для освещения пламенем, не прибегая к услугам стекла. Понадобился гений Леонардо да Винчи (1452–1519), чтобы сделать это важное усовершенствование лампы. Но Леонардо окружил пламя не стеклянной, а металлической трубой; прошло еще три века, прежде чем додумались до замены металлической

трубы прозрачным стеклянным цилиндром. Как видите, ламповое стекло — изобретение, над которым работали десятки поколений.

Каково же его назначение?

Едва ли у всех готов правильный ответ на столь естественный вопрос. Защищать пламя от ветра — лишь второстепенная роль стекла. Главное же действие его в увеличении *яркости* пламени, в ускорении процесса горения. Роль стекла та же, что и печной или заводской трубы: оно усиливает приток воздуха к пламени, усиливает «тягу».

Разберемся в этом. Столб воздуха, находящийся внутри стекла, нагревается пламенем гораздо быстрее, нежели воздух, окружающий лампу. Нагревшись и сделавшись поэтому легче, воздух вытесняется вверх более тяжелым ненагретым воздухом, который поступает снизу, через отверстия в горелке. Таким образом устанавливается постоянное течение воздуха снизу вверх — течение, непрерывно отводящее продукты горения и приносящее свежий воздух. Чем стекло выше, тем больше разница в весе нагретого и ненагретого столба воздуха и тем энергичнее происходит приток свежего воздуха, а следовательно, ускоряется горение.

Интересно, что уже Леонардо отчетливо представлял себе эти явления. В его рукописях находим такую запись: «Где появляется огонь, там вокруг него образуется воздушное течение: оно его поддерживает и усиливает».

Почему пламя не гаснет само собой?

Если вдуматься хорошенько в процесс горения, то невольно возникает вопрос: отчего пламя не гаснет само собой? Ведь продуктами горения являются углекислый газ и водяной пар — вещества *негорючие*, неспособные поддерживать горение. Следовательно, пламя с первого же момента горения должно быть окружено негорючими веществами, которые мешают притоку воздуха; без воздуха горение продолжаться не может, и пламя должно погаснуть.

Почему же этого не происходит? Почему горение длится непрерывно, пока есть запас горючего вещества? Только потому, что газы расширяются от нагревания и, следовательно, *становятся легче*. Лишь благодаря этому нагретые продукты горения не остаются на месте своего образования, в непосредственном соседстве с пламенем, а немедленно же вытесняются вверх чистым воздухом. Если бы закон Архимеда не распространялся на газы (или если бы не было тяжести), всякое пламя, прогоревши немного, гасло бы само собой.

Весьма легко убедиться в том, как губительно действуют на пламя продукты его горения. Вы нередко пользуетесь этим, сами того не подозревая, чтобы загасить огонь в лампе. Как задуваете вы керосиновую лампу? Дуете в нее *сверху*, т. е. гоните вниз, к пламени, негорючие продукты его горения, — и оно гаснет, лишенное свободного доступа воздуха.

Недостающая глава в романе Жюля Верна

Жюль Верн подробно поведал нам, как проводили время трое смельчаков внутри снаряда, мчащегося на Луну. Однако он не рассказал о том, как Мишель Ардан исполнял обязанности повара в этой необычайной обстановке. Вероятно, романист полагал, что стряпня внутри летящего снаряда не представляет ничего такого, что заслуживало бы описания. Если так, то он ошибался. Дело в том, что внутри летящего ядра все предметы *становятся невесомыми**. Жюль Верн упустил из виду это обстоятельство. А согласитесь, что стряпня в невесомой кухне — сюжет, вполне достойный пера романиста, и надо только пожалеть, что талантливый автор «Путешествия на Луну» не уделил внимания этой теме. Попытаюсь, как умею, восполнить недостающую главу в романе, чтобы дать читателю некоторое представление о том, насколько эффектно могла бы вылиться она из-под пера самого Жюля Верна.

При чтении этой статьи читатель должен все время не упускать из виду, что внутри ядра — как уже сказано — *нет тяжести*: все предметы в нем *невесомы*.

Завтрак в невесомой кухне

«— Друзья мои, ведь мы еще не завтракали, — объявил Мишель Ардан своим спутникам по межпланетному путешествию. — Из того, что мы потеряли свой вес в пушечном снаряде, не следует вовсе, что мы потеряли и аппетит. Я берусь устроить вам, друзья мои, невесомый завтрак, который, без сомнения, будет состоять из самых легких блюд, когда-либо изготовлявшихся на свете.

* Подробное разъяснение этого интересного обстоятельства приведено в первой книге «Занимательной физики», а также в моих книгах «Межпланетные путешествия», «К звездам на ракете» и «Ракетой на Луну».

И, не ожидая ответа товарищей, француз принялся за стряпню.

— Наша бутыль с водой притворяется пустой, — ворчал про себя Ардан, возясь с раскупоркой большой бутыли. — Не проведешь меня: я ведь знаю, отчего ты легкая... Так, пробка вынута. Изволь излить в кастрюлю свое невесомое содержимое!

Но сколько ни наклонял он бутыли, вода не выливалась.

— Не трудись, милый Ардан, — явился на выручку Николь. — Пойми, что в нашем снаряде, где нет тяжести, вода не может литься. Ты должен ее вытрясти из бутыли, как если бы это был густой сироп.

Не долго думая, Ардан хлопнул ладонью по дну опрокинутой бутыли. Новая неожиданность: у горлышка тотчас же раздулся водяной шар величиной с кулак.

— Что стало с нашей водой? — изумился Ардан. — Вот, признаюсь, совсем излишний сюрприз! Объясните же, ученые друзья мои, что тут произошло?

— Это капля, милый Ардан, простая водяная капля. В мире без тяжести капли могут быть как угодно велики... Вспомни, что ведь жидкости только под влиянием тяжести принимают форму сосудов, льются в виде струй и т. д. Здесь же нет тяжести, жидкость предоставлена своим внутренним молекулярным силам и должна принять форму шара, как масло в знаменитом опыте Плато.

— Мне никакого дела нет до этого Плато с его опытами! Я должен вскипятить воду для бульона, и, клянусь, никакие молекулярные силы не остановят меня! — запальчиво объявил француз.

Он яростно принялся вытряхивать воду над парящей в воздухе кастрюлей — но, по-видимому, все было в заговоре против него. Большие водяные шары, достигнув кастрюли, быстро расползались по ее поверхности. Этим дело не кончилось: с внутренних стенок вода переходила на наружные, растекалась по ним — и вскоре кастрюля оказалась окутанной толстым водяным слоем. Кипятить воду в таком виде не было никакой возможности.

— Вот любопытный опыт, доказывающий, как велика сила сцепления, — спокойно говорил взбешенному Ардану невозмутимый Николь. — Ты не волнуйся: ведь здесь обыкновенное смачивание жидкостями твердых тел; только в данном случае тяжесть не мешает развиться этому явлению с полной силой.

— И очень жаль, что не мешает! — возразил Ардан. — Смачивание здесь или что-либо другое, но мне необходимо иметь воду внутри кастрюли, а не вокруг нее. Вот еще новости какие! Ни один повар в мире не согласится готовить бульон при подобных условиях!

— Ты легко можешь воспрепятствовать смачиванию, если оно так мешает тебе, — успокоительно вставил м-р Барбикен. — Вспомни, что вода не смачивает тел, покрытых хотя бы тонким слоем жира. Обмажь свою кастрюлю снаружи жиром, и ты удержишь воду внутри ее.

— Браво! Вот это я называю истинной ученостью, — обрадовался Ардан, приводя совет в исполнение. Затем он приступил к нагреванию воды на пламени газовой горелки.

Положительно все складывалось против Ардана. Газовая горелка — и та закапризничала: прогорев полминуты тусклым пламенем, она погасла по необъяснимой причине.

Ардан возился вокруг горелки, терпеливо нянчился с пламенем, но хлопоты не приводили ни к чему: пламя отказывалось гореть.

— Барбикен! Николь! Неужели же нет средства заставить это упрямое пламя гореть так, как полагается ему по законам вашей физики и по уставам газовых компаний? — взывал к друзьям обескураженный француз.

— Но здесь нет ничего необычайного и ничего неожиданного, — объяснил Николь. — Это пламя горит именно так, как полагается согласно физическим законам. А газовые компании... я думаю, они все разорились бы, если бы не было тяжести. При горении, ты знаешь, образуются углекислота, водяной пар — словом, газы негорючие; обыкновенно эти продукты горения не остаются возле самого пламени: как теплые и, следовательно, более легкие, они вытесняются притекающим свежим воздухом. Но тут у нас нет тяжести — поэтому продукты горения остаются на месте возникновения, окружают пламя слоем негорючих газов и преграждают доступ свежему воздуху. Оттого-то пламя так тускло здесь горит и так быстро гаснет. Ведь действие огнетушителей на том и основано, что пламя окружается негорючим газом.

— Значит, по-твоему, — перебил француз, — если бы на Земле не было тяжести, то не надо было бы и пожарных команд: пожар погас бы сам собой, задыхался бы в собственном дыхании?

— Совершенно верно. А пока, чтобы помочь делу, зажги еще раз горелку и давай обдувать пламя. Нам, я надеюсь, удастся создать искусственную тягу и заставить пламя гореть по-земному.

Так и сделали. Ардан снова зажег горелку и принялся за стряпню, не без злорадства следя за тем, как Николь с Барбикеном поочередно обдували и обмахивали пламя, чтобы непрерывно вводить в него свежий воздух. В глубине души француз считал своих друзей и их науку виновниками „всей этой кутерьмы“.

— Вы в некотором роде исполняете обязанности фабричной трубы, поддерживая тягу, — тараторил Ардан. — Мне очень жаль вас, ученые друзья мои, но, если мы хотим иметь горячий завтрак, придется подчиниться велениям вашей физики.

Однако прошло четверть часа, полчаса, час — а вода в кастрюле и не думала закипать.

— Тебе придется вооружиться терпением, милый Ардан. Видишь ли, обыкновенная, весомая вода быстро нагревается — почему? Только потому, что в ней происходит перемешивание слоев: нагретые нижние слои, более легкие, вытесняются холодными сверху, и в результате вся жидкость быстро принимает высокую температуру. Случалось тебе когда-либо нагревать воду не снизу, а сверху? Тогда перемешивания слоев не происходит, потому что верхние нагретые слои остаются на месте. Теплопроводность же воды ничтожна; верхние слои можно даже довести до кипения, в то время как в нижних будут находиться куски нерастаявшего льда. Но в нашем невесомом мире безразлично, откуда ни нагревать воду: круговорота в кастрюле возникать не может, и вода должна нагреваться очень медленно. Если желаешь ускорить нагревание, ты должен все время перемешивать воду.

Николь предупредил Ардана, чтобы он не доводил воду до 100 °С, а ограничился несколько пониженной температурой. При 100 °С образуется много пара, который, обладая здесь удельным весом, одинаковым с удельным весом воды (оба равны нулю), будет смешиваться с ней в однородную смесь — в нечто среднее между водой и паром.

Досадная неожиданность произошла с горохом. Когда Ардан, развязав мешочек, слегка тряхнул его, горошины рассеялись в воздухе и стали безостановочно бродить внутри каюты, ударяясь о стенки и отскакивая от них. Эти витающие горошины чуть не наделали большой беды: Николь нечаянно вдохнул одну из них и так раскашлялся, что едва не задохся. Чтобы избавиться от такой опасности и очистить воздух, друзья наши принялись усердно вылавливать летающие горошины тем сачком, который Ардан предусмотрительно захватил с собою „для сбора коллекции лунных бабочек“.

Нелегко было стряпать при таких условиях. Ардан был прав, когда утверждал, что здесь спасовал бы самый искусный повар. Немало пришлось повозиться и при жарении бифштекса: надо было все время придерживать мясо вилкой, иначе упругие пары масла, образующиеся под бифштексом, выталкивали его из кастрюли и недожаренное мясо летело „вверх“ — если можно употребить это слово там, где не было ни „верха“, ни „низа“.

Странную картину представлял и самый обед в этом мире, лишенном тяжести. Друзья висели в воздухе в весьма разнообразных позах, не лишенных, впрочем, живописности, и поминутно стукались головами друг о друга. Сидеть, конечно, не приходилось. Такие вещи, как стулья, диваны, скамьи, совершенно бесполезны в мире, где нет тяжести. В сущности, и стол был бы здесь вовсе не нужен, если бы не настойчивое желание Ардана завтракать непременно „за столом“.

Трудно было сварить бульон, но еще труднее оказалось съесть его. Начать с того, что разлить невесомый бульон по чашкам никак не удавалось. Ардан чуть не поплатился за такую попытку потерей трудов целого утра; забыв, что бульон невесом, он с досадой ударил по дну перевернутой кастрюли, чтобы изгнать из нее упрямый бульон. В результате из кастрюли вылетела огромная шарообразная капля — бульон в сфероидальной форме. Ардану понадобилось проявить искусство жонглера, чтобы вновь поймать и водворить в кастрюлю с таким трудом сваренный бульон.

Попытка пользоваться ложками осталась безрезультатной: бульон смачивал всю ложку до самых пальцев и висел на ней сплошной пеленой. Обмазали ложки маслом, чтобы предупредить смачивание, но дело от этого не стало лучше: бульон превращался на ложке в шарик, и не было никакой возможности благополучно донести эту невесомую пилюлю до рта.

В конце концов Николь нашел разрешение задачи: сделали трубки из восковой бумаги и с помощью их пили бульон, втягивая его в рот. Таким же способом приходилось нашим друзьям во все время путешествия пить воду, вино и вообще всякие жидкости»*.

---

* Многие читатели предшествовавших изданий этой книги обращались ко мне с письмами, в которых выражали свое недоумение по поводу того, как можно пить в среде без тяжести — даже по сейчас указанному способу: ведь воздух в летящем снаряде невесом, следовательно — не производит давления, а при отсутствии давления нельзя пить, всасывая в себя жидкость. Странным образом, возражение это высказывалось и в печати некоторыми рецензентами. Между тем вполне очевидно, что невесомость воздуха при данных условиях нисколько не связана с отсутствием давления: воздух давит в замкнутом пространстве вовсе не потому, что он весом, а потому, что, как тело газообразное, он стремится безгранично расшириться. В открытом пространстве на земной поверхности роль стенок, препятствующих расширению, играет тяжесть; эта привычная зависимость и ввела в заблуждение моих критиков. Газ в замкнутом пространстве не производит никакого давления только при температуре абсолютного нуля (около –273 °С), — температуре, которой внутри вагона-снаряда, конечно, не было.

Почему вода гасит огонь?

На столь простой вопрос не всегда умеют правильно ответить даже люди, изучавшие физику, — и читатель, надеемся, не посетует на нас, если мы объясним вкратце, в чем, собственно, заключается это действие воды на огонь.

Во-первых, прикасаясь к горящему предмету, вода превращается в пар, отнимая при этом много теплоты у горящего тела; чтобы превратить крутой кипяток в пар, нужно впятеро с лишком больше теплоты, чем для нагревания того же количества холодной воды до 100 градусов.

Во-вторых, пары, образующиеся при этом, занимают объем в сотни раз больший, чем породившая их вода; окружая горящее тело, пары оттесняют воздух, а без воздуха горение невозможно.

Чтобы увеличить огнегасительную силу воды, иногда примешивают к ней... порох! Это может показаться странным, однако это разумно: порох быстро сгорает, выделяя большое количество негорючих газов, которые, окружая собою горящие предметы, затрудняют горение.

Как тушат огонь с помощью огня?

Вы слыхали, вероятно, что лучшее, а иной раз и единственное средство борьбы с лесным или степным пожаром — это поджигание леса или степи с противоположной стороны. Новое пламя идет навстречу бушующему морю огня и, уничтожая горючий материал, лишает огонь пищи; встретившись, обе огненные стены мгновенно гаснут, словно пожрав друг друга.

Описание того, как пользуются этим приемом тушения огня при пожаре американских степей, многие, конечно, читали у Купера в романе «Прерия». Можно ли забыть тот драматический момент, когда старик-траппер спас от огненной смерти путников, застигнутых в степи пожаром? Вот это место из «Прерии»:

> «Старик внезапно принял решительный вид.
>
> — Настало время действовать, — сказал он.
>
> — Вы слишком поздно спохватились, жалкий старик! — крикнул Миддльтон. — Огонь на расстоянии четверти мили от нас и ветер несет его к нам с ужасающей быстротой!
>
> — Вот как! Огонь! Не очень-то я боюсь его. Ну, молодцы, полно! Приложите-ка руки к этой высохшей траве и обнажите землю.

В очень короткое время было очищено место футов в двадцать в диаметре. Траппер вывел женщин на один край этого небольшого пространства, сказав, чтобы они прикрыли одеялами свои платья, легко могущие воспламениться. Приняв эти предосторожности, старик подошел к противоположному краю, где стихия окружала путников высоким, опасным кольцом, и, взяв щепотку самой сухой травы, положил ее на полку ружья и поджег. Легко воспламеняющееся вещество вспыхнуло сразу. Тогда старик бросил пылавшую траву в высокую заросль и, отойдя к центру круга, стал терпеливо ожидать результата своего дела.

Разрушительная стихия с жадностью набросилась на новую пищу, и в одно мгновение пламя стало лизать траву.

— Ну, — сказал старик, — теперь вы увидите, как огонь сразит огонь.

— Но неужели это не опасно? — воскликнул удивленный Миддльтон. — Не приближаете ли вы к нам врага, вместо того чтобы отдалять его?

Огонь, все увеличиваясь, начал распространяться в три стороны, замирая на четвертой вследствие недостатка пищи. По мере того как огонь увеличивался и бушевал все сильнее и сильнее, он очищал перед собой все пространство, оставляя черную дымящуюся почву гораздо более обнаженной, чем если бы трава на этом месте была скошена косой. Положение беглецов стало бы еще рискованнее, если бы очищенное ими место не увеличивалось по мере того, как пламя окружало его с остальных сторон. Через несколько минут пламя стало отступать во всех направлениях, оставляя людей окутанными облаком дыма, но в полной безопасности от потока огня, продолжавшего бешено нестись вперед.

Зрители смотрели на простое средство, употребленное траппером, с тем же изумлением, с каким, как говорят, царедворцы Фердинанда смотрели на способ Колумба поставить яйцо».

Этот прием тушения степных и лесных пожаров не так, однако, прост, как кажется с первого взгляда. Пользоваться встречным огнем для тушения пожара должен лишь человек очень опытный — иначе бедствие может даже усилиться.

Вы поймете, какая для этого нужна сноровка, если зададите себе вопрос: почему огонь, зажженный траппером, побежал навстречу пожарищу, а не в обратном направлении? Ведь ветер дул со стороны пожарища, гоня огонь на путников! Казалось бы, пожар, причиненный траппером, должен был направиться не навстречу огненному морю, а назад по степи. Если бы так случилось, путники оказались бы окруженными огненным кольцом и неминуемо погибли бы.

В чем же заключался секрет траппера?

В знании простого физического закона. Хотя ветер дул по направлению от горящей степи к путникам — но *впереди*, *близ огня*, должно было существовать обратное течение воздуха, *навстречу* пламени.

В самом деле: нагреваясь над морем огня, воздух становится легче и вытесняется вверх притекающим со всех сторон свежим воздухом со степи, не затронутой пламенем. Близ границы огня устанавливается поэтому *тяга воздуха навстречу пламени*. Зажечь встречный огонь необходимо в тот именно момент, когда пожар приблизится достаточно, чтобы ощутилась тяга воздуха. Вот почему траппер не спешил приниматься за дело раньше времени, а спокойно ждал нужного момента. Стоило поджечь траву одной секундой ранее, когда встречная тяга еще не установилась, — и огонь распространился бы в обратном направлении, сделав положение людей безвыходным. Но и промедление могло быть не менее роковым — огонь подошел бы чересчур близко.

Можно ли воду вскипятить кипятком?

Возьмите небольшую бутылку (баночку или пузырек), налейте в нее воды и поместите в стоящую на огне кастрюлю с чистой водой так, чтобы склянка не касалась дна кастрюли; вам придется, конечно, подвесить этот пузырек на проволочной петле. Когда вода в *кастрюле* закипит, то, казалось бы, вслед за тем должна закипеть и вода в пузырьке. Можете, однако, ждать, сколько вам угодно, — вы не дождетесь этого: вода в пузырьке будет горяча, очень горяча, но кипеть не будет. Кипяток оказывается недостаточно горячим, чтобы вскипятить воду.

Результат как будто неожиданный, между тем его надо было предвидеть. Чтобы довести воду до кипения, недостаточно только нагреть ее до 100 °С: надо еще, мы знаем, сообщить ей значительный запас тепла для того, чтобы перевести воду в другое агрегатное состояние — в пар. Чистая вода кипит при 100 °С; выше этой точки ее температура, при обычных условиях, не поднимается, сколько бы мы ни нагревали. Значит, источник теплоты, с помощью которого мы нагреваем воду в пузырьке, имеет температуру 100 °С; он может довести воду в пузырьке также только до 100 °С. Когда наступит это равенство температур, *дальнейшего перехода тепла от воды кастрюли к пузырьку не будет*. Итак, нагревая воду в пузырьке таким способом, мы не можем доставить ей того избытка теплоты, который необходим для перехода воды в пар (каждый грамм воды, нагретый до 100 °С, требует еще свыше 500 калорий, чтобы перейти в пар). Вот почему вода в пузырьке хотя и нагревается, но не кипит.

Может возникнуть вопрос: чем же отличается вода в пузырьке от воды в кастрюле? Ведь в пузырьке та же вода, только отделенная от остальной массы стеклянной перегородкой; почему же не происходит с ней того же, что и с остальной водой?

Потому что перегородка мешает воде пузырька участвовать в тех течениях, которые перемешивают всю воду в кастрюле. Каждая частица воды в кастрюле может непосредственно коснуться накаленного дна, вода же пузырька соприкасается только с кипятком.

Итак, чистым кипятком вскипятить воду нельзя. Но стоит в кастрюлю всыпать горсть соли — и дело меняется. Соленая вода кипит не при 100 °С, а немного выше и, следовательно, может в свою очередь довести до кипения чистую воду в стеклянном пузырьке.

Можно ли вскипятить воду снегом?

«Если уж крутой кипяток для этой цели непригоден, то что говорить о снеге!» — ответит иной читатель. Не торопитесь с ответом, а лучше проделайте опыт хотя бы с тем же стеклянным флаконом, который вы только что употребляли.

Налейте в него воды до половины и погрузите в кипящую *соленую воду*. Когда вода во флаконе закипит, выньте его из кастрюли и быстро закупорьте заранее приготовленной плотной пробкой. Теперь переверните флакон и ждите, пока кипение внутри него прекратится. Выждав этот момент, облейте флакон кипятком — вода не закипит. Но положите на его донышко немного снегу или даже просто облейте его холодной водой, как показано на рис. 88, — и вы увидите, что вода закипит... Снег сделал то, чего не мог сделать кипяток!

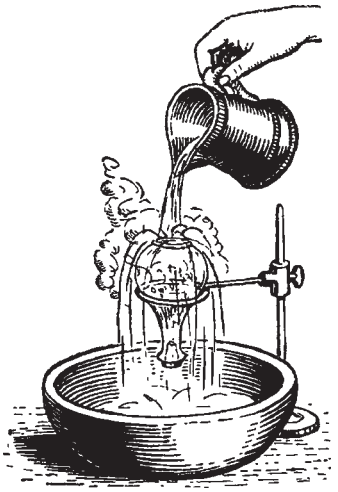


Рис. 88. Закипание воды в колбе, обливаемой холодной водой

Это тем более загадочно, что на ощупь флакон не будет особенно горяч — лишь немного теплый. Между тем вы собственными глазами видите, как вода в нем кипит!

Разгадка в том, что снег охладил стенки флакона; вследствие этого пар



Рис. 89. Неожиданный результат охлаждения жестянки

внутри сгустился в водяные капли. А так как воздух из стеклянного флакона был выгнан еще при кипячении, то теперь вода подвержена в нем гораздо меньшему давлению. Из физики же известно, что при уменьшении давления на жидкость она кипит при температуре более низкой. Мы имеем, следовательно, в нашем флаконе хотя и кипяток, но *кипяток негорячий.*

Если стенки флакона очень тонки, то внезапное сгущение паров внутри его может вызвать нечто вроде взрыва; давление внешнего воздуха, не встречая достаточного противодействия изнутри флакона, способно раздавить его (вы видите, между прочим, что слово «взрыв» здесь неуместно). Лучше брать поэтому склянку круглую (колбу с выпуклым дном), чтобы воздух давил на свод.

Всего безопаснее производить подобный опыт с жестянкой для керосина, масла и т. п. Вскипятив в ней немного воды, завинтите плотно пробку и облейте посуду холодной водой. Тотчас же жестянка с паром сплющится давлением наружного воздуха, так как пар внутри нее превратится при охлаждении в воду. Жестянка будет измята давлением воздуха, словно по ней ударили тяжелым молотом (рис. 89).

«Суп из барометра»

В книге «Странствования за границей» американский юморист Марк Твен так рассказывает об одном случае своего альпийского путешествия — случае, разумеется, вымышленном:

«Неприятности наши кончились; поэтому люди могли отдохнуть, а у меня наконец явилась возможность обратить внимание на научную сторону экспедиции.

Прежде всего я хотел определить посредством барометра высоту места, где мы находились, но, к сожалению, не получил никаких результатов. Из моих научных чтений я знал, что не то термометр, не то барометр следует кипятить для получения показаний. Который именно из двух,

я не знал наверное и потому решил прокипятить оба. И все-таки не получил никаких результатов. Осмотрев оба инструмента, я увидел, что они вконец испорчены: у барометра была только одна медная стрелка, а в шарике термометра болтался комок ртути...

Я отыскал другой барометр; он был совершенно новый и очень хороший. Полчаса кипятил я его в горшке с бобовой похлебкой, которую варил повар. Результат получился неожиданный: инструмент совершенно перестал действовать, но суп приобрел такой сильный привкус барометра, что главный повар — человек очень умный — изменил его название в списке кушаний. Новое блюдо заслужило всеобщее одобрение, так что я приказал готовить каждый день суп из барометра. Конечно, барометр был совершенно испорчен, но я не особенно жалел о нем. Раз он не помог мне определить высоту местности, значит он больше мне не нужен».



Рис. 90. «Ученые изыскания» Марка Твена

Отбросив шутки, постараемся ответить на вопрос: что же в самом деле следовало «кипятить» — термометр или барометр?

Термометр, и вот почему. Из предыдущего опыта мы видели, что чем меньше давление на воду, тем ниже температура ее кипения. Так как с поднятием в горы атмосферное давление уменьшается, то должна вместе с тем понижаться и температура кипения воды. И действительно, наблюдаются следующие температуры кипения чистой воды при различных давлениях атмосферы:

Температура кипения, °С	*Барометрическое давление, мм*
101	787,7
100	760
98	707
96	657,5
94	611
92	567
90	525,5
88	487
86	450

В Берне (Швейцария), где среднее давление атмосферы 713 мм, вода в открытых сосудах кипит уже при $97^1/_2$ °С, а на вершине Монблана, где барометр показывает 424 мм, кипяток имеет температуру всего $84^1/_2$ °С. В общем, с поднятием на каждый километр температура кипения воды падает на 3 °С. Значит, если мы измерим температуру, при которой кипит вода (по выражению Твена, если «будем кипятить термометр»), то, *справившись в соответствующей таблице*, сможем узнать высоту места. Для этого необходимо, конечно, иметь в распоряжении заранее составленные таблицы, о чем Марк Твен будто бы забыл.

Употребляемые для этой цели приборы — так называемые гипсотермометры — не менее удобны для переноски, чем металлические барометры, и дают гораздо более точные показания. Появившийся недавно в Германии прибор такого рода, предназначенный для измерения атмосферного давления в шахтах, дает показания раз в двадцать более точные, чем металлический барометр.

Разумеется, и барометр может служить для определения высоты места, так как он прямо, без всякого «кипячения», показывает давление атмосферы: чем выше мы поднимаемся, тем давление меньше. Но и тут необходимы либо таблицы, показывающие, как уменьшается давление воздуха по мере поднятия над уровнем моря, либо знание соответствующей формулы. Все это будто бы смешалось в голове юмориста и побудило его «варить суп из барометра».

Всегда ли кипяток горяч?

Бравый ординарец Бен-Зуф — с которым читатель, без сомнения, давно познакомился по роману Жюля Верна «Гектор Сервадак» — был твердо убежден, что кипяток всегда и всюду одинаково горяч. Вероятно, он думал бы так всю жизнь, если бы случаю не угодно было забросить его вместе с командиром Сервадаком на... комету. Это капризное светило, столкнувшись с Землей, отрезало от нашей планеты как раз тот участок, где находились оба героя, и унесло их далее по своему эллиптическому пути. И вот тогда-то денщик впервые убедился на собственном опыте, что кипяток вовсе не всюду одинаково горяч. Сделал он это открытие неожиданно, готовя завтрак:

> «Бен-Зуф налил воды в кастрюлю, поставил ее на плиту и ждал, когда закипит вода, чтобы опустить в нее яйца, которые казались ему пустыми, так они мало весили. Менее чем через две минуты вода уже закипела.
>
> — Черт побери! Как огонь греет теперь! — воскликнул Бен-Зуф.

— Не огонь греет сильнее, — ответил, подумав, Сервадак, — а вода закипает скорее.

И, сняв со стены термометр Цельсия, он опустил его в кипящую воду.

Градусник показал только шестьдесят шесть градусов.

— Ого! — воскликнул офицер. — Вода кипит при шестидесяти шести градусах вместо ста!

— Итак, капитан?..

— Итак, Бен-Зуф, советую тебе продержать яйца в кипятке четверть часа.

— Но они будут крутые!

— Нет, дружище, они будут едва сварены.

Причиной этого явления было, очевидно, уменьшение высоты атмосферной оболочки. Воздушный столб над поверхностью почвы уменьшился приблизительно на одну треть, и вот почему вода, подверженная меньшему давлению, кипела при шестидесяти шести градусах вместо ста. Подобное же явление имело бы место на горе, высота которой достигает 11 000 м. И если бы у капитана был барометр, он указал бы ему это уменьшение воздушного давления».

Наблюдения наших героев мы не станем подвергать сомнению: они утверждают, что вода кипела при 66 °С, и мы примем это как факт. Но весьма сомнительно, чтобы они могли чувствовать себя хорошо в той разреженной атмосфере, в которой они находились.

Автор «Сервадака» совершенно правильно замечает, что подобное явление наблюдалось бы на высоте 11 000 м: там вода, как видно из расчета*, действительно должна кипеть при 66 °С. Но давление атмосферы при этом должно быть равно 190 мм ртутного столба — ровно вчетверо меньше нормального. В воздухе, разреженном до такой степени, почти невозможно дышать! Ведь речь идет о высотах, находящихся уже в стратосфере! Мы знаем, что летчики, достигавшие такой высоты без масок, лишались сознания от недостатка воздуха, а между тем Сервадак и его ординарец чувствовали себя сносно. Хорошо, что у Сервадака под рукой не оказалось барометра: иначе романисту пришлось бы заставить этот инструмент показывать не ту цифру, которую он должен был бы показать согласно законам физики.

Если бы наши герои попали не на воображаемую комету, а, например, на Марс, где атмосферное давление не превышает 60–70 мм рт. ст., им пришлось бы пить еще менее горячий кипяток — всего в 45 градусов!

---

* В самом деле, если — как мы сказали раньше (с. 370) — точка кипения воды падает на 3 °С с поднятием на каждый километр, то для понижения температуры кипения до 66 °С нужно подняться на 34 : 3 км — около 11 км.

Наоборот, очень горячий кипяток можно получить на дне глубоких шахт, где давление воздуха значительно больше, чем на поверхности Земли. В шахте глубиною 300 м вода кипит при 101 °С, на глубине 600 м — при 102 °С и т. д.

При значительно повышенном давлении закипает вода и в котле паровой машины. Например, при 14 атмосферах вода закипает при 200 градусах! Напротив, под колоколом воздушного насоса можно заставить бурно кипеть воду при обыкновенной комнатной температуре, получая «кипяток» всего градусов в 20.

Горячий лед

Сейчас шла речь о прохладном кипятке. Есть и еще более удивительная вещь: *горячий лед*. Мы привыкли думать, что вода в твердом состоянии не может существовать при температуре выше 0°. Исследования английского физика Бриджмена показали, что это не так: под весьма значительным давлением вода переходит в твердое состояние и остается такой при температуре значительно выше 0°. Вообще, Бриджмен показал, что может существовать не один сорт льда, а несколько. Тот лед, который он называет льдом № 5, получается под чудовищным давлением в 20 600 атмосфер и остается твердым при температуре 76 °С. Он обжег бы нам пальцы, если бы мы могли до него дотронуться. Но прикосновение к нему невозможно: лед № 5 образуется под давлением мощного пресса в толстостенном сосуде из лучшей стали. Увидеть его или взять в руки нельзя, и о свойствах «горячего льда» физики узнают лишь косвенным образом.

Любопытно, что «горячий лед» плотнее обыкновенного, плотнее даже воды: его удельный вес 1,05. Он тонет в воде, между тем как обыкновенный, «холодный» лед на ней плавает.

Холод из угля

Получение из угля не жара, а, напротив, холода не является чем-то несбыточным: оно каждодневно осуществляется на заводах так называемого сухого льда. Имеется такой завод и в СССР — недалеко от Москвы (в Филях). Донецкий уголь сжигается здесь в котлах, а образующийся дым очищается, причем содержащийся в нем углекислый газ улавливается щелочным раствором. Выделяемый затем

в чистом виде путем нагревания углекислый газ при последующем охлаждении и сжатии переводится в жидкое состояние под давлением 70 атмосфер. Это та жидкая углекислота, которая в толстостенных баллонах доставляется на заводы шипучих напитков и употребляется для ряда промышленных надобностей. Она достаточно холодна, чтобы заморозить грунт, как делалось при сооружении московского метро; но для многих целей требуется располагать углекислотой в твердом виде, тем, что называется *сухим льдом*.

Сухой лед, т. е. твердая углекислота, получается из жидкой при быстром ее испарении под уменьшенным давлением. Куски сухого льда по внешности напоминают скорее прессованный снег, нежели лед, и вообще во многом отличаются от твердой воды. Углекислый лед тяжелее обыкновенного льда и тонет в воде. Несмотря на чрезвычайно низкую температуру (−78 °С), холод его не ощущается пальцами, если бережно взять кусок в руки: образующийся при соприкосновении с нашим телом углекислый газ защищает кожу от действия холода. И только сильно сжав брусок сухого льда, мы рискуем отморозить пальцы.

Название «сухой лед» чрезвычайно удачно подчеркивает главную физическую особенность этого льда. Он действительно никогда мокрым не бывает и ничего не увлажняет кругом себя. Под влиянием теплоты он переходит сразу в газ, минуя жидкое состояние: существовать в жидком виде углекислота под давлением в одну атмосферу не может.

Эта особенность сухого льда вместе с его низкой температурой делает его незаменимым охладительным веществом для практических надобностей. Продукты, сохраняемые при помощи углекислого льда, не только не увлажняются, но защищаются от порчи еще и тем, что образующийся углекислый газ является средой, препятствующей развитию микроорганизмов; поэтому на продуктах, так сохраняемых, не появляется плесени и многих видов бактерий. Насекомые и грызуны также не могут жить в такой атмосфере. Наконец, углекислота является надежным противопожарным средством: несколько кусков сухого льда, брошенных в горящий бензин, гасят огонь. Все это обещает сухому льду в будущем самое широкое применение в промышленности и в домашнем обиходе. В Москве летом 1936 г. уже продавалось мороженое в виде пакетиков с кусочком сухого льда при них.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

МАГНЕТИЗМ — ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

«Любящий камень»

Такое поэтическое название дали китайцы естественному магниту. Любящий камень (тшу-ши), говорят китайцы, притягивает железо, как нежная мать привлекает своих детей. Замечательно, что у французов — народа, живущего на противоположном конце Старого Света, — мы встречаем сходное название для магнита: французское слово «aimant» означает и «магнит», и «любящий».

Сила этой «любви» у естественных магнитов незначительна, и потому очень наивно звучит греческое название магнита — «геркулесов камень». Если обитатели древней Эллады так поражались умеренной силой притяжения естественного магнита, то что сказали бы они, увидев на современном металлургическом заводе магниты, поднимающие глыбы в целые тонны весом! Правда, это не естественные магниты, а «электромагниты», т. е. железные массы, намагниченные электрическим током, проходящим по окружающей их обмотке. Но в обоих случаях действует одна и та же сила природы — магнетизм.

Не следует думать, что магнит действует только на железо. Есть ряд других тел, которые тоже испытывают на себе действие сильного магнита, хотя и не в такой степени, как железо. Металлы — никель, кобальт, марганец, платина, золото, серебро, алюминий — в слабой степени притягиваются магнитом. Еще замечательнее свойства так называемых диамагнитных тел, например цинка, свинца, серы, висмута: эти тела отталкиваются от сильного магнита!

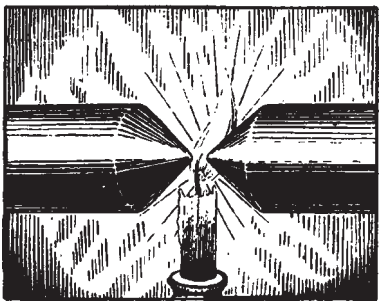


Рис. 91. Пламя свечи между полюсами электромагнита

Жидкости и газы также испытывают на себе притяжение или

отталкивание магнита — правда, в весьма слабой степени; магнит должен быть очень силен, чтобы проявить свое влияние на эти вещества. Чистый кислород, например, парамагнитен, т. е. притягивается магнитом; если наполнить кислородом мыльный пузырь и поместить его между полюсами сильного электромагнита, пузырь заметно вытянется от одного полюса к другому, растягиваемый невидимыми магнитными силами. Пламя свечи между концами сильного магнита изменяет свою обычную форму, явно обнаруживая чувствительность к магнитным силам (рис. 91). Свойством сильного магнита отклонять пламя пользуются при электродуговой сварке: дугу отклоняют к свариваемому шву электромагнитом.

Задача о компасе

Мы привыкли думать, что стрелка компаса всегда обращена одним концом на север, другим — на юг. Нам покажется поэтому совершенно несуразным следующий вопрос:

Где на земном шаре магнитная стрелка показывает на север *обоими* концами?

И еще нелепее прозвучит вопрос:

Где на земном шаре магнитная стрелка обоими концами показывает на юг?

Вы готовы утверждать, что подобных мест на нашей планете нет и быть не может. Однако же они существуют.

Вспомните, что магнитные полюсы Земли не совпадают с ее географическими полюсами, — и вы, вероятно, сами догадаетесь, о каких местах нашей планеты идет в задаче речь. Куда будет показывать стрелка компаса, помещенная на Южном географическом полюсе? Один ее конец будет направлен в сторону ближайшего магнитного полюса, другой — в противоположную. Но в какую бы сторону ни идти от Южного географического полюса, мы всегда будем направляться на *север*; другого направления от Южного географического полюса нет — кругом него всюду север. Значит, помещенная там магнитная стрелка будет показывать север обоими концами.

Точно так же — читатель сам поймет почему — стрелка компаса, перенесенного на Северный географический полюс, обоими концами должна показывать на юг.

Линии магнитных сил

Любопытную картину изображает рис. 92, воспроизведенный с фотографического снимка: от руки, положенной на полюсы электромагнита, торчат вверх пучки крупных гвоздей, словно жесткие волосы. Сама по себе рука совершенно не ощущает магнитной силы: невидимые нити проходят сквозь нее, ничем не выдавая своего присутствия. А железные гвозди послушно подчиняются ее воздействию и располагаются в определенном порядке, обнаруживая перед нами направление магнитных сил, идущих кривыми линиями от одного полюса к другому.

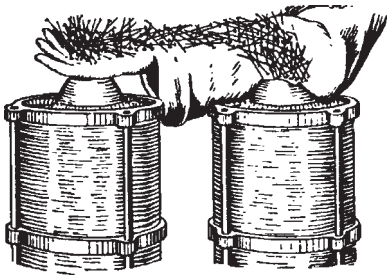


Рис. 92. Магнитные силы проходят через руку

У человека нет магнитного органа чувств; поэтому о существовании тех магнитных сил, которые окружают каждый магнит, мы можем лишь догадываться*. Однако нетрудно косвенным образом обнаружить картину распределения этих сил. Лучше всего сделать это с помощью мелких железных опилок. Насыпьте опилки тонким ровным слоем на кусок гладкого картона или на стеклянную пластинку; подведите под картон или пластинку обыкновенный магнит и встряхивайте опилки легкими ударами. Магнитные силы свободно проходят сквозь картон и стекло; следовательно, железные опилки под действием магнита намагнитятся; когда мы встряхиваем их, они на мгновение отделяются от пластинки и могут под действием магнитных сил легко повернуться,

* Небезынтересно представить себе, что переживали бы мы, если бы обладали непосредственным магнитным чувством. Крейдлю удалось, так сказать, привить ракам род магнитного чувства. Он заметил, что молодые раки засовывают себе в ухо маленькие камешки; эти камешки своим весом действуют на чувствительный волосок, являющийся составной частью органа равновесия рака. Подобные же камешки, называемые отолитами, имеются и в ухе человека, поблизости от основного органа слуха. Действуя в направлении вертикали, эти камешки указывают направление силы тяжести. Вместо камешков Крейдль подложил ракам железные опилки, чего они не заметили. При поднесении магнита к раку последний располагался в плоскости, перпендикулярной к слагающей из магнитной силы и силы тяжести.

«В последнее время соответствующие опыты в измененной форме удалось произвести и над человеком. Келер приклеивал небольшие железные частицы к ушной барабанной перепонке; благодаря этому ухо воспринимало колебания магнитной силы как звук» (проф. О. Винер).

заняв то положение, которое приняла бы в данной точке магнитная стрелка, т. е. вдоль магнитной «силовой линии». В результате опилки располагаются кривыми рядами, наглядно обнаруживая распределение невидимых магнитных линий (так называемый магнитный спектр).

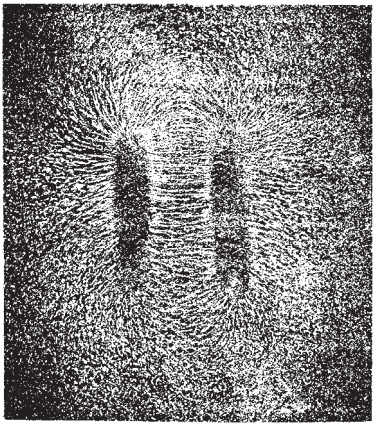


Рис. 93. Расположение железных опилок на картоне, покрывающем полюсы магнита. (С фотографии.)

Поместим над магнитом нашу пластинку с опилками и встряхнем ее. Мы получим фигуру, изображенную на рис. 93. Магнитные силы создают сложную систему изогнутых линий. Вы видите, как они лучисто расходятся от каждого полюса магнита, как соединяются между собой, образуя то короткие, то длинные дуги между обоими полюсами. Железные опилки воочию показывают здесь то, что мысленно рисует перед собою физик и что невидимым образом присутствует вокруг каждого магнита. Чем ближе к полюсу, тем линии опилок гуще и четче; напротив, с удалением от полюса они разрежаются и утрачивают свою отчетливость — наглядное доказательство ослабления магнитных сил с расстоянием.

Как намагничивается сталь?

Чтобы ответить на этот вопрос, который часто задают читатели, надо разъяснить прежде всего, чем отличается магнит от немагнитного бруска стали. Каждый атом железа, входящего в состав стали — намагниченной или ненамагниченной, — мы должны представлять себе как маленький магнитик. В стали ненамагниченной эти атомные магнитики расположены беспорядочно, так что действие каждого уничтожается противоположным действием обратно расположенного магнитика (рис. 94, *А*). Напротив, в магните все элементарные магнитики расположены упорядоченно, одноименными полюсами в одном и том же направлении, как показано на рис. 94, *В*.

Что же происходит в куске стали, когда его натирают магнитом? Силою своего притяжения магнит поворачивает все элементарные

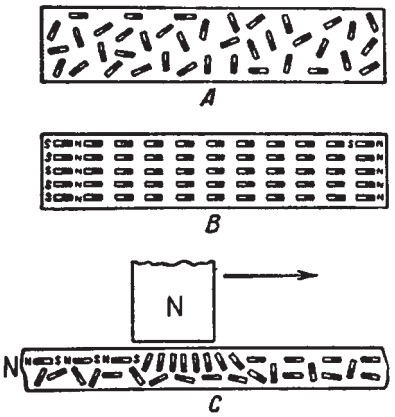


Рис. 94. *A* — расположение атомных магнитиков в ненамагниченной полоске стали. *B* — то же в намагниченной стали. *C* — действие полюса на атомные магнитики намагничиваемой стали

магнитики стального бруска одноименными полюсами в одну и ту же сторону. Рис. 94, *C* наглядно показывает, как это происходит: элементарные магнитики поворачиваются сначала южными полюсами к северному полюсу магнита, а затем, когда магнит отводится далее, располагаются вдоль по направлению его движения, южными полюсами к середине бруска.

Отсюда легко вывести, как надо действовать магнитом при намагничивании бруска стали: надо приставить к концу бруска один полюс магнита и, плотно прижимая, вести магнит вдоль бруска. Дойдя до середины — до безразличной линии будущего магнита, — поворачивают постоянный магнит другим полюсом к бруску и ведут дальше до противоположного конца. Это один из простейших и древнейших приемов намагничивания, годный, однако, для получения лишь слабых магнитов небольшого размера. Сильные магниты изготавливаются с помощью электрического тока.

Интересующиеся подробностями изготовления магнитов могут найти полезные указания в книге Б. А. Введенского «Постоянные магниты и их изготовление» (ГИЗ, 1922).

Исполинские электромагниты

На железоделательных заводах можно видеть электромагнитные подъемные краны, переносящие огромные грузы. Такие краны оказывают при подъеме и перемещении железных масс неоценимые услуги на сталелитейных и тому подобных заводах. Массивные железные глыбы или части машин в десятки тонн весом с удобством переносятся этими магнитными подъемными кранами без прикрепления. Точно так же переносят они без ящиков и упаковки листовое железо, проволоку, гвозди, железный лом и другие материалы, переноска которых иным способом потребовала бы немало хлопот.

На рис. 95 и 96 вы видите перед собою эту полезную службу магнита. Как хлопотливо было бы собирать и переносить кучу железных плиток, которую разом собрал и перенес могучий магнитный подъемный кран, изображенный на рис. 95; здесь выгода не только в экономии сил, но и в упрощении самой работы. На рис. 96 вы видите, как магнитный кран переносит даже упакованные в бочках гвозди, сразу поднимая по шесть бочек! На металлургическом заводе им. Рыкова недавно введены в работу четыре магнитных крана, каждый из которых может переносить сразу десять рельсов; краны заменяют ручной труд двухсот рабочих. Не надо заботиться о прикреплении этих тяжестей к подъемному крану, нечего опасаться, что груз обрушится и задавит кого-либо: пока идет ток в обмотке электромагнита, до тех пор ни один осколок не упадет с него. Невидимые нити магнитных сил надежнее, чем крепкие болты и цепи.

Но если ток в обмотке почему-либо прервется, авария неизбежна. Такие случаи вначале бывали.

«На одном американском заводе, — читаем мы в техническом журнале, — электромагнит поднимал железные болванки, подвозимые в вагонах, и бросал их в печь. Внезапно на электростанции Ниагарского водопада, подающей ток, что-то случилось, ток был прерван; масса металла

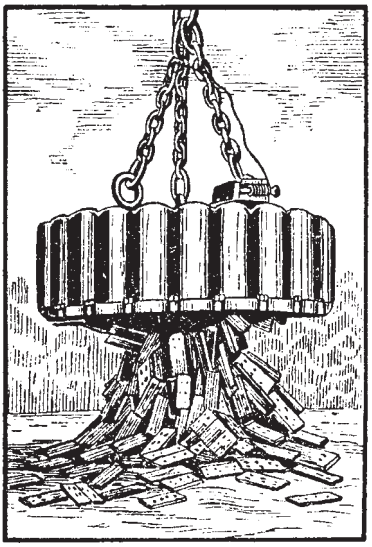


Рис. 95. Электромагнитный подъемный кран, переносящий железные плитки

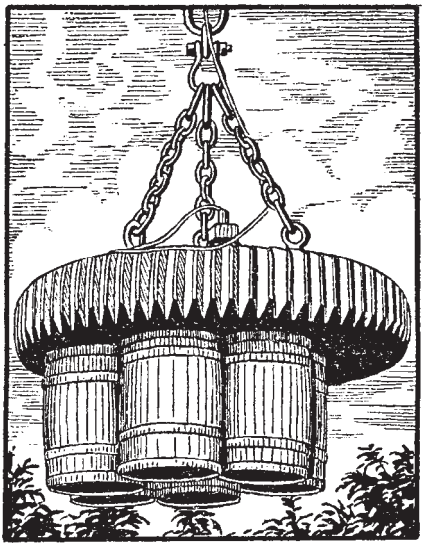


Рис. 96. Электромагнитный подъемный кран, переносящий бочки с гвоздями

сорвалась с электромагнита и всей своей тяжестью обрушилась на голову рабочего. Чтобы избежать повторения подобных несчастных случаев, а также с целью сэкономить потребление электрической энергии, при электромагнитах устраиваются особые приспособления. После того как переносимые предметы подняты магнитом, сбоку опускаются и плотно закрываются прочные стальные подхватки, которые затем сами поддерживают груз, ток же во время транспортировки прерывается».

Поперечник тех электромагнитов, которые изображены на рис. 95 и 96, достигает $1^1/_2$ м; каждый магнит способен поднять до 16 т (товарный вагон). Один такой магнит переносит за сутки более 600 т груза. Есть электромагниты, способные поднять сразу до 75 т, т. е. целый паровоз!

При взгляде на такую работу электромагнитов у иного читателя, быть может, мелькнула мысль: как удобно было бы переносить при помощи магнитов *раскаленные* железные болванки! К сожалению, это возможно только до известной температуры — не более 350 °С, — так как *раскаленное железо не намагничивается*. Нагретый до 800 °С магнит утрачивает магнитные свойства.

Современная техника металлообработки широко пользуется электромагнитами для удержания и продвижения стальных, железных и чугунных изделий. Сконструированы сотни различных патронов, столов и других приспособлений, значительно упрощающих и ускоряющих обработку. Следует также упомянуть об исполинском электромагните, изготовленном заводом «Электросила» и предназначенном для установки по расщеплению ядра атома.

Магнитные фокусы

Силой электромагнитов пользуются иногда и фокусники; легко представить, какие эффектные трюки проделывают они с помощью этой невидимой силы. Дари, автор известной книги «Электричество в его применениях», приводит следующий рассказ одного французского фокусника о представлении, данном им в Алжире. На невежественных зрителей фокус произвел впечатление настоящего чародейства.

«На сцене, — рассказывает фокусник, — находится небольшой окованный ящик с ручкой на крышке. Я вызываю из зрителей человека посильнее. В ответ на мой вызов выступил араб среднего роста, но крепко-

го сложения, представляющий собой аравийского геркулеса. Выходит он с бодрым и самонадеянным видом и, немного насмешливо улыбаясь, останавливается около меня.

— Очень вы сильны? — спросил я его, оглядев с ног до головы.

— Да, — отвечал он небрежно.

— Уверены ли вы, что всегда останетесь сильным?

— Совершенно уверен.

— Вы ошибаетесь: в одно мгновение ока я могу отнять у вас силу, и вы сделаетесь слабым, подобно малому ребенку.

Араб презрительно улыбнулся в знак недоверия к моим словам.

— Подойдите сюда, — сказал я, — и поднимите ящик.

Араб нагнулся, поднял ящик и высокомерно спросил:

— Больше ничего?

— Подождите немножко, — отвечал я.

Затем, приняв серьезный вид, я сделал повелительный жест и произнес торжественным тоном:

— Вы теперь слабее женщины. Попробуйте снова поднять ящик.

Силач, нисколько не устрашась моих чар, опять взялся за ящик, но на этот раз ящик оказывает сопротивление и, несмотря на отчаянные усилия араба, остается неподвижным, словно прикованный к месту. Араб силится поднять ящик с такой силой, которой хватило бы для поднятия огромной тяжести, но все напрасно. Утомленный, запыхавшись и сгорая от стыда, он наконец останавливается. Теперь он начинает верить в силу чародейства и раздумывает, не бросить ли старания. Но это значило бы признать себя побежденным, сознаться в собственной слабости, а он всегда славился своей силой. Отныне все будут его считать слабым, как ребенок, — эта мысль приводит его в ярость; он собирает все силы и, поощряемый взглядами и словами друзей, решается доказать, что сына пустыни не так легко победить. Он снова нагибается, чтобы поднять ящик. Крепкие руки схватились за ручки ящика, а ноги, подобно бронзовым колоннам, служат опорой для отчаянной попытки. Казалось, ящик не выдержит такого напора и разлетится вдребезги. Но происходит странное явление: самоуверенный силач вдруг поник головой, его руки остаются прикованными к ящику и не могут оторваться из-за сильных судорог мускулов; ноги его дрожат, и наконец он с болезненным криком падает на колени.

Дело в том, что по моему знаку помощник мой в этот момент пропустил сильный ток в ручку ящика; сильный электрический разряд и был причиной корчи бедного араба. Продолжать его страдания было жестоко; я подал вторичный знак, и ток был прекращен. Несчастный силач, освободившись от страшного положения, в котором находился, поднял руки к небу. „Аллах! Аллах!“ — произнес он, дрожа от страха, затем поспешно завернулся в бурнус, как бы желая скрыть свое смущение, и порывисто бросился, расталкивая зрителей, к дверям зала».

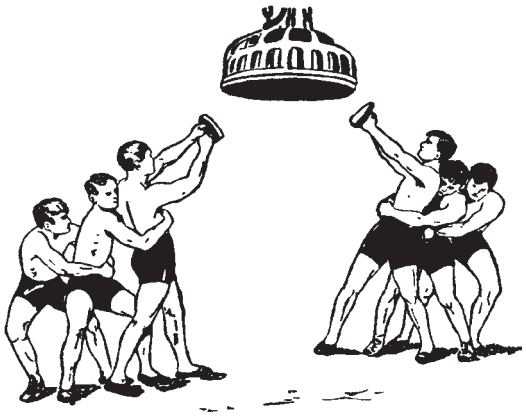


Рис. 97. Применение сильного магнита в физкультуре

Секрет чародейства представителя «цивилизаторов» был прост. Железное дно ящика помещено на подставке, представляющей полюс сильного электромагнита. Пока тока нет, ящик поднять нетрудно; но стоит пустить ток в обмотку электромагнита, и ящик нельзя оторвать и усилиями 2–3 человек.

Магнит в физкультуре

Неожиданное применение нашел себе сильный магнит в физкультуре: тяжелоатлеты в Америке тренируются на электромагнитном аппарате, изображенном на рис. 97. Электромагнит, употребляемый для подъемных кранов, подвешивается на некоторой высоте над полом, немного выше человеческого роста, а атлет, держа в руках железный утюг, стремится побороть магнитное притяжение. В зависимости от тока, который регулируется тренером, притяжение бывает различно и может достигать такой силы, что атлет, не желающий выпустить утюга из рук, рискует повиснуть на магните, если товарищи соединенными усилиями не помогут ему удержаться на месте.

Магнит в земледелии

Еще любопытнее та полезная служба, которую несет магнит в сельском хозяйстве, помогая земледельцу очищать семена культурных растений от семян сорняков. Сорняки обладают ворсистыми

семенами, цепляющимися за шерсть проходящих мимо животных и благодаря этому распространяющимися далеко от материнского растения. Этой особенностью сорняков, выработавшейся у них в течение миллионов лет борьбы за существование, воспользовалась сельскохозяйственная техника для того, чтобы отделить с помощью магнита шероховатые семена сорняков от гладких семян таких полезных растений, как лен, клевер, люцерна. Если засоренные семена культурных растений обсыпать железным порошком, то крупинки железа плотно облепят семена сорняков, но не пристанут к гладким семенам полезных растений. Попадая затем в поле действия достаточно сильного электромагнита, смесь семян автоматически разделяется на чистые семена и на сорную примесь: магнит вылавливает из смеси все те семена, которые облеплены железными опилками.

Такой «магнитный сепаратор» для очистки семян льна, клевера, люцерны сооружен недавно в СССР Институтом механизации и электрификации сельского хозяйства; машина пропускает около полутонны семян в час.

Магнитная летательная машина

В начале этой книги я ссылался на занимательное сочинение старинного французского писателя Сирано де Бержерака «История государств на Луне и Солнце». В ней, между прочим, описана любопытная летательная машина, действие которой основано на магнитном притяжении и с помощью которой один из героев повести прилетел на Луну. Привожу это место сочинения дословно:

> «Я приказал изготовить легкую железную повозку; войдя в нее и устроившись удобно на сиденье, я стал подбрасывать высоко над собой магнитный шар. Железная повозка тотчас же поднималась вверх. Каждый раз, как я приближался к тому месту, куда меня притягивал шар, я снова подбрасывал его вверх. Даже когда я просто приподнимал шар в руках, повозка поднималась, стремясь приблизиться к шару. После многократного бросания шара вверх и поднятия повозки я приблизился к месту, откуда началось мое падение на Луну. И так как в этот момент я крепко держал в руках магнитный шар, повозка прижималась ко мне и не покидала меня. Чтобы не разбиться при падении, я подбрасывал свой шар таким образом, чтобы падение повозки замедлялось его притяжением. Когда я был уже всего в двух-трех сотнях саженей от лунной почвы, я стал бросать шар под прямым углом к направлению падения, пока повозка не оказалась совсем близко к почве. Тогда я выпрыгнул из повозки и мягко опустился на песок».

Никто, конечно, — ни автор романа, ни читатели его книги — не сомневается в полной непригодности описанной летательной машины. Но не думаю, чтобы многие умели правильно сказать, в чем, собственно, кроется причина неосуществимости этого проекта: в том ли, что нельзя подкинуть магнит, находясь в железной повозке, в том ли, что повозка не притянется к магниту, или в чем-либо ином?

Нет, подбросить магнит можно, и он подтянул бы повозку, если достаточно силен, — а все-таки летательная машина нисколько не подвигалась бы вверх.

Случалось ли вам бросать тяжелую вещь с лодки на берег? Вы, без сомнения, замечали при этом, что сама лодка отодвигается назад от берега. Ваши мускулы, сообщая бросаемой вещи толчок в одном направлении, отталкивают одновременно ваше тело (а с ним и лодку) в обратном направлении. Здесь проявляется тот закон равенства действующей и противодействующей сил, о котором нам не раз уже приходилось говорить. При бросании магнита происходит то же самое: седок, подкидывая магнитный шар вверх (с большим усилием, потому что шар притягивается к железной повозке), неизбежно отталкивает всю повозку вниз. Когда же затем шар и повозка снова сближаются взаимным притяжением, они только возвращаются на первоначальные места. Ясно, следовательно, что если бы даже повозка ничего не весила, то бросанием магнитного шара можно было бы сообщить ей только колебания вокруг некоторого среднего положения; заставить же ее таким способом двигаться поступательно невозможно.

Во времена Сирано (в середине XVII века) закон действия и противодействия еще не был провозглашен; сомнительно поэтому, чтобы французский сатирик мог отчетливо объяснить несостоятельность своего шутливого проекта.

Наподобие «Магометова гроба»

Любопытный случай наблюдался однажды при работе с электромагнитным подъемным *краном*. Один из рабочих заметил, что электромагнитом был притянут тяжелый железный шар с короткой цепью, которая не дала шару вплотную приблизиться к магниту: между шаром и магнитом оставался промежуток в ладонь шириною. Получилась необычайная картина: цепь, торчащая отвесно вверх! Сила магнита оказалась так велика, что цепь сохранила свое вертикальное

положение, даже когда на ней повис рабочий*. Оказавшийся поблизости фотограф поспешил запечатлеть на пластинке столь интересный момент, и мы приводим здесь этот рисунок человека, висящего в воздухе наподобие легендарного Магометова гроба (рис. 98).



Рис. 98. Железная цепь с грузом, торчащая вверх

Кстати, о Магометовом гробе. Правоверные мусульмане убеждены, что гроб с останками пророка покоится в воздухе, вися в усыпальнице без всякой опоры между полом и потолком.

Возможно ли это?

> «Повествуют, — писал Эйлер в своих „Письмах о разных физических материях“, — будто гробницу Магомета держит сила некоторого магнита; это не кажется невозможным, потому что есть магниты, искусством сделанные, которые поднимают до 100 фунтов»**.

Такое объяснение несостоятельно; если бы указанным способом (т. е. пользуясь *притяжением* магнита) подобное равновесие было достигнуто на один момент, то малейшего толчка, малейшего дуновения воздуха было бы достаточно, чтобы его нарушить, — и гроб либо упал бы на пол, либо подтянулся бы к потолку. Удержать его неподвижно так же невозможно практически, как поставить конус на его вершине, хотя теоретически последнее и допустимо.

Впрочем, явление «Магометова гроба» вполне можно воспроизвести и с помощью магнитов — но только пользуясь не взаимным их *притяжением*, а, напротив, взаимным *отталкиванием*. (О том, что магниты могут не только притягиваться, но и отталкиваться, часто забывают даже люди, еще недавно изучавшие физику. Когда в ленин-

* Это указывает на огромную силу электромагнита, потому что притягательное действие магнитов значительно ослабевает с увеличением расстояния между полюсом и притягиваемым телом. Подковообразный магнит, удерживающий при непосредственном соприкосновении груз в сотню граммов, уменьшает свою подъемную силу вдвое, когда между ним и грузом вводится листок бумаги. Вот почему концы магнита обычно не покрывают краской, хотя она и предохранила бы их от ржавчины.

** Писано в 1774 г., когда электромагниты еще не были известны.

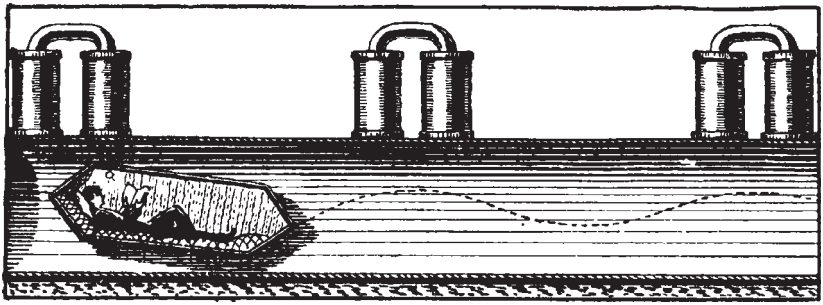


Рис. 99. Вагон, мчащийся без трения.
Дорога, проектированная проф. Б. П. Вейнбергом

градском Павильоне занимательной науки мне случалось показывать публике явление отталкивания магнитов, это обычно вызывало возгласы крайнего изумления.) Как известно, одноименные полюсы магнитов взаимно отталкиваются. Два намагниченных бруска, расположенных так, что их одноименные полюсы приходятся один над другим, отталкиваются; подобрав вес верхнего бруска надлежащим образом, нетрудно добиться того, чтобы он витал над нижним, держась без прикосновения к нему, в устойчивом равновесии. Надо лишь стойками из немагнитного материала — например, стеклянными — предупредить возможность поворота верхнего магнита в горизонтальной плоскости. В подобной обстановке мог бы витать в воздухе и легендарный гроб Магомета.

Наконец, явление этого рода осуществимо и силою магнитного *притяжения*, если добиваться его для тела движущегося. На этой мысли основан замечательный проект электромагнитной железной дороги *без трения* (рис. 99), предложенный советским физиком проф. Б. П. Вейнбергом. Проект настолько поучителен, что каждому интересующемуся физикой полезно с ним познакомиться.

Электромагнитный транспорт

В железной дороге, которую предлагал устроить проф. Б. П. Вейнберг, вагоны были бы *совершенно невесомы*; их вес уничтожался бы электромагнитным притяжением. Вы не удивитесь поэтому, если узнаете, что согласно проекту его вагоны не катятся по рельсам, не плавают на воде, даже не скользят в воздухе, — они летят без всякой

опоры, не прикасаясь ни к чему, вися на невидимых нитях могучих магнитных сил. Они не испытывают ни малейшего трения и, следовательно, будучи раз приведены в движение, сохраняют по инерции свою колоссальную скорость, не нуждаясь в работе локомотива.

Осуществляется это следующим образом. Вагоны движутся внутри медной трубы, из которой выкачан воздух, чтобы его сопротивление не мешало движению вагонов. Трение о дно уничтожается тем, что вагоны движутся, *не касаясь стенок трубы*, поддерживаемые в пустоте силою электромагнитов. С этой целью вдоль всего пути над трубою расставлены, на определенных расстояниях друг от друга, очень сильные электромагниты. Они притягивают к себе *железные* вагоны, движущиеся внутри трубы, и мешают им падать. Сила магнитов рассчитана так, что железный вагон, проносящийся в трубе, все время остается между ее «потолком» и «полом», не прикасаясь ни к тому ни к другому. Электромагнит подтягивает проносящийся под ним вагон вверх — но вагон не успевает удариться о потолок, так как его влечет сила тяжести; едва он готов коснуться пола, его поднимает притяжение следующего электромагнита... Так, подхватываемый все время электромагнитами, вагон мчится по волнистой линии без трения, без толчков, в пустоте, как планета в мировом пространстве.

Что же представляют собой вагоны? Это — сигарообразные цилиндры высотой 90 см, длиной около $2^1/_2$ м. Конечно, вагон герметически закрыт — ведь он движется в безвоздушном пространстве — и, подобно подводным лодкам, снабжен аппаратами для автоматической очистки воздуха.

Способ отправления вагонов в путь также совершенно отличен от всего, что применялось до сих пор: его можно сравнить разве только с пушечным выстрелом. И действительно, вагоны эти буквально «выстреливаются», как ядра, — только «пушка» здесь электромагнитная. Устройство станции отправления основано на свойстве спирально закрученной, в форме катушки, проволоки («соленоида») при прохождении тока втягивать в себя железный стержень; втягивание происходит с такой стремительностью, что стержень при достаточной длине обмотки и силе тока может приобрести огромную скорость. В новой магнитной дороге эта-то сила и будет выбрасывать вагоны. Так как внутри туннеля трения нет, то скорость вагонов не уменьшается — они мчатся по инерции, пока их не задержит соленоид станции назначения.

Вот несколько подробностей, приводимых автором проекта:

«Опыты, которые я ставил в 1911–1913 гг. в физической лаборатории Томского технологического института, производились с медной трубой (32 см диаметром), над которой находились электромагниты, а под ними на подставке вагончик — кусок железной трубы с колесами спереди и сзади и с „носом“, которым он для остановки ударялся в кусок доски, опиравшийся о мешок с песком. Вагончик этот весил 10 кг. Можно было придать вагончику скорость около 6 км/ч, выше которой при ограниченности размеров комнаты и кольцевой трубы (диаметр кольца был $6^1/_2$ м) нельзя было идти. Но в разработанном мною проекте при трехверстной длине соленоидов на станции отправления скорость легко довести до 800–1000 км/ч, а благодаря отсутствию воздуха в трубе и отсутствию трения о пол или потолок не надо тратить никакой энергии для ее поддержания.

Несмотря на большую стоимость сооружений и, в особенности, самой медной трубы, все же, благодаря отсутствию трат на мощность для *поддержания* скорости, на каких-либо машинистов, кондукторов и т. п., стоимость километра — от нескольких тысячных до 1–2 сотых копейки; а пропускная способность двутрубного пути — 15 000 пассажиров или 10 000 тонн в сутки в одном направлении».

Идея проф. Б. П. Вейнберга в видоизмененном виде нашла себе практическое применение в Московском почтамте для передвижения легких грузов. Длина опытного участка 120 м; скорость передвижения 30 м/с. Подобная же электромагнитная почта устраивается в ленинградской Публичной библиотеке для передачи читательских заказов.

Сражение марсиан с земножителями

Естествоиспытатель Древнего Рима Плиний передает распространенный в его время рассказ о магнитной скале где-то в Индии, у берега моря, которая с необычайной силой притягивала к себе всякие железные предметы. Горе моряку, дерзнувшему приблизиться на своем корабле к этой скале. Она вытянет из судна все гвозди, винты, железные скрепы — и корабль распадется на отдельные доски.

Конечно, это не более как легенда. Мы знаем теперь, что магнитные горы, т. е. горы, богатые магнитным железняком, действительно существуют, — вспомним знаменитую Магнитную гору, где высятся теперь домны Магнитогорска. Однако сила притяжения подобных

гор чрезвычайно мала, почти ничтожна. А таких гор или скал, о каких писал Плиний, на земном шаре никогда не существовало.

Если в настоящее время и строятся суда без железных и стальных частей, то делается это не из боязни магнитных скал, а для удобного изучения земного магнетизма. У нас в Главсевморпути проектируется теперь такой корабль, не подверженный действию магнитных сил; во всех его скреплениях, в двигателе, в якорях сталь и железо будут заменены медью, бронзой, алюминием и другими немагнитными металлами.

Научный романист Курт Лассвиц воспользовался идеей легенды Плиния, чтобы придумать грозное военное оружие, к которому в его романе «На двух планетах» прибегают пришельцы с Марса в борьбе с земными армиями. Располагая таким магнитным (вернее, электромагнитным) оружием, марсиане даже не вступают в борьбу с земными жителями, а обезоруживают их еще до начала сражения.

Вот как описывает романист этот эпизод сражения между марсианами и земножителями:

«Блестящие ряды всадников неудержимо ринулись вперед. И казалось, будто самоотверженная решимость войска понудила наконец могущественного неприятеля (марсиан. — *Я. П.*) к отступлению, так как между его воздушными кораблями возникло новое движение. Они поднялись на воздух, словно собираясь уступить дорогу.

Одновременно с этим, однако, опустилась сверху какая-то темная, широко раскинувшаяся масса, теперь только появившаяся над полем. Подобно развевающемуся покрывалу, масса эта, со всех сторон окруженная воздушными кораблями, быстро развернулась над полем. Вот первый ряд всадников попал в район ее действия — и тотчас же странная машина распростерлась над всем полком. Действие, произведенное ею, было неожиданно и чудовищно! С поля донесся пронзительный вопль ужаса. Лошади и всадники клубком валялись на земле, а воздух был наполнен густой тучей копий, сабель и карабинов, с громом и треском летевших вверх к машине, к которой они и пристали.

Машина скользнула немного в сторону и сбросила свою железную жатву на землю. Еще два раза возвращалась она и словно скосила все находящееся на поле оружие. Не нашлось ни одной руки, которая оказалась бы в силах удержать саблю или копье.

Машина эта была новым изобретением марсиан: она с неодолимою силою притягивала к себе все сделанное из железа и стали. С помощью этого витающего в воздухе магнита марсиане вырывали из рук своих противников оружие, не причиняя им никакого вреда.

Воздушный магнит пронесся далее и приблизился к пехоте. Тщетно солдаты старались обеими руками удержать свои ружья — непреодоли-

мая сила вырывала их из рук; многие, все-таки не выпускавшие их, были сами увлечены на воздух. В несколько минут первый полк был обезоружен. Машина понеслась вдогонку за марширующими в городе полками, готовя для них ту же участь.

Подобная же судьба постигла и артиллерию».

Часы и магнетизм

При чтении предыдущего отрывка естественно возникает вопрос: нельзя ли защититься от действия магнитных сил, укрыться от них за какой-нибудь непроницаемой для них преградой?

Это вполне возможно, и фантастическое изобретение марсиан могло бы быть обезврежено, если бы заранее были приняты надлежащие меры.

Как ни странно, веществом, непроницаемым для магнитных сил, является то самое железо, которое так легко намагничивается! *Внутри* кольца из железа стрелка компаса не отклоняется магнитом, помещенным вне кольца.

Железным *футляром* можно защитить от действия магнитных сил стальной механизм карманных часов (рис. 100). Если бы вы положили золотые часы на полюсы сильного подковообразного магнита, то все стальные части механизма (прежде всего — тонкая волосяная пружинка при балансире*) намагнитились бы, и часы остановились бы. Удалив магнит, вы не вернете часы к прежнему состоянию: стальные части механизма останутся намагниченными, и часы потребуют самой радикальной починки, замены многих частей механизма новыми. Поэтому с золотыми часами не следует делать подобного опыта — он обойдется чересчур дорого.

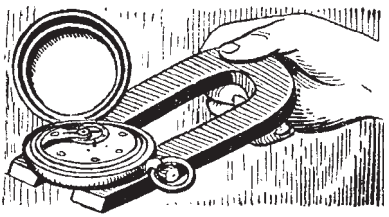


Рис. 100. Часы и магнит

Напротив, с часами, механизм которых плотно закрыт железными или стальными крышками, вы можете смело произвести этот опыт — магнитные силы через железо и сталь не проникают. Поднесите такие часы к обмоткам сильнейшей динамо — верность хода

* Если только этот волосок не сделан из особого сплава *инвара* — металла, не способного намагничиваться, хотя в состав его и входят железо и никель.

не пострадает ни в малейшей степени. Для электротехников такие дешевые железные часы являются идеальными, тогда как золотые или серебряные скоро приходят в негодность от воздействия электромагнитов.

Магнитный «вечный» двигатель

В истории попыток изобрести «вечный» двигатель магнит сыграл не последнюю роль. Неудачники-изобретатели на разные лады старались использовать магнит, чтобы устроить механизм, который вечно двигался бы сам собой. Вот один из проектов подобного «механизма» (описанный в XVII веке англичанином Джоном Вилькенсом, епископом в Честере).

На колонке (рис. 101) помещается сильный магнит *A*. К ней прислонены два наклонных желоба *M* и *N*, один под другим, причем верхний *M* имеет небольшое отверстие *C* в верхней части, а нижний *N* изогнут. Если, рассуждал изобретатель, на верхний желоб положить небольшой железный шарик *B*, то вследствие притяжения магнитом *A* шарик покатится вверх; однако, дойдя до отверстия, он провалится в нижний желоб *N*, покатится по нему вниз, взбежит по закруглению *D* этого желоба и попадет на верхний желоб *M*; отсюда, притягиваемый магнитом, он снова покатится вверх, снова провалится через отверстие, вновь покатится вниз и опять очутится на верхнем желобе, чтобы начать движение сначала. Таким образом, шарик безостановочно будет бегать взад и вперед, осуществляя «вечное движение».

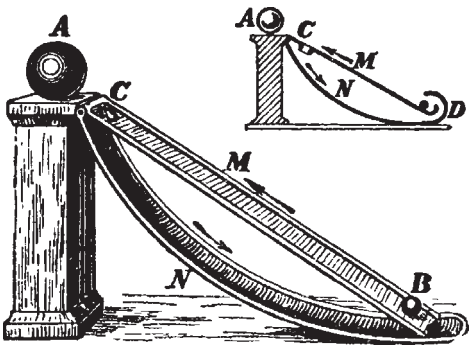


Рис. 101. Мнимый вечный двигатель

В чем абсурдность этого изобретения?

Указать ее нетрудно. Почему изобретатель думал, что шарик, скатившись по желобу *N* до его нижнего конца, будет еще обладать скоростью, достаточной для поднятия его вверх по закруглению *D*? Так было бы, если бы шарик катился под действием одной лишь силы тяжести, — тогда он катился бы ускоренно. Но наш шарик находится под действием двух сил: тяжести и магнитного притяжения. Последнее по предположению настолько значительно, что может заставить шарик подняться от положения *B* до *C*. Поэтому по желобу *N* шарик будет скатываться не ускоренно, а замедленно, и если даже достигнет нижнего конца, то во всяком случае не накопит скорости, необходимой для поднятия по закруглению *D*.

Описанный проект много раз вновь всплывал впоследствии во всевозможных видоизменениях. Один из подобных проектов был даже, как ни странно, патентован в Германии в 1878 г., т. е. тридцать лет спустя после провозглашения закона сохранения энергии! Изобретатель так замаскировал нелепую основную идею своего «вечного магнитного двигателя», что ввел в заблуждение техническую комиссию, выдающую патенты. И хотя, согласно уставу, патенты на изобретения, идея которых противоречит законам природы, не должны выдаваться, изобретение на этот раз было формально запатентовано. Вероятно, счастливый обладатель этого единственного в своем роде патента скоро разочаровался в своем детище, так как уже через два года перестал вносить пошлину, и курьезный патент потерял законную силу; «изобретение» стало всеобщим достоянием. Однако оно никому не нужно.

Музейная задача

В практике музейного дела нередко возникает надобность читать древние свитки, настолько ветхие, что они ломаются и рвутся при самой осторожной попытке отделить один слой рукописи от соседнего. Как разъединить такие листы?

При Академии наук СССР имеется лаборатория реставрации (восстановления) документов, которой и приходится разрешать подобные задачи. В сейчас указанном случае лаборатория справляется с задачей, прибегнув к услугам электричества: свиток электризуется; соседние его части, получающие одноименный заряд, отталкиваются

друг от друга — и аккуратно, без повреждения разделяются. Такой оттопыренный свиток уже сравнительно не трудно умелыми руками развернуть и наклеить на плотную бумагу.

Еще воображаемый вечный двигатель

Большую популярность среди наших искателей вечного двигателя получила в последнее время идея соединения динамо-машины с электромотором. Ежегодно ко мне поступает чуть не полдюжины подобных проектов. Все они сводятся к следующему. Надо шкивы электромотора и динамо-машины соединить приводным ремнем, а провода от динамо подвести к мотору. Если динамо-машине дать первоначальный импульс, то порождаемый ею ток, поступая в мотор, приведет его в движение; энергия же движения мотора будет передаваться ремнем шкиву динамо-машины и приведет ее в движение. Таким образом, полагают изобретатели, машины станут двигать одна другую и движение это никогда не прекратится, пока обе машины не износятся.

Идея эта представляется изобретателям чрезвычайно заманчивой; однако те, кто пытался ее осуществить на деле, с удивлением убеждались, что ни одна из двух машин при таких условиях не работает. Ничего иного от этого мертворожденного проекта и ожидать не следовало. Даже если бы каждая из соединенных машин обладала стопроцентным коэффициентом полезного действия, мы могли бы заставить их сочетание безостановочно двигаться только при полном отсутствии трения. Соединение названных машин (их «агрегат», выражаясь языком инженеров) представляет собой в сущности одну машину, которая должна сама себя приводить в движение. При отсутствии трения агрегат — как и любой шкив — двигался бы вечно, но пользы от такого движения нельзя было бы извлечь никакой: стоило бы заставить «двигатель» совершать внешнюю работу — и он немедленно остановился бы. Перед нами было бы «вечное движение», но не вечный двигатель. При наличии же трения агрегат не двигался бы вовсе.

Странно, что людям, которых увлекает эта идея, не приходит в голову более простое осуществление той же мысли: соединить ремнем два каких-нибудь шкива и завертеть один из них. Руководствуясь той же логикой, как и в случае предыдущего сочетания машин, мы должны ожидать, что первый шкив приведет во вращение второй,

а от второго будет вертеться первый. Можно обойтись и одним шкивом: завертим его — правая часть станет увлекать во вращение левую, левая же при движении будет поддерживать вращение правой. В последних двух случаях нелепость слишком очевидна, и потому подобные проекты никого не вдохновляют. Но, по существу, все три описанных «вечных двигателя» опираются на одно и то же заблуждение.

Почти вечный двигатель

Для строгого математика выражение «почти вечный» не представляет ничего заманчивого. Движение может быть либо вечным, либо невечным; «почти вечное» — значит, в сущности, *невечное*. Но для практической жизни это не так. Многие, вероятно, были бы вполне удовлетворены, если бы получили в свое распоряжение не совсем вечный двигатель, а «почти вечный», способный двигаться хотя бы, например, тысячу лет. Жизнь человека коротка, и тысячелетие для нас то же, что вечность. Люди практической складки, наверное, сочли бы, что проблема вечного двигателя решена и что больше не над чем ломать голову.

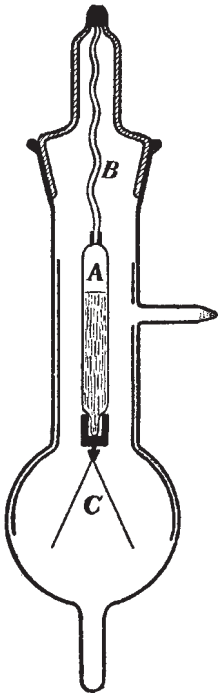


Рис. 102. Радиевые часы с «почти вечным» заводом на 1600 лет

Таких людей можно обрадовать сообщением, что 1000-летний двигатель уже изобретен; каждый может при известной затрате средств иметь у себя маленькое подобие вечного двигателя. Патент на это изобретение никем не взят, и секрета он не представляет.

Устройство этого прибора, придуманного проф. Стреттом в 1903 г. и обычно называемого радиевыми часами, весьма несложно. Внутри стеклянной банки, из которой выкачан воздух, подвешена на кварцевой нити *B* (не проводящей электричества) небольшая стеклянная трубочка *A*, заключающая в себе несколько тысячных долей грамма *радиевой соли*. К концу трубочки подвешены, как в электроскопе, два золотых листочка. Радий, как известно, испускает лучи трех родов: лучи альфа, бета и гамма. В данном

случае важнейшую роль играют легко проходящие через стекло лучи бета, которые состоят из потока отрицательно заряженных частиц (электронов). Разбрасываемые радием во все стороны частицы уносят с собой *отрицательный* заряд, а потому сама трубка с радием постепенно заряжается *положительно*. Этот положительный заряд переходит на золотые листочки и заставляет их раздвигаться. Раздвинувшись, листочки прикасаются к стенкам банки, теряют здесь свой заряд (в соответствующих местах стенок приклеены полоски фольги, по которым электричество уходит) и вновь смыкаются. Вскоре накапливается новый заряд, листочки вновь расходятся, опять отдают заряд стенкам и смыкаются, чтобы вновь наэлектризоваться. Каждые две-три минуты совершается одно колебание золотых листочков, с регулярностью часового маятника — отсюда и название «радиевые часы». Так продлится целые годы, десятилетия, столетия, пока будет продолжаться испускание радием его лучей. Читатель видит, конечно, что перед ним не вечный, а только даровой двигатель.

Долго ли радий испускает свои лучи?

Установлено, что уже через 1650 лет способность радия испускать лучи ослабнет вдвое. Поэтому радиевые часы (рис. 102) будут идти безостановочно не менее тысячи лет, постепенно уменьшая лишь частоту своих колебаний, вследствие ослабления электрического заряда. Если бы в эпоху начала Руси устроены были такие радиевые часы, они действовали бы еще в наше время!

Можно ли использовать этот даровой двигатель для каких-нибудь практических целей? К сожалению, нет. Мощность этого двигателя — т. е. количество работы, совершаемой им в секунду, — так ничтожна, что никакой механизм не может приводиться им в действие. Чтобы достичь сколько-нибудь осязательных результатов, необходимо располагать гораздо большим запасом радия. Если вспомним, что радий чрезвычайно редкий и дорогой элемент, то согласимся, что даровой двигатель подобного рода оказался бы чересчур разорительным.

Сколько лет существует Земля?

Изучение законов распада радиоактивных элементов дало в руки исследователей надежный метод исчисления возраста Земли.

Что такое радиоактивный распад? Это «самопроизвольное» (т. е. не вызываемое видимыми причинами) превращение одних атомов

в другие. Замечательно, что превращение протекает совершенно независимо от внешних воздействий. Никакое понижение или повышение температуры, давления и т. п. не оказывает на скорость процесса ни малейшего влияния*. Элементы уран и торий, содержащиеся в некоторых минералах, являются начальными членами рядов радиоактивных элементов, последовательно переходящих один в другой. Конечным же продуктом этих превращений являются: для ряда урана — урановый свинец, для ряда тория — ториевый свинец. Оба сорта свинца несколько отличаются от обыкновенного своим «атомным весом»: атом обыкновенного свинца тяжелее атома водорода в 207 (с небольшим) раз; атом уранового свинца — в 206 раз, ториевого — в 208. Отличить один сорт от другого представляется поэтому вполне возможным.

Указанным превращениям сопутствует испускание продуктами распада так называемых альфа-лучей. Это — поток наэлектризованных материальных частиц, атомов гелия, легкого газа, играющего теперь столь важную роль в дирижаблестроении; обладая в момент освобождения огромной скоростью, они утрачивают также свой электрический заряд и застревают в минерале в виде обыкновенного гелия. Этим объясняется присутствие гелия во всех радиоактивных минералах.

После сказанного нетрудно уже понять сущность замечательного метода определения возраста минералов, а следовательно, и содержащих их земных пластов. Мы уже отмечали, что никакие факторы не могут повлиять на темп радиоактивного процесса. При всяких условиях распадается ежегодно одно и то же число атомов исходного элемента, т. е. из грамма урана или тория образуется ежегодно определенное количество гелия, в точности измеренное физиками. Например, грамм урана порождает в год около одной 10-миллионной доли кубического сантиметра гелия. Другими словами, 1 $см^3$ гелия накапливается в минерале на каждый грамм урана за 10 млн лет. Таков ход тех природных часов, каковыми являются радиоактивные вещества для исследователя природы.

Анализ радиоактивных минералов обнаружил в некоторых из них содержание гелия, доходящее до 50 $см^3$ на 1 г урана. Отсюда прямо следует, что распад урана длился здесь не менее чем 50 × 10 000 000, т. е. 500 млн лет. И это — самая скромная оценка, потому что часть гелия в течение миллионов лет могла улетучиться и не была учтена.

* Для этого нужна была бы температура в десятки миллиардов градусов.

Описанное исчисление возраста минерала контролируется другим, основанным на учете накопившегося в минерале уранового или ториевого свинца. Из одного грамма урана образуется в течение года одна 6000-миллионная доля грамма свинца. Разделив обнаруженное в минерале число граммов (или его долей) уранового свинца на указанную дробь — иначе говоря, умножив его на 6000 миллионов, — мы узнаем возраст минерала. Этот метод надежнее предыдущего, так как свинец не улетучивается и потому учитывается полностью. Результаты можно сопоставить с теми, которые добыты анализом ториевых минералов (торий распадается вчетверо медленнее урана).

Что же дал нам этот метод? Он установил, что возраст радиоактивных минералов, найденных в древнейших, докембрийских отложениях (еще не содержащих никаких остатков живой природы), исчисляется в 1500 млн лет. Но океаны, на дне которых отложились эти пласты, образовались, конечно, еще раньше. Названное число представляет собой поэтому нижнюю границу возраста океанов. Геология учит, что период времени, протекший от эпохи образования океанов, охватывает бóльшую часть истории нашей планеты. Значит, анализ радиоактивных минералов свидетельствует о том, что Земля существует во всяком случае *не менее* 1500 млн лет.

Можно пойти и дальше. Если сделать весьма правдоподобное допущение, что весь запас свинца в наружной части земной коры обязан своим происхождением распаду атомов урана и тория, то определится и верхняя граница для возраста Земли. Мы узнаем тогда, что от эпохи образования земной коры протекло не свыше 3000 млн лет. Сопоставляя обе оценки — минимальную (1500 млн лет) и максимальную (3000 млн лет), получаем для возраста Земли, как наиболее вероятную величину, около 2000 млн лет.

Две тысячи миллионов лет — число головокружительно огромное по сравнению не только с жизнью отдельного человека, но и со всей историей человечества. Однако оно весьма невелико, если сравнить его с возрастом нашего Солнца и других звезд — возрастом, который оценивается астрономами не тысячами миллионов, а миллионами миллионов лет. Протекло много миллиардов лет, прежде чем какая-то другая звезда пронеслась настолько близко от нашего, тогда еще одинокого Солнца, что породила на нем огромную приливную волну раскаленного вещества. Этот веретенообразный клуб первозданного вещества, протянувшийся далеко от материнского тела, затем, оторвавшись от него, распался на отдельные шары, породив семью планет. Так началась история нашей планеты, насчитывающая за собою около 2000 млн лет...

Птицы на проводах

Все знают, как опасно для человека прикосновение к электрическим проводам трамвая или высоковольтной сети, когда они под током. Такое прикосновение смертельно не только для человека, но даже и для быка. Известно много случаев, когда лошади, коровы и люди убивались током, если их задевал оборвавшийся провод.

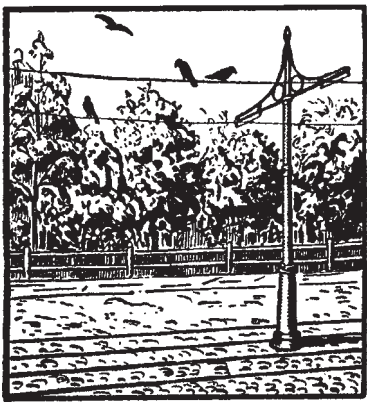


Рис. 103

Чем же объяснить то, что птицы (рис. 103, 104) спокойно и совершенно безнаказанно усаживаются на провода? Подобные картинки можно часто наблюдать в городах.

Чтобы понять причину подобных противоречий, примем во внимание следующее: тело сидящей на проволоке птицы представляет собою как бы ответвление цепи, сопротивление которого по сравнению с другой ветвью (короткого участка между ногами птицы) огромно. Поэтому сила тока в этой ветви (в теле птицы) ничтожна и безвредна. Но если бы птица, сидя на проводе, коснулась столба крылом, хвостом или клювом — вообще каким-нибудь образом соединилась с землей, — она была бы мгновенно убита током, который устремился бы через ее тело в землю. Это нередко и наблюдается.

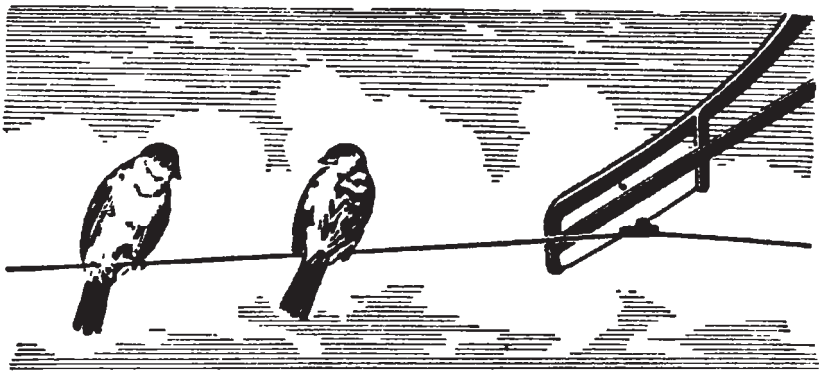


Рис. 104. Птицы безнаказанно садятся на электрические провода. Почему?

Птицы имеют повадку, усевшись на кронштейн высоковольтной проводки, чистить клюв о токонесущий провод. Так как кронштейн не изолирован, то прикосновение заземленной птицы к проводу, находящемуся под током, неизбежно кончается гибелью. Насколько подобные случаи многочисленны, видно хотя бы из того, что, например, в Германии в свое время принимали особые меры, чтобы оградить птиц от гибели. С этою целью на кронштейнах линий высоковольтной передачи устанавливали изолированные насесты, на которых птица могла бы не только сидеть, но и безнаказанно чистить о провод свой клюв (рис. 105). В других случаях опасные места делают с помощью особых приспособлений недоступными для прикосновения птиц.

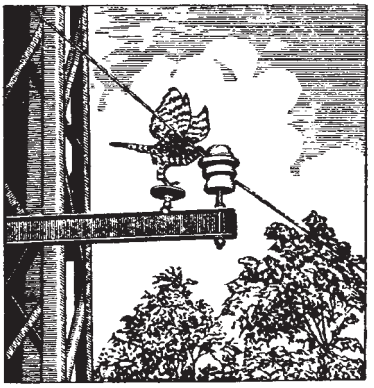


Рис. 105. Изолированный насест для птиц на кронштейне высоковольтной передачи

При том широком развитии, какое получает в СССР ежегодно растущая сеть высоковольтных передач, своевременно было бы и нам, в интересах лесоводства и земледелия, позаботиться об ограждении пернатого населения от истребления электрическим током.

При свете молнии

Случалось ли вам во время грозы наблюдать картину оживленной городской улицы при кратких вспышках молнии? Вы, конечно, заметили при этом одну странную особенность: улица, только что полная движения, кажется в такие мгновения словно застывшей. Лошади останавливаются в напряженных позах, держа ноги в воздухе; экипажи также неподвижны: отчетливо видна каждая спица колеса...

Причина кажущейся неподвижности заключается в ничтожной продолжительности молнии. Молния, как и всякая электрическая искра, длится чрезвычайно малый промежуток времени — настолько малый, что его даже нельзя измерить обычными средствами. При помощи косвенных приемов удалось, однако, установить, что молния длится иногда лишь *тысячные доли секунды*. За столь короткий промежуток времени мало что успевает переместиться заметным

для глаза образом. Неудивительно поэтому, что улица, полная разнообразных движений, представляется при свете молнии совершенно неподвижной: ведь мы замечаем на ней только то, что длится тысячные доли секунды! Каждая спица в колесах быстро движущегося экипажа успевает переместиться лишь на ничтожную долю миллиметра; для глаза это все равно что полная неподвижность.

Сколько стоит молния?

В ту отдаленную эпоху, когда молнии посылались «богами», подобный вопрос звучал бы кощунственно. Но в наши трезвые дни, когда электрическая энергия превратилась в товар, который измеряют и оценивают, как и всякий другой, вопрос о том, какова стоимость молнии, вовсе не должен казаться бессмысленным. Задача состоит в том, чтобы учесть электрическую энергию, потребную для грозового разряда, и оценить ее хотя бы по таксе столичных обществ электрического освещения.

Вот расчет. По новейшим данным, потенциал грозового разряда равен примерно 50 миллионам вольт. Сила тока оценивается при этом в 200 тысяч ампер (ее определяют, заметим кстати, по степени намагничивания стального стержня тем током, который пробегает в его обмотке при ударе молнии в громоотвод). Энергию в ваттах получим перемножением числа вольт на число ампер; при этом, однако, надо учесть то, что, пока длится разряд, потенциал падает до нуля; поэтому при вычислении энергии разряда надо взять средний потенциал, иначе говоря — половину начального напряжения.

Имеем:

$$\text{мощность разряда} = \frac{50\,000\,000 \times 200\,000}{2},$$

т. е. 5 000 000 000 000 ватт, или 5 миллиардов киловатт.

Получив столь внушительный ряд нулей, естественно ожидаешь, что и денежная стоимость молнии выражается огромной цифрой. Однако, если перевести эту энергию в те киловатт-часы, которые фигурируют в счетах за электрическое освещение, то получим гораздо более скромные цифры. Отдача столь значительной мощности длится около 1000-й доли секунды; за это время израсходуется

$$\frac{5\,000\,000\,000}{3600 \times 1000} \approx 1400 \text{ киловатт-часов.}$$

Один киловатт-час по современному тарифу обходится потребителю электрического тока примерно в 4 копейки. Отсюда нетрудно вычислить денежную стоимость молнии:

$$1400 \times 4 = 5\,600 \text{ коп.} = 56 \text{ руб.}$$

Результат поразительный: молния, энергия которой раз в сто больше энергии выстрела тяжелого артиллерийского орудия, должна была бы стоить по тарифу электростанций всего лишь 56 рублей!

Интересно, насколько современная электротехника приблизилась к возможности воспроизвести молнию. В лабораториях достигнуто напряжение в 10 миллионов вольт и получена искра длиною в 15 м. То и другое всего в сотню-другую раз меньше, чем для естественной молнии. Дистанция не чрезмерно значительная...

Грозовой ливень в комнате

Очень легко устроить дома небольшой фонтан из каучуковой трубки, один конец которой погружают в ведро, поставленное на возвышении, или надевают на водопроводный кран. Выходное отверстие трубки должно быть очень мало, для того чтобы фонтан разбивался тонкими струйками; проще всего достигнуть этого, вставив в свободный конец кусочек карандаша, из которого вынут графит. Ради удобства обращения с фонтаном этот свободный конец укрепляют в перевернутой воронке, как показано на рис. 106.

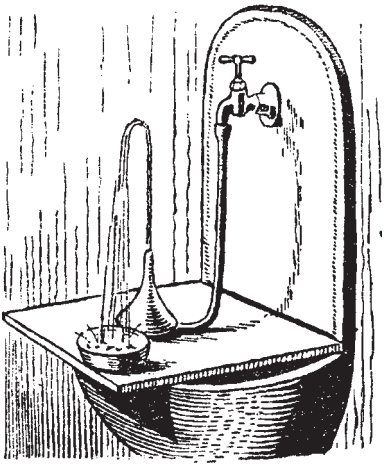


Рис. 106. Грозовой ливень в миниатюре

Пустив такой фонтан высотой в полметра и направив струю вертикально вверх, приблизьте к нему натертую сукном палочку сургуча или эбонитовый гребень. Вы тотчас увидите довольно неожиданную вещь: отдельные струйки ниспадающей части фонтана сольются в одну сплошную струю, которая с заметным шумом ударяет о дно подставленной тарелки. Звук напоминает характерный шум грозового ливня. «Не подлежит сомнению, — замечает

по этому поводу физик Бойз, — что именно по этой причине капли дождя во время грозы отличаются такой величиной». Удалите сургуч — и фонтан тотчас же снова распылится, а характерный стук сменится мягким шумом раздробленной струи.

Перед непосвященными вы можете действовать палочкой сургуча, как фокусник «волшебным» жезлом.

Объяснение столь неожиданного действия электрического заряда на фонтан основано на том, что капли электризуются через влияние, причем обращенные к сургучу части капель электризуются положительно, противоположные — отрицательно; таким образом, разноименно наэлектризованные части капель оказываются в близком соседстве и, притягиваясь, заставляют капли сливаться.

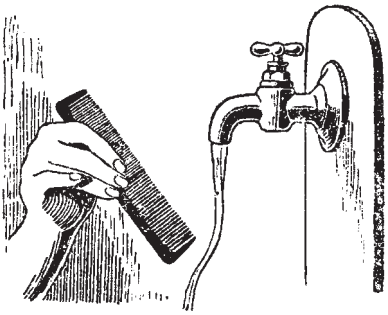


Рис. 107. Водяная струя отклоняется при приближении наэлектризованного гребня

Действие электричества на водяную струю вы можете обнаружить и проще; достаточно приблизить проведенный по волосам эбонитовый гребень к тонкой струе воды, вытекающей из водопроводного крана: струя становится сплошной и заметно искривляется по направлению к гребню, резко отклонившись в сторону (рис. 107). Объяснение этого явления сложнее, чем предыдущего; оно связано с изменением поверхностного натяжения под действием электрического заряда.

Заметим между прочим, что легкостью, с какой образуется электрический заряд при трении, объясняется и электризация передаточных ремней, трущихся о шкивы. Выделяющиеся электрические искры представляют в некоторых производствах серьезную опасность в пожарном отношении. Чтобы этого избежать, стали (в Германии) серебрить передаточные ремни: тонкий слой серебра делает ремень проводником электричества, и накопление заряда становится невозможным.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

ОТРАЖЕНИЕ И ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА — ЗРЕНИЕ

Пятикратный снимок

Одним из курьезов фотографического искусства являются снимки, на которых фотографируемый изображен в пяти различных поворотах. На прилагаемом рисунке (рис. 108), сделанном по подобной фотографии, можно видеть эти пять положений. Такие фотографии имеют то несомненное преимущество перед обыкновенными, что дают более полное представление о характерных особенностях оригинала: известно, как много заботятся фотографы о том, чтобы придать лицу снимаемого наиболее выгодный поворот; здесь же сразу получается лицо в нескольких поворотах, среди которых больше вероятия уловить самый характерный.

Как получаются эти фотографии? Конечно с помощью зеркал (рис. 109). Фотографируемый садится спиной к аппарату *A* и лицом к двум отвесным плоским зеркалам *C*, сходящимся под углом в одну пятую долю от 360°, т. е. в 72°. Такая пара зеркал должна давать четыре изображения, повернутые различным образом по отношению



Рис. 108. Пятикратная фотография одного и того же лица

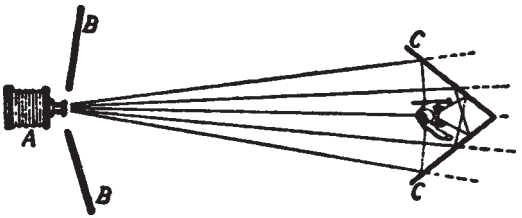


Рис. 109. Способ получения пятикратных фотографий. Снимаемый помещается между зеркалами *CC*

к аппарату. Эти изображения плюс натуральный объект и фотографируются аппаратом, причем сами зеркала (не имеющие рам) на снимке, конечно, не получаются. Чтобы в зеркалах не отразился фотографический аппарат, его заслоняют двумя экранами *(BB)* с небольшой щелью для объектива.

Число изображений зависит от угла между зеркалами: чем он меньше, тем число получающихся изображений больше. При угле 360° : 4 = 90° мы получили бы четыре изображения, при угле 360° : 6 = = 60° — шесть изображений, при 360° : 8 = 45° — восемь и т. д. Однако при большом числе отражений изображения тусклы и слабы; поэтому обычно ограничиваются пятикратными снимками.

Солнечные двигатели и нагреватели

Очень заманчива мысль использовать энергию солнечных лучей для нагревания котла двигателя. Произведем несложный расчет. Энергия, ежеминутно получаемая от Солнца каждым квадратным сантиметром нашей планеты, помещенным за пределами атмосферы под прямым углом к солнечным лучам, тщательно измерена. Количество ее, по-видимому, неизменно; оттого оно и названо солнечной постоянной. Величина солнечной постоянной равна (с округлением) двум малым калориям на квадратный сантиметр в минуту. Этот тепловой паек Земли, регулярно посылаемый Солнцем, достигает ее поверхности не полностью: около полукалории поглощается в атмосфере. Можно считать, что квадратный сантиметр земной поверхности, перпендикулярно озаряемый солнечными лучами, получает ежеминутно примерно 1,4 малых калории. В переводе на квадратный метр это составляет 14 000 малых, или 14 больших, калорий в минуту, а в секунду — около $^1/_4$ большой калории. Так как 1 большая калория, пере-

ходя полностью в механическую работу, дает 427 килограммометров, то солнечные лучи, падающие перпендикулярно на участок Земли в 1 м^2, могли бы дать свыше 100 кгм энергии ежесекундно — иначе говоря, более $1^1/_3$ лошадиной силы.

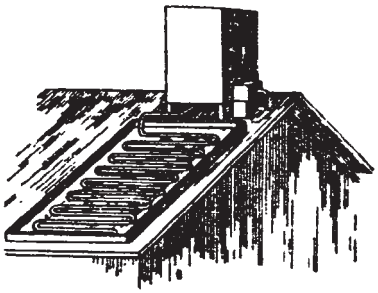


Рис. 110. Солнечный нагреватель на крыше (в Калифорнии)

Такую работу могла бы породить лучистая энергия Солнца при самых благоприятных условиях — при перпендикулярном падении и 100-процентном превращении. Однако до сих пор осуществлявшиеся попытки прямого использования Солнца как двигательной силы далеки были от таких идеальных условий. Их полезное действие не превышало 5–6%, и только проект американского физика проф. Роберта Годдарда (прославившегося своими работами над ракетами) обещает дать установку более чем с 50-процентным полезным действием. Испытание небольшой модели солнечного двигателя его конструкции с диаметром 30 см (вместо 6 м) дало вполне обнадеживающие результаты. Из осуществленных установок наибольший коэффициент полезного действия дает солнечный двигатель известного американского физика проф. Аббота: 15%.

Легче воспользоваться лучистой энергией Солнца не для получения механической работы, а для нагревания. В Калифорнии работает промышленная компания водяных солнечных подогревателей, снабжающая потребителей кровельными нагревательными приборами, которые собирают солнечные лучи; вода, нагретая этими приборами, применяется в домашнем хозяйстве (рис. 110). Компания конкурирует с газовыми и другими обществами.

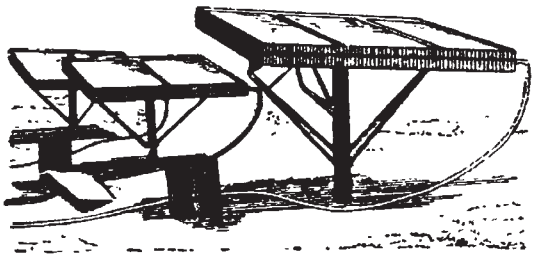


Рис. 111. Солнечные кипятильники в Самарканде (системы Трофимова)

Нигде не уделяется сейчас столько внимания солнечным установкам («гелиотехнике»), как в СССР. У нас существует специальный Всесоюзный гелиоинститут (в Самарканде), ведущий обширную исследовательскую работу. В Ташкенте работает солнечная баня, пропускающая 70 человек в сутки. В том же Ташкенте, как сообщают газеты, «оборудована гелиоустановка на крыше ташкентского дома специалистов Госплана. Здесь установлены 20 солнечных котлов, которые рассчитаны на 200 ведер воды и целиком обеспечивают ею весь дом. По заявлению гелиотехников, солнце будет бесперебойно согревать котлы 7–8 месяцев в году. Остальные 4–5 месяцев котлы смогут нагревать воду только в ясные дни». Отличные результаты дали опыты солнечной плавки серы (температура плавления 120 °С); намечен к сооружению серноплавильный завод, работающий на энергии солнечных лучей. Упомянем еще о солнечных опреснителях для получения пресной воды на побережьях Каспийского и Аральского морей, о солнечных водоподъемниках для замены первобытных среднеазиатских чигирей; о солнечных сушилках для фруктов и рыбы, о кухне, где все блюда приготовляются на лучах Солнца, и т. п. Все это не исчерпывает разнообразных применений искусственно уловленных солнечных лучей, которым в ближайшие годы предстоит сыграть видную роль в народном хозяйстве Средней Азии, Кавказа, Крыма, Нижней Волги и южной Украины.

Мечта о шапке-невидимке

Седою древностью оставлена нам легенда о чудесной шапке, которая делает невидимым каждого, кто ее наденет. Пушкин, ожививший в «Руслане и Людмиле» преданья старины глубокой, дал классическое описание волшебных свойств шапки-невидимки:

И девице пришло на ум,
В волненьи своенравных дум,
Примерить шапку Черномора...
Людмила шапкой завертела;
На брови, прямо, набекрень,
И задом наперед надела.
И что ж? О чудо старых дней!
Людмила в зеркале пропала;

Перевернула — перед ней
Людмила прежняя предстала;
Назад надела — снова нет;
Сняла — и в зеркале! «Прекрасно!
Добро, колдун! Добро, мой свет!
Теперь мне здесь уж безопасно...»

Способность становиться невидимой была единственной защитой для пленной Людмилы. Под надежным покровом невидимости она ускользает от пристальных взоров своих стражей. О присутствии незримой пленницы могли догадываться только по ее действиям:

Везде всечасно замечали
Ее минутные следы:
То позлащенные плоды
На шумных ветках исчезали,
То капли ключевой воды
На луг измятый упадали:
Тогда наверно в замке знали,
Что пьет иль кушает княжна...
Едва редела ночи мгла,
Людмила к водопаду шла
Умыться хладною струею.
Сам карла утренней порою
Однажды видел из палат,
Как под невидимой рукою
Плескал и брызгал водопад.

Давно уже осуществлены многие заманчивые мечты древности; немало сказочных волшебств сделалось достоянием науки. Мы пробуравливаем горы, улавливаем молнии, летаем на коврах-самолетах... Не можем ли изобрести и «шапку-невидимку», т. е. найти средство сделать себя совершенно невидимыми? Об этом мы сейчас побеседуем.

Невидимый человек

В романе «Человек-невидимка» (переделанном также в фильм) английский писатель Уэллс стремится убедить своих читателей, что возможность стать невидимым вполне осуществима. Его герой (автор романа представляет его нам как «гениальнейшего физика, какого

когда-либо видел мир») открыл способ делать человеческое тело невидимым. Вот как излагает он знакомому врачу основания своего открытия:

«— Видимость зависит от действия видимых тел на свет. Вы знаете, что тела или поглощают свет, или отражают его, или преломляют. Если тело не поглощает, не отражает и не преломляет света, оно не может быть видимо само по себе. Видишь, например, непрозрачный красный ящик потому, что краска поглощает некоторую долю света и отражает (рассеивает) остальные лучи. Если бы ящик не поглощал никакой доли света, а отражал его весь, он казался бы блестящим белым ящиком, серебряным. Бриллиантовый ящик поглощал бы мало света, общая его поверхность отражала бы его также немного; только местами, на ребрах, свет отражался бы и преломлялся, давая нам блестящую видимость сверкающих отражений — нечто вроде светового скелета. Стеклянный ящик блестел бы меньше, был бы не так отчетливо виден, как бриллиантовый, потому что в нем было бы меньше отражений и меньше преломлений. Если же положить кусок обыкновенного белого стекла в воду и тем более если положить его в какую-нибудь жидкость плотнее воды — он исчезнет почти совершенно, потому что свет, попадающий сквозь воду на стекло, преломляется и отражается очень слабо. Стекло становится столь же невидимым, как струя углекислоты или водорода в воздухе, по той же самой причине.

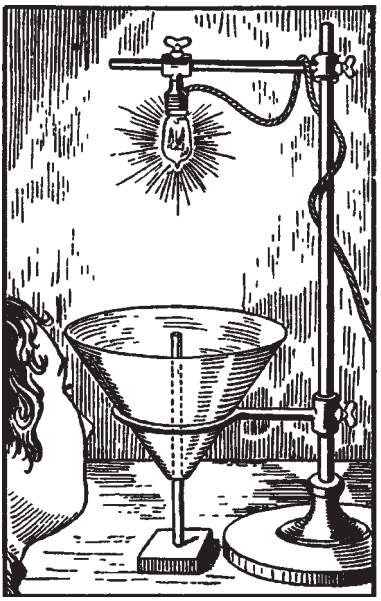


Рис. 112. Невидимая стеклянная палочка

— Да, — сказал Кемп [врач], — все это очень просто и в наше время известно каждому школьнику.

— А вот и еще факт, также известный каждому школьнику. Если кусок стекла растолочь и превратить в порошок, он становится гораздо более заметным в воздухе, — он становится непрозрачным белым порошком. Происходит это потому, что толчение умножает грани стекла, производящие отражение и преломление. У пластинки только две грани, а в порошке свет отражается и преломляется каждой крупинкой, через которую проходит, — и сквозь порошок его проникает очень мало. Но если белое толченое стекло положить в воду, оно сразу исчезает. Толченое стекло и вода имеют приблизительно одинаковый показатель

преломления, так что, переходя от одного к другому, свет преломляется и отражается очень мало.

Положив стекло в какую-нибудь жидкость с почти одинаковым показателем преломления, вы делаете его невидимым: *всякая прозрачная вещь становится невидимой, если ее поместить в среду с одинаковым показателем преломления.* Достаточно подумать самую малость, чтобы убедиться, что стекло можно сделать невидимым и в воздухе: надо устроить так, чтобы его показатель преломления равнялся показателю преломления воздуха, потому что тогда, переходя от стекла к воздуху, свет не будет ни отражаться, ни преломляться вовсе*.

— Да-да, — сказал Кемп. — Но ведь человек не то, что стекло.

— Нет, он прозрачнее.

— Вздор!

— И это говорит естественник! Неужели за десять лет вы успели совсем забыть физику? Бумага, например, состоит из прозрачных волоконец, она бела и непроницаема потому же, почему бел и непроницаем стеклянный порошок. Намаслите белую бумагу, наполните маслом промежутки между волоконцами, так чтобы преломление и отражение происходили только на поверхностях, — и бумага станет прозрачной, как стекло. И не только бумага, но и волокна полотна, волокна шерсти, волокна дерева, наши кости, мускулы, волосы, ногти и нервы! Словом, весь состав человека, кроме красного вещества в его крови и темного пигмента волос, — все состоит из прозрачной, бесцветной ткани; вот как немногое делает нас видимыми друг другу!»

Подтверждением этих соображений может служить тот факт, что не покрытые шерстью животные-альбиносы (ткани которых не со-

* Полной невидимости совершенно прозрачного предмета мы можем добиться, если окружим его стенками, рассеивающими свет строго равномерно. Глаз, который смотрит внутрь через небольшое боковое отверстие, получит тогда от всех точек предмета как раз столько света, как если бы предмета вовсе не существовало: никакие блики или тени не обнаружат его присутствия.

Вот как может быть обставлен подобный опыт. Воронку, диаметром в полметра, из белого картона устанавливают, как показано на рис. 112, на некотором расстоянии от 25-свечной электрической лампочки. Снизу вводят стеклянную палочку, по возможности строго вертикально. Малейшее отклонение от вертикального положения делает то, что палочка кажется темной по оси и светлой по краям либо же, наоборот, светлой по оси и темной по краям. Обе картины освещения переходят одна в другую при легком изменении положения палочки. После ряда проб можно добиться совершенно равномерного освещения палочки, и тогда она для глаза, смотрящего сквозь узкое (не шире 1 см) боковое отверстие, исчезает совершенно. При такой обстановке опыта достигается полная невидимость стеклянного предмета, несмотря на то что его преломляющая способность сильно отличается от преломляющей способности воздуха.

Другой прием, с помощью которого можно сделать невидимым, например, кусок граненого стекла, состоит в том, чтобы поместить его в ящик, покрытый изнутри светящейся краской.

держат красящих веществ) отличаются в значительной мере прозрачностью. Зоолог, нашедший летом 1934 г. в Детском Селе экземпляр белой лягушки-альбиноса, описывает ее так: «Тонкие кожные и мышечные ткани просвечивают: видны внутренности, скелет... Очень хорошо у лягушки-альбиноса видно через брюшную стенку сокращение сердца и кишок».

Герой романа Уэллса изобрел способ делать прозрачными ткани человеческого организма и даже его красящие вещества (пигменты). Он с успехом применил свое открытие к собственному телу. Опыт удался блестяще — изобретатель стал совершенно невидимым.

О дальнейшей судьбе этого невидимого человека мы сейчас узнаем.

Могущество невидимого

Автор романа «Человек-невидимка» с необыкновенным остроумием и последовательностью доказывает, что человек, сделавшись прозрачным и невидимым, приобретает благодаря этому почти безграничное могущество. Он может незаметно проникать в любое помещение и безнаказанно похищать любые вещи; неуловимый благодаря своей невидимости, он успешно борется с целой толпой вооруженных людей. Угрожая всем видимым людям неизбежной тяжкой карой, невидимый человек держит в полном подчинении население целого города. Неуловимый и неуязвимый, он в то же время имеет полную возможность вредить всем остальным людям; как бы ни ухитрялись они защищаться, невидимый враг рано или поздно настигает их и поражает. Столь исключительное положение среди прочих людей дает герою английского романа возможность обращаться к устрашенному населению своего города с приказами такого, например, содержания:

> «Город отныне уже не под властью королевы! Скажите это вашему полковнику, полиции и всем; он под моей властью! Нынешний день — первое число первого года новой эры, эры Невидимого! Я — Невидимый Первый. Сначала правление мое будет милостиво. В первый день будет всего одна казнь, ради примера, казнь человека, имя которого Кемп. Сегодня же его постигнет смерть. Пусть запирается, пусть прячется, пусть окружит себя стражей, пусть закует себя в броню, — смерть, невидимая смерть идет к нему! Пусть принимает меры предосторожности — это произведет впечатление на мой народ. Смерть идет к нему! Не помогай ему, народ мой, чтобы и тебя не постигла смерть».

И на первых порах невидимый человек торжествует. Лишь с величайшим трудом удается запуганному населению справиться с невидимым врагом, мечтавшим сделаться его властелином.

Прозрачные препараты

Верны ли физические рассуждения, которые положены в основу этого фантастического романа? Безусловно. Всякий прозрачный предмет в прозрачной среде становится невидимым уже тогда, когда разница в показателях преломления меньше 0,05. Спустя десять лет после того, как английский романист написал своего «Невидимку», немецкий анатом проф. В. Шпальтегольц осуществил его идею на практике — правда, не для живых организмов, а для мертвых препаратов. Можно видеть теперь эти прозрачные препараты частей тела, даже целых животных, во многих музеях.

Способ приготовления прозрачных препаратов, разработанный (в 1911 г.) проф. Шпальтегольцем, состоит вкратце в том, что после известной обработки — беления и промывания — препарат пропитывается метиловым эфиром салициловой кислоты; это бесцветная жидкость, обладающая сильным лучепреломлением. Приготовленный таким образом препарат крысы, рыбы, разных частей человеческого тела и т. п. погружают в сосуд, наполненный той же жидкостью*.

При этом, разумеется, не стремятся достичь *полной* прозрачности препаратов, так как в таком случае они стали бы совершенно невидимыми, а потому и бесполезными для анатома. Но при желании возможно было бы достичь и этого.

Конечно, отсюда еще далеко до осуществления Уэллсовой утопии о *живом* человеке, прозрачном настолько, что он совершенно невидим. Далеко потому, что надо еще, во-первых, найти способ пропитать просветляющей жидкостью ткани *живого* организма, не нарушая его отправлений. Во-вторых, препараты проф. Шпальтегольца только прозрачны, но не невидимы; ткани этих препаратов могут

* К сведению тех из моих читателей-натуралистов, которые пожелали бы сами изготовлять прозрачные препараты, сообщаю название брошюры, дающей необходимые практические указания: проф. Д. К. Третьяков, «Прозрачные препараты Шпальтегольца», 1914. Брошюра была издана в г. Бендерах и сейчас может быть найдена только в библиотеках (вместе с другими изданиями дореволюционного журнала «Школьные экскурсии и школьный музей»).

быть невидимы лишь до тех пор, пока они погружены в сосуд с жидкостью соответствующей преломляемости. Они будут невидимы в воздухе только тогда, когда показатель их преломления будет равняться показателю преломления *воздуха*, а как этого достигнуть, мы еще не знаем.

Но допустим, что удастся со временем добиться того и другого, а следовательно, осуществить на деле мечту английского романиста. Будут ли у нас тогда невидимые бойцы, невидимые батальоны, которые нежданно оказываются в тылу неприятеля и наводят панику на целую армию своими непостижимыми, сверхъестественными действиями?

В романе все предусмотрено и обдумано автором с такою тщательностью, что невольно поддаешься убедительности описываемых событий. Кажется, что невидимый человек в самом деле должен быть могущественнейшим из смертных...

Но это не так.

Есть одно маленькое обстоятельство, которое упустил остроумный и ученый автор «Человека-невидимки». Это вопрос о том, —

Может ли невидимый видеть?

Если бы Уэллс задал себе этот вопрос, прежде чем написать роман, изумительная история «Невидимки» никогда не была бы написана...

В самом деле, в этом пункте разрушается вся иллюзия могущества невидимого человека. *Невидимый должен быть слеп!*

Отчего герой романа невидим? Оттого, что все части его тела — в том числе и глаза — сделались прозрачными, и притом показатель их преломления равен показателю преломления воздуха. Вспомним, в чем состоит роль глаза: его хрусталик, стекловидное тело и другие части преломляют лучи света так, что на сетчатой оболочке получается изображение внешних предметов. Но если преломляемость глаза и воздуха одинакова, то тем самым устраняется единственная причина, вызывающая преломление: переходя из одной среды в другую, *равной преломляемости*, лучи не меняют своего направления, а потому и не могут собираться в одну точку. Лучи будут проходить через глаза невидимого человека совершенно беспрепятственно, не преломляясь и не задерживаясь в них — ввиду отсутствия пигмен-

та*, — следовательно, они не могут вызвать в его сознании никакого образа.

Итак, *невидимый человек не может ничего видеть*. Все его преимущества оказываются для него бесполезными. Грозный претендент на власть бродил бы ощупью, прося милостыню, которой никто не мог бы ему подать, так как проситель невидим. Вместо могущественнейшего из смертных перед нами был бы беспомощный калека, обреченный на жалкое существование...**

Могущество современной подводной лодки также заключается в ее невидимости — в том, что она незаметно подкрадывается к вооруженному стальному гиганту и выпускает в него свою разрушительную торпеду. Но стоит метким выстрелом повредить у подводной лодки ее глаз — перископ, — и она становится беспомощной: «слепота» лишает ее возможности пользоваться преимуществами невидимости.

Итак, в поисках «шапки-невидимки» бесполезно идти по пути, указываемому Уэллсом, — этот путь, даже при полном успехе поисков, не может привести к цели.

Охранительная окраска

Но есть и другой путь к разрешению задачи «шапки-невидимки». Он состоит в окраске предметов соответствующим цветом, делающим их незаметными для глаза. К нему постоянно прибегает природа: наделяя свои создания «охранительной» окраской, она в самом

* Чтобы вызвать какое-нибудь ощущение у животного, лучи света должны произвести в его глазу некоторые, хотя бы самые незначительные, изменения, т. е. выполнить определенную работу. Для этого лучи должны хотя бы в некоторой части задерживаться глазом. Но совершенно прозрачный глаз, конечно, не может задерживать лучи — иначе он не был бы прозрачен. У всех животных, которые защищаются тем, что они прозрачны, глаза — если они имеются — не бывают вполне прозрачны. «Непосредственно под поверхностью моря, — пишет известный океанограф Мерей, — большинство животных прозрачно и бесцветно: когда их извлекают сетью, их можно отличить только по маленьким черным глазам, так как кровь их лишена гемоглобина (красящего вещества) и совершенно прозрачна».

** Возможно, что романист допустил этот существенный промах вполне сознательно. Известно, к какому литературному приему прибегает обычно Уэллс в своих фантастических произведениях: он заслоняет для читателей основной дефект фантастического построения обилием реалистических подробностей. В предисловии к американскому изданию его фантастических романов он прямо пишет: «Как только магический фокус проделан, нужно все прочее показать правдоподобным и обыденным. Надеяться нужно не на силу логических доводов, а на иллюзию, создаваемую искусством».

широком масштабе пользуется этим простым средством, чтобы защищать свои создания от врагов или облегчать им трудную борьбу за существование.

То, что военные называют защитным цветом, зоологи со времен Дарвина называют охранительной или покровительственной окраской. Примеров такой защиты в мире животных можно привести целые тысячи; мы встречаемся с ними буквально на каждом шагу. Животные, обитающие в пустыне, имеют большею частью характерный желтоватый «цвет пустыни»; вы находите этот цвет и у льва, и у птицы, и у ящерицы, у паука, у червя — словом, у всех представителей пустынной фауны. Напротив, животное население снежных равнин Севера — будь то опасный полярный медведь или безобидная гагара — наделены от природы белой окраской, делающей их незаметными на фоне снега. Бабочки и гусеницы, живущие на коре деревьев, имеют соответствующую окраску, с поразительной точностью воспроизводящую цвет древесной коры («монашенка» и др.).

Каждый собиратель насекомых знает, как трудно найти их из-за идеального «защитного» цвета, которым наделила их природа. Попробуйте поймать зеленого кузнечика, стрекочущего на лугу у ваших ног, — вы не сможете различить его на зеленом фоне, поглощающем его бесследно.

То же относится и к водным обитателям. Морские животные, водящиеся среди бурых водорослей, все имеют «защитный» бурый цвет, делающий их неуловимыми для глаз. В зоне красных водорослей преобладающим «защитным» цветом является красный. Серебристый цвет рыбьей чешуи — тоже «защитный». Он оберегает рыб и от хищных птиц, высматривающих их сверху, и от хищников водной стихии, угрожающих им снизу: водная поверхность имеет зеркальный вид не только при рассматривании сверху, но еще больше при взгляде снизу, из самой толщи воды («полное внутреннее отражение»), и с этим-то блестящим металлическим фоном сливается серебристая рыбья чешуя. А медузы и другие прозрачные обитатели вод — черви, ракообразные, моллюски, сальпы — избрали своим «защитным» цветом полную бесцветность и прозрачность, делающую их невидимыми в окружающей бесцветной и прозрачной стихии.

«Уловки» природы в этом отношении далеко превосходят человеческую изобретательность. Многие животные обладают способностью изменять оттенок своего «защитного» цвета сообразно переменам окружающей обстановки. Серебристо-белый горностай, незаметный на фоне снега, утратил бы все преимущества охранительной окраски,

если бы с таянием снегов не изменил цвет своей шкурки; и вот каждую весну белый зверек получает новую шубку рыжего цвета, идеально сливающуюся с окраской обнаженной от снега почвы, а с наступлением зимы вновь седеет, облекаясь в белоснежный зимний наряд.

Защитный цвет

Люди переняли у изобретательной природы это полезное искусство делать свое тело незаметным, сливаться с окружающим фоном. Пестрые краски блестящего обмундирования прежних времен, придававшие живописность батальным картинам, навсегда отошли в прошлое: их вытеснила знакомая одноцветная обмундировка защитного цвета. Серая военная шинель победила расшитый мундир — и на будущих полях сражений не видно будет ни одного яркого пятна. Серостальная окраска современных военных судов — тоже своего рода защитный цвет, делающий суда малоразличимыми на фоне моря.

Сюда же относится и так называемый тактический камуфляж: военная маскировка отдельных предметов — укреплений, орудий, танков, кораблей, — искусственный туман и подобные меры введения противника в заблуждение. Маскируют лагерь особыми сетями, в ячейки которых вплетены пучки травы; бойцы надевают халаты с пучками мочалы, окрашенной в цвет травы, и т. п.

Широко применяется защитный цвет и маскировка в современной военной авиации. Немецкий технический журнал пишет об этом следующее:

> «Самолет, окрашенный в коричневый, темно-зеленый и фиолетовый цвета (соответствующие расцветке поверхности земли), при наблюдении с самолета сверху становится трудно отличимым от фона земной поверхности.
>
> Маскировка же нижних поверхностей самолета от наблюдения с земли производится окрашиванием их под цвет, соответствующий фону неба: светло-голубой, светло-розовый и белый. Краска эта располагается на поверхности самолета небольшими пятнами. На высоте 750 м эти цвета сливаются в общий малозаметный фон. На высоте 3000 м самолеты, имеющие подобную маскировку, становятся невидимы. Бомбовозы, предназначенные для налетов в ночное время, окрашиваются в черный цвет».

Защитным цветом, пригодным для *всякой* обстановки, была бы *зеркальная* поверхность, отражающая фон. Предмет с такой поверх-

ностью автоматически принимает вид и окраску окружающей среды; обнаружить его присутствие с дальнего расстояния почти невозможно. Германцы во время мировой войны до некоторой степени применяли этот принцип для цеппелинов: поверхность многих цеппелинов была блестящая алюминиевая, отражающая небо и облака: заметить такой цеппелин при полете очень трудно, если его не выдаст жужжание мотора.

Так осуществляются в природе и военной технике мечты наших народных сказок о шапке-невидимке.

Человеческий глаз под водой

Вообразите, что вам дана возможность оставаться под водой сколько угодно времени и что вы при этом держите глаза открытыми. Могли ли бы вы там видеть?

Казалось бы, раз вода прозрачна, ничто не должно мешать видеть под водой так же хорошо, как и в воздухе.

Вспомните, однако, о слепоте «невидимого человека», который не в состоянии видеть потому, что показатели преломления его глаза и воздуха одинаковы. Под водой мы находимся приблизительно в тех же условиях, как и Уэллсов невидимка в воздухе. Обратимся к цифрам — дело станет яснее. Показатель преломления воды — 1,34. А вот показатели преломления прозрачных сред человеческого глаза:

роговой оболочки и стекловидного тела	1,34
хрусталика	1,43
водянистой влаги	1,34

Вы видите, что преломляющая способность хрусталика всего на $^1/_{10}$ сильнее, чем у воды, у остальных же частей нашего глаза она *одинакова* с преломляемостью воды. Поэтому под водой фокус лучей получается в глазу человека далеко позади сетчатой оболочки; следовательно, на самой сетчатке изображение должно вырисовываться смутно, различить что-либо можно лишь с трудом.

Если хотите наглядно представить себе, как должны рисоваться нам вещи под водой, — наденьте очки с сильно рассеивающими *(двояковогнутыми)* стеклами; тогда фокус лучей, преломляющихся в глазу, отодвинется далеко за сетчатку, и окружающее предстанет перед вами в неясных, туманных образах.

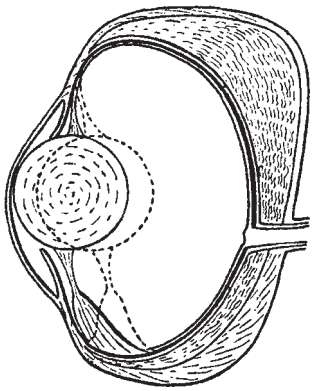


Рис. 113. Разрез через глаз рыбы. Хрусталик имеет шарообразную форму и не изменяет ее при аккомодации. Вместо изменения формы изменяется положение хрусталика в глазу, как показано пунктирными линиями

Не может ли человек под водой помочь своему зрению, пользуясь сильно преломляющими стеклами?

Обыкновенные стекла, употребляемые для очков, мало здесь пригодны: показатель преломления простого стекла 1,5, т. е. лишь весьма немногим больше, чем у воды (1,34); такие очки будут преломлять под водой очень слабо. Нужны стекла особого сорта, отличающиеся чрезвычайно сильной преломляемостью (так называемый тяжелый флинтглас имеет показатель преломления, почти равный двум). С такими очками мы могли бы более или менее отчетливо видеть под водой (о специальных очках для ныряющих — смотри далее).

Теперь понятно, почему у рыб хрусталик имеет чрезвычайно выпуклую форму; он шарообразен (рис. 113), и показатель его преломления — самый большой из всех, какие нам известны в глазах животных. Не будь этого, глаза были бы почти бесполезны рыбам, обреченным на жизнь в сильно преломляющей прозрачной среде.

Как видят водолазы?

Многие, вероятно, спросят: как же могут водолазы, работающие в своих скафандрах, видеть что-либо под водой, если глаза наши в воде почти не преломляют лучей света? Ведь водолазные шлемы всегда снабжаются плоскими, а не выпуклыми стеклами... Далее, могли ли пассажиры жюль-верновского «Наутилуса» любоваться через окно своей подводной каюты ландшафтом подводного мира?

Перед нами новая задача, которую, впрочем, нетрудно решить. Ответ станет ясен, если принять во внимание что, когда мы находимся под водой без водолазного костюма, вода *непосредственно* прилегает к нашему глазу; в водолазном же шлеме (или в каюте «Наутилуса») глаз *отделен от воды слоем воздуха* (и стекла). Это существенно меняет все дело. Лучи света, выходя из воды и пройдя через стекло,

попадают сначала в воздух и лишь отсюда проникают в глаз. Падая из воды на *плоскопараллельное* стекло под каким-либо углом, лучи, по законам оптики, выходят из стекла, *не меняя направления*; но далее, при переходе из воздуха в глаз, лучи, конечно, преломляются — и глаз при этих условиях действует совершенно так же, как и на суше. В этом и кроется разгадка смутившего нас противоречия.

Стеклянные чечевицы под водой

Пробовали ли вы делать такой простой опыт: погрузить двояковыпуклое (увеличительное) стекло в воду и рассматривать через него погруженные предметы? Попробуйте — вас поразит неожиданность: увеличительное стекло в воде почти не увеличивает! Погрузите в воду уменьшительное (т. е. двояковогнутое) стекло — и окажется, что оно утратит там в значительной степени свое свойство уменьшать. Если вы проделаете опыт не с водой, а с растительным маслом (например, кедровым), имеющим показатель преломления больший, чем стекло, то двояковыпуклое стекло будет *уменьшать* предметы, двояковогнутое — *увеличивать* их!

Вспомните, однако, закон преломления лучей света — и эти чудеса не будут удивлять вас своей необычайностью. Двояковыпуклая чечевица увеличивает в воздухе потому, что стекло преломляет свет сильнее, нежели окружающий ее воздух. Но между преломляющей способностью стекла и воды разница весьма невелика; поэтому если вы поместите стеклянную чечевицу в воду, то лучи света, переходя из воды в стекло, не испытают большого отклонения. Оттого-то под водой увеличительное стекло гораздо слабее увеличивает, чем в воздухе, а уменьшительное — слабее уменьшает. Растительное же масло преломляет лучи *сильнее*, чем стекло, — и потому в этой жидкости увеличительные стекла уменьшают, а уменьшительные увеличивают. Так же действуют под водой и пустые

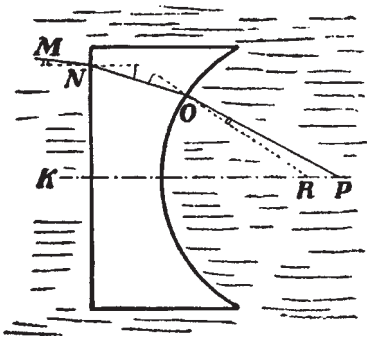


Рис. 114. Очки для ныряющих состоят из полых плосковогнутых линз. Луч *MN*, преломляясь, следует по пути *MNOP*, удаляясь внутри линзы от перпендикуляра падения и приближаясь к нему (т. е. к *OP*) вне линзы. Поэтому линза действует как собирательное стекло

(вернее, воздушные) линзы: вогнутые — увеличивают, выпуклые — уменьшают. Очки для ныряния представляют собой именно такие полые линзы (рис. 114).

Неопытные купальщики

Неопытные купальщики нередко подвергаются большой опасности только потому, что забывают об одном любопытном следствии закона преломления света: они не знают, что преломление словно поднимает все погруженные в воду предметы выше истинного их положения. Дно пруда, речки, каждого водоема представляется глазу *приподнятым* почти на *третью часть* глубины — и, полагаясь на эту обманчивую мелкость, люди нередко попадают в опасное положение. Особенно важно знать это детям и вообще людям невысокого роста, для которых ошибка в определении глубины может оказаться роковой.

Причина — преломление *световых* лучей. Тот же оптический закон, который придает полупогруженной в воду ложке изломанный вид (рис. 115), обусловливает и кажущееся поднятие дна.

Вы можете проверить это явление и у себя на столе.

Посадите товарища за стол так, чтобы он не мог видеть дна стоящей перед ним чашки. На дно ее положите монету, которая, разумеется, будет заслонена стенкой чашки от глаз вашего товарища. Теперь



Рис. 115. Искаженное изображение ложки, полупогруженной в стакан с водой

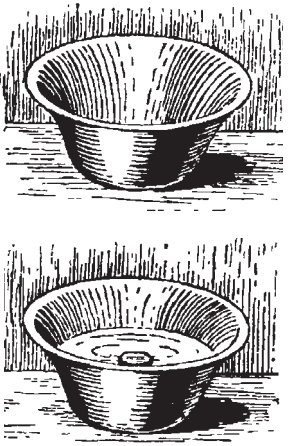


Рис. 116. Опыт с монетой в чашке

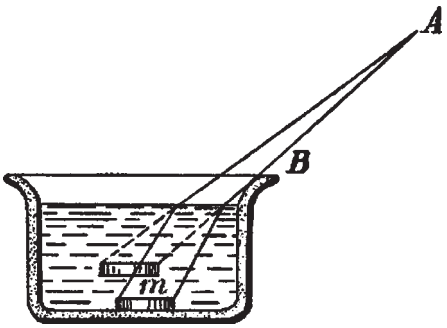


Рис. 117. Почему монета в опыте на рис. 116 кажется приподнявшейся

попросите товарища не поворачивать головы — и налейте в чашку воды. Произойдет нечто *неожиданное*: монета сделается для вашего гостя видимой! Удалите воду из чашки спринцовкой — и дно с монетой опять опустится (рис. 116).

Рис. 117 объясняет, как это происходит. Участок дна *m* кажется наблюдателю (глаз которого — над водой, в точке *A)* в приподнятом положении: лучи преломляются и, переходя из воды в воздух, вступают в глаз, как показано на рисунке, а глаз видит участок на продолжении этих линий, т. е. над *m*. Чем наклоннее идут лучи, тем выше поднимается *m*. Вот почему при рассматривании, например, с лодки ровного дна пруда нам всегда кажется, что оно наиболее глубоко прямо под нами, а кругом — все мельче и мельче.

Итак, дно пруда кажется нам вогнутым. Наоборот, если бы мы могли со дна пруда смотреть на перекинутый через него мост, он казался бы нам *выпуклым* (как изображено на рис. 118; о способе получения этой фотографии будет сказано позже). В данном случае лучи переходят из слабо преломляющей среды (воздуха) в сильно преломляющую (воду), поэтому и эффект получается обратный, чем при переходе лучей из воды в воздух. По сходной причине и ряд людей, стоящих, например, возле аквариума, должен казаться рыбам не прямой шеренгой, а дугой, обращенной своей выпуклостью к рыбе. О том, как видят рыбы или, вернее, как они должны были бы видеть, если бы имели человеческие глаза, мы скоро побеседуем подробнее.

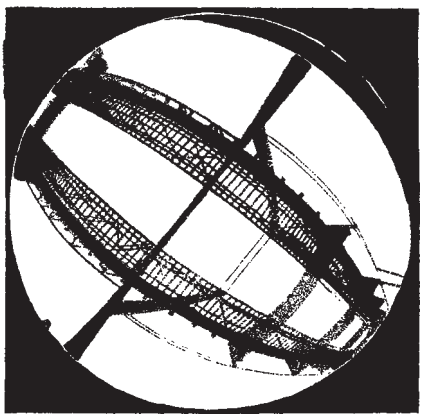


Рис. 118. В таком виде представляется подводному наблюдателю железнодорожный мост, перекинутый через реку (с фотографии проф. Вуда)

Невидимая булавка

Воткните булавку в плоский пробковый кружок и положите его булавкой вниз на поверхность воды в миске. Если пробка не чересчур широка, то, как бы ни наклоняли вы голову, вам не удастся увидеть булавку — хотя, казалось бы, она достаточно длинна, чтобы пробка не заслоняла ее от вас (рис. 119).

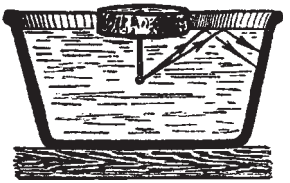


Рис. 119. Опыт с булавкой, невидимой в воде

Почему же лучи света не доходят от булавки до вашего глаза? Потому что они претерпевают то, что в физике называется «полным внутренним отражением».

Напомним, в чем состоит это явление.

На рис. 120 можно проследить за путями лучей, переходящих из воздуха в воду (вообще — из среды менее преломляющей в среду более преломляющую). Общий закон состоит в том, что, переходя в воду, луч приближается к «перпендикуляру падения»; например, луч, падающий на воду под углом β к перпендикуляру, вступает в нее уже под углом α, который *меньше*, чем β. Но что бывает, когда падающий луч, скользя по поверхности воды, падает на водную поверхность почти под прямым углом к перпендикуляру? Он вступает в воду под углом меньшим, чем прямой, а именно под углом всего $48^1/_2$ градуса. Под бóльшим углом к перпендикуляру, чем $48^1/_2$ градуса, луч вступить в воду не может; это для воды «предельный» угол. Необходимо уяснить себе эти несложные отношения, чтобы понять дальнейшие, совершенно неожиданные и чрезвычайно любопытные следствия закона преломления.

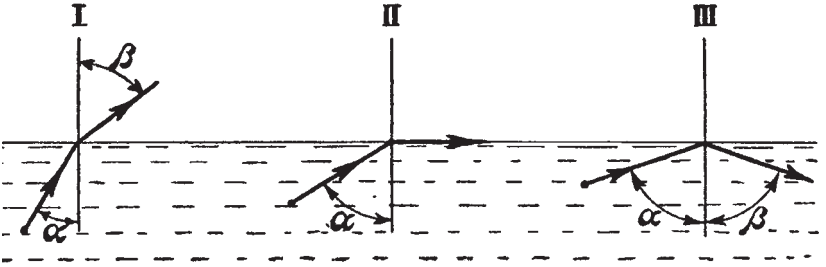


Рис. 120. Разные случаи преломления луча при переходе из воды в воздух. В случае, изображенном на чертеже II, когда луч падает под предельным углом к перпендикуляру падения, луч выходит из воды, скользя вдоль ее поверхности. На чертеже III изображен случай полного внутреннего отражения

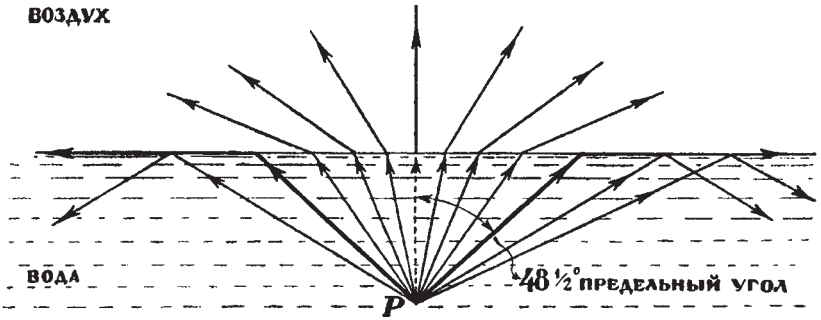


Рис. 121. Лучи, исходящие из точки *P* под углом к перпендикуляру падения больше предельного (для воды — $48^1/_2$ градуса), не выходят в воздух из водной поверхности, а отражаются внутрь

Мы сейчас узнали, что лучи, попадающие на воду под всевозможными углами, сжимаются *под водой* в довольно тесный конус с углом растворения $48^1/_2 + 48^1/_2 = 97°$. Запомнив это, рассмотрим вопрос с другой стороны, т. е. проследим за ходом лучей, идущих обратно — *из воды в воздух* (рис. 121). По законам оптики, пути будут те же самые, и все лучи, заключенные в упомянутом 97-градусном конусе, выйдут в воздух под различными углами, распределяясь по всему 180-градусному пространству над водой. Но куда же денется подводный луч, находящийся вне упомянутого конуса? Оказывается, *он не выйдет вовсе из-под воды, а отразится от ее поверхности, как от зеркала*. Вообще, всякий подводный луч, встречающий поверхность воды под углом, бóльшим «предельного» (т. е. бóльшим

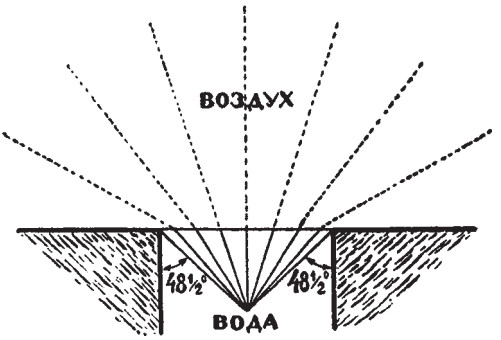


Рис. 122. Наружный мир сжимается для подводного наблюдателя в конус с углом растворения 97°

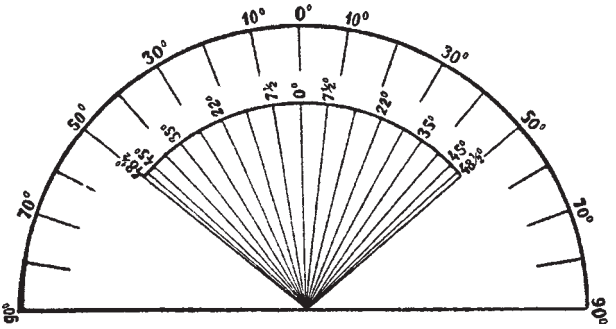


Рис. 123. Дальнейшее пояснение рис. 122: дуга наружного мира в 180° сокращается для подводного наблюдателя до дуги в 97°; сокращение тем сильнее, чем далее отстоит часть дуги от точки зенита (0°)

$48^1/_2$ градуса), не преломляется, а отражается: он претерпевает, как говорят физики, «полное внутреннее отражение»*.

Если бы рыбы изучали физику, главнейшим отделом оптики было бы для них учение о «внутреннем отражении», так как в их подводном зрении явление это должно играть первостепенную роль.

В связи с особенностями подводного зрения находится, по всей вероятности, то обстоятельство, что многие рыбы имеют серебристую окраску. По мнению зоологов, такая окраска есть результат приспособления рыб к цвету расстилающейся над ними водной поверхности: при наблюдении *снизу* поверхность воды, как мы знаем, кажется зеркальной — вследствие «полного внутреннего отражения»; а на таком фоне серебристые рыбы остаются незаметными для охотящихся на них водных хищников.

Мир из-под воды

Многие и не подозревают, каким необычайным казался бы мир, если бы мы стали рассматривать его из-под воды: он должен представляться наблюдателю измененным и искаженным почти до неузнаваемости.

* Отражение называется в данном случае полным потому, что здесь отражаются все 100% падающих лучей, между тем как даже самое лучшее зеркало (из полированного магния или серебра) отражает только часть падающих на него лучей, остальную же поглощает. Вода при указанных условиях является идеальным зеркалом.

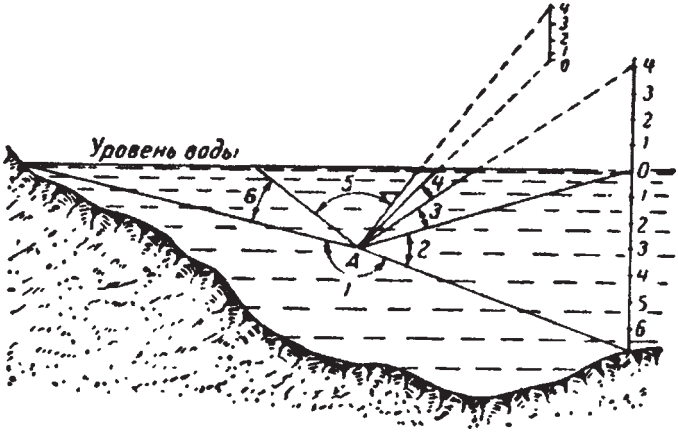


Рис. 124. Вид полупогруженной водомерной рейки для подводного наблюдателя, глаз которого помещен в *A*. В угле *2* видна, в туманных очертаниях, погруженная часть рейки. В угле *3* — отражение ее от внутренней поверхности воды. Еще выше видна выступающая часть рейки в сокращении, и притом отделенная от остальной ее части промежутком. В угле *4* отражается дно. В угле *5* виден весь надводный мир в форме конической трубы. В угле *6* видно отражение дна от нижней поверхности воды. В угле *1* — неясное изображение дна

Вообразите, что вы погружены в воду и смотрите из-под водной скатерти в мир надводный. Облако, висящее в небе прямо над вашей головой, нисколько не изменит своего вида: отвесный луч, мы знаем, не преломляется. Но все остальные предметы, лучи которых встречают водную поверхность под острыми углами, представляются искаженными: они словно сожмутся по высоте — тем сильнее, чем острее угол встречи луча с водной гладью. Это и понятно: весь мир, видимый над водой, должен уместиться в тесном подводном конусе; 180 градусов должны сжаться почти вдвое — до 97°, и изображения неизбежно будут искажаться. Предметы, лучи которых встречают водную гладь под углом 10 градусов, сжимаются в воде настолько, что почти перестают различаться. Но всего более поразил бы вас вид самой водной поверхности: из-под воды она представляется вовсе не плоской, а в форме конуса! Вам покажется, что вы находитесь на дне огромной воронки, бока которой наклонены друг к другу под углом немного больше прямого (97°). Верхний край этого конуса окружен радужным кольцом из красной, желтой, зеленой, синей и фиолетовой каемок. Почему? Белый солнечный свет состоит из смешения лучей разных цветов; каждый род лучей имеет свой показа-

тель преломления, а потому и свой «предельный угол». Следствием этого является то, что при рассматривании из-под воды предмет кажется окруженным пестрым ореолом из цветов радуги.

Что же видно далее, за краями этого конуса, заключающего в себе весь надводный мир? Там расстилается блестящая поверхность воды, в которой, как в зеркале, отражаются *подводные* предметы.

Совершенно необычайный вид приобрели бы для подводного наблюдателя те предметы, которые частью погружены в воду, частью же выступают над нею. Пусть в реку погружена водомерная рейка (рис. 124). Что увидит наблюдатель, помещенный под водой, в точке *A*?

Разделим обозреваемое им пространство — 360 градусов — на участки и займемся каждым участком отдельно. В пределах угла 1 он увидит дно реки — если только, конечно, оно достаточно освещено. В угле 2 он увидит подводную часть рейки без искажений. Примерно в угле 3 он увидит отражение той же части рейки, т. е. перевернутую погруженную половину ее (вспомните, что сказано было о «полном внутреннем отражении»). Еще выше подводный наблюдатель увидит выступающую часть рейки — но она не составит продолжения подводной, а переместится гораздо выше, совершенно отделившись от своего основания. Разумеется, наблюдателю в голову не придет, что эта витающая рейка составляет продолжение первой! К тому же рейка покажется сильно сжатой, особенно в нижней части — там деления будут заметно сближены. Дерево на берегу, затопленном разливом, должно из-под воды казаться таким, каким оно изображено на рис. 125.

А если бы на месте рейки находился человек, то из-под воды он представился бы фигурой, как на рис. 126. В таком виде купальщик должен казаться рыбам! Для них мы, идя по мелкому дну, раздваиваемся, превращаемся в два существа: верхнее — безногое, нижнее — безголовое с четырьмя ногами! Когда мы удаляемся от подводного наблюдателя, верхняя половина нашего тела все сильнее сжимается в нижней

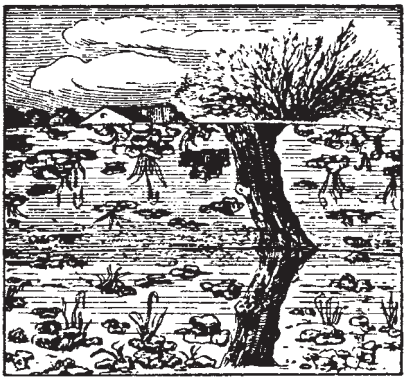


Рис. 125. Как представляется из-под воды полузатопленное дерево (ср. с рис. 124)

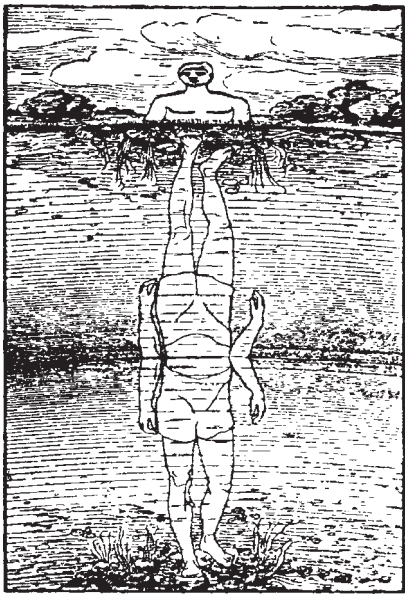


Рис. 126. Как купальщик, погруженный до груди в воду, представляется подводному наблюдателю (ср. с рис. 124)

части; на некотором расстоянии почти все надводное туловище пропадает — остается лишь одна свободно реющая голова...

Можно ли непосредственно, на опыте, проверить эти необычайные выводы? Ныряя под воду, мы увидели бы очень мало, даже если бы и приучили себя держать глаза открытыми. Во-первых, водная поверхность *не успевает* успокоиться в те немногие секунды, какие мы способны провести под водой, а сквозь *волнующуюся* поверхность трудно что-либо различить. Во-вторых, как мы уже объяснили в предыдущих статьях, преломление воды мало отличается от преломления прозрачных сред нашего глаза, и на сетчатке получается поэтому очень неясное изображение; окружающее будет казаться туманным, размытым (с. 416). Наблюдение из водолазного колокола, шлема или через стеклянное окно подводной лодки также не могло бы дать желаемых результатов. В этих случаях, как мы также уже разъяснили, наблюдатель хотя и находится под водой, но вовсе не в условиях «подводного зрения»: прежде чем вступить в его глаз, лучи света в этих случаях, пройдя стекло, *вновь вступают в воздушную среду* и, следовательно, испытывают обратное преломление; при этом либо восстанавливается прежнее направление луча, либо же он получает новое направление, но во всяком случае не то, которое имел в воде. Вот почему наблюдения из стеклянных окон подводных помещений не могут дать *правильного представления* об условиях «подводного зрения».

Однако нет надобности быть *самому* под водой, чтобы познакомиться с тем, каким кажется мир из-под воды. Условия подводного зрения можно изучать с помощью особой фотографической камеры, которая внутри наполнена водой. Вместо объектива пользуются при этом металлической пластинкой с просверленной в ней дырочкой.

Легко понять, что если все пространство между отверстием и светочувствительной пластинкой наполнено водой, то внешний мир должен изобразиться на пластинке в таком виде, в каком рисуется он подводному наблюдателю. Этим способом пользовался американский физик проф. Вуд и получил чрезвычайно любопытные фотографии, одну из которых мы воспроизвели на рис. 118. Что касается причины искажения формы надводных предметов для подводного наблюдателя (прямые линии железнодорожного моста получались на фотографии Вуда в виде дуг), то мы указали на нее, когда объясняли, почему плоское дно пруда кажется вогнутым (с. 420).

Есть и другой способ непосредственно познакомиться с тем, каким кажется мир подводным наблюдателям: в воду спокойного пруда можно погрузить зеркало и, дав ему надлежащий наклон, наблюдать в нем отражение надводных предметов.

Результаты таких наблюдений подтверждают во всех подробностях те теоретические соображения, которые изложены выше.

Итак, прозрачный слой воды между глазом и предметами вне этого слоя искажает всю картину надводного мира, придает ему фантастические очертания. Существо, которое после жизни на суше очутилось бы в воде, не узнало бы родного мира — так изменился бы он при рассматривании из глубины прозрачной водной стихии.

Цвета в глубине вод

Картинно описывает смену световых оттенков под водой американский биолог Биб, о глубоководном спуске которого в стальном шаре-батисфере я уже упоминал (с. 314):

> «Мы погрузились в воду, и внезапный переход от золотисто-желтого мира в зеленый был неожидан. После того как пена и пузыри сошли с окон, нас залил зеленый свет; наши лица, баллоны, даже вычерненные стены были окрашены им. Между тем с палубы казалось, что мы погружаемся в темный ультрамарин.
>
> Первое же погружение в воду лишает глаз теплых* (т. е. красных и оранжевых) лучей спектра. Красный и оранжевый цвета словно никогда не существовали, а вскоре и желтые тона были поглощены зелеными. Хотя радостные теплые лучи составляют лишь небольшую часть видимого

* Здесь слово «теплый» употреблено не в физическом смысле, а в том, какой придают этому слову художники, характеризуя оттенки цветов; «теплыми» они называют красный и оранжевый, в отличие от «холодных» — синего и голубого.

спектра, но, когда они исчезают на глубине 30 или более метров, остается только холод, мрак и смерть.

По мере того как мы спускались, постепенно исчезали и зеленые тона; на глубине 60 метров уже нельзя было сказать, была ли вода зеленовато-синей или сине-зеленой.

На глубине 180 метров все казалось окрашенным густым, сияющим синим светом. В нем настолько мало было силы освещения, что писать и читать стало невозможно.

На глубине 300 метров я попытался определить цвет воды — черно-синий, темно-серо-синий. Странно, что, когда синий цвет пропадает, его не заступает фиолетовый — последний в видимом спектре: он, по-видимому, уже поглощен. Последний намек на синее переходит в неопределимый серый цвет, а серый в свою очередь в черный. Начиная с этого уровня солнце побеждено и цвета изгнаны навсегда, пока не проникнет сюда человек и не пронижет электрическим лучом то, что в течение миллиардов лет было абсолютной чернотой».

О темноте на большой глубине тот же исследователь пишет в другом месте следующее:

«Тьма на глубине 750 метров казалась черней, чем можно вообразить, — и все же теперь (на глубине около 1000 метров) она казалась чернее черного. Казалось, все предстоящие ночи в верхнем мире будут восприниматься только как относительные степени сумерек. И никогда более не мог я применять слово „черный“ с твердым убеждением».

(Подробнее о цвете в морских глубинах см. книгу проф. Шулейкина «Очерки по физике моря», 1935.)

Слепое пятно нашего глаза

Если вам скажут, что в поле вашего зрения есть участок, которого вы совершенно не видите, хотя он находится прямо перед вами, — вы этому, конечно, не поверите. Возможно ли, чтобы мы всю жизнь не замечали такого крупного недостатка своего зрения? А между тем вот простой опыт, могущий убедить вас в этом.

Держите рис. 127 на расстоянии сантиметров 20 от вашего правого глаза (закрывши левый) и смотрите на крестик, помещенный слева; медленно приближайте рисунок к глазу: непременно наступит момент, когда большое черное пятно на скрещении обеих окружностей *бесследно исчезнет*! Вы его не увидите, хотя оно будет оставаться в пределах видимого участка, а *обе окружности вправо и влево от него будут отчетливо видны*!

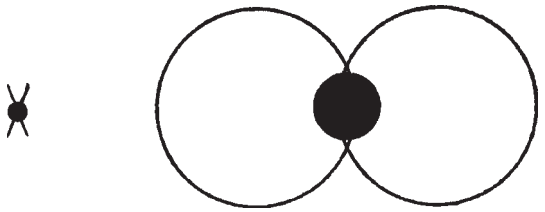


Рис. 127. Фигура для обнаружения слепого пятна

Этот опыт, впервые произведенный в 1668 г. (в несколько ином виде) знаменитым физиком Мариоттом, очень забавлял придворных Людовика XIV. Мариотт проделывал опыт так: помещал двух вельмож на расстоянии 2 м друг против друга и просил их рассматривать одним глазом некоторую точку сбоку — тогда каждому казалось, что у его визави нет головы.

Как ни странно, но люди только в XVII веке узнали, что на сетчатке их глаз существует «слепое пятно», о котором никто раньше не думал. Это то место сетчатой оболочки, где зрительный нерв вступает в глазное яблоко и еще не разделяется на мелкие разветвления, снабженные элементами, чувствительными к свету.

Мы не замечаем черной дыры в поле нашего зрения вследствие долговременной привычки. Воображение невольно заполняет этот пробел подробностями окружающего фона: так, на рис. 127 мы, не видя пятна, мысленно продолжаем линии окружностей и убеждены, будто ясно видим то место, в котором они пересекаются.

Если вы носите очки, то можете проделать такой опыт: наклейте кусочек бумаги на стекло очков (не в самой середине, а сбоку).

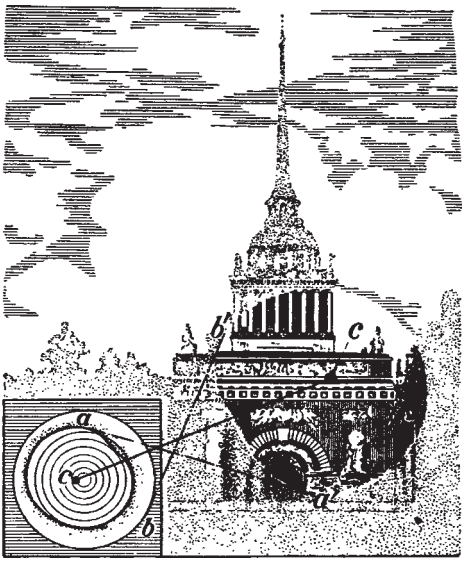


Рис. 128. При рассматривании здания одним глазом небольшой участок *C* поля зрения, отвечающий слепому пятну *(c)* глаза, нами не воспринимается вовсе

В первые дни бумажка будет мешать смотреть; но пройдет декада, другая — и вы так привыкнете к ней, что перестанете даже ее замечать. Впрочем, это хорошо знает каждый, кому приходилось носить очки с треснувшим стеклом: трещина замечается только в первые дни. Точно так же, в силу долговременной привычки, не замечаем мы слепого пятна нашего глаза. Кроме того, оба слепых пятна отвечают различным участкам поля зрения каждого глаза, так что при зрении двумя глазами не бывает пробела в их общем поле зрения.

Не думайте, что слепое пятно нашего поля зрения незначительно; когда вы смотрите (одним глазом) на дом с расстояния 10 м, то из-за слепого пятна не видите довольно обширной части его фасада, имеющей в поперечнике более метра (рис. 128); в нем умещается целое окно. А на небе остается невидимым пространство, равное по площади 120 дискам полной Луны!

Какой величины нам кажется Луна?

Кстати — о видимых размерах Луны. Если вы станете расспрашивать знакомых, какой величины *представляется* им Луна, то получите самые разнообразные ответы. Большинство скажет, что Луна величиной с тарелку, но будут и такие, которым она кажется величиной с блюдце для варенья, с вишню, с яблоко. Одному школьнику Луна всегда казалась «величиной с круглый стол на двенадцать персон». А один современный беллетрист утверждает, что на небе была «луна диаметром в аршин».

Откуда такая разница в представлениях о величине одного и того же предмета?

Она зависит от различия в оценке *расстояния*, — оценке всегда бессознательной. Человек, видящий Луну величиной с яблоко, представляет ее себе находящейся на расстоянии гораздо меньшем, нежели те люди, которым она кажется величиной с тарелку или с круглый стол.

Большинство людей, впрочем, представляют себе Луну величиной с тарелку. Отсюда можно сделать любопытный вывод. Если вычислить (способ расчета станет ясен из дальнейшего), на какое расстояние помещает каждый из нас Луну, имеющую такие *видимые* размеры, то окажется, что удаление не превышает 30 м. Вот на каком скромном расстоянии помещаем мы бессознательно наше ночное светило!

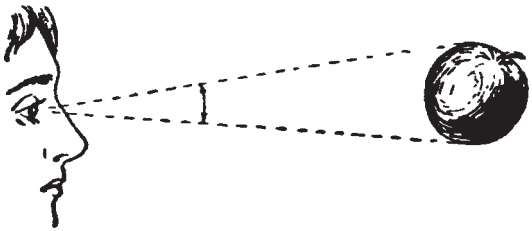


Рис. 129. Что такое угол зрения

На ошибочной оценке расстояний основано немало иллюзий зрения. Я хорошо помню оптический обман, который испытал в раннем детстве, «когда мне были новы все впечатленья бытия». Уроженец города, я однажды весной, во время загородной прогулки, в первый раз в жизни увидел пасущееся на лугу стадо коров; так как я неправильно оценил расстояние, коровы эти показались мне карликовыми! Таких крошечных коров я с тех пор ни разу не видел и, конечно, никогда не увижу*.

Видимый размер светил астрономы определяют величиной того угла, под которым мы их видим. «Угловой величиной» (углом зрения) называют угол, который составляют две прямые, проведенные к глазу от крайних точек рассматриваемого тела (рис. 129). Углы же, как известно, измеряются градусами, минутами и секундами. На вопрос о видимой величине лунного диска астроном не скажет, что диск равен яблоку или тарелке, а ответит, что он равен половине градуса; это значит, что прямые линии, проведенные от краев лунного диска к нашему глазу, составляют угол в полградуса. Такое определение видимых размеров есть единственно правильное, не порождающее недоразумений.

Геометрия учит**, что предмет, удаленный от глаза на расстояние в 57 раз больше его поперечника, должен представляться наблюдателю под углом в 1°. Например, яблоко в 5 см диаметром будет иметь

* Впрочем, и взрослые иногда поддаются подобной иллюзии. Об этом свидетельствует следующий отрывок из повести Григоровича «Пахарь»:

«Окрестность открылась как на ладони; деревня казалась подле самого моста; дом, холм и березовая рощица казались примыкающими теперь к деревне. Все это — и дом, и сад, и деревня — приняло теперь вид тех игрушек, где стебли мха изображают деревья, кусочки зеркала — речку».

** Читатель, заинтересовавшийся относящимися к углу зрения геометрическими расчетами, найдет разъяснения и примеры в моей книге «Занимательная геометрия».

угловую величину в 1°, если его держать от глаза на расстоянии 5 × 57 см. На вдвое большем расстоянии оно представится под углом $^1/_2$°, т. е. такой же величины, какой мы видим Луну. Если угодно, вы можете сказать, что Луна кажется вам величиной с яблоко, — но при условии, что яблоко это удалено от глаза на 570 см (около 6 м). При желании сравнить видимую величину Луны с тарелкой вам придется отодвинуть тарелку метров на 30. Большинство людей не хочет верить, что Луна представляется такой маленькой; но попробуйте поместить гривенник на таком расстоянии от глаза, которое в 114 раз больше его диаметра: он как раз покроет Луну, хотя удален от глаза на два метра.

Если бы вам предложили нарисовать на бумаге кружок, изображающий диск Луны, видимый простым глазом, задача показалась бы вам недостаточно определенной: кружок может быть и большим, и маленьким, смотря по тому, как далеко он отодвинут от глаза. Но условия определятся, если остановимся на том расстоянии, на каком мы обыкновенно держим книги, чертежи и т. п., — т. е. на расстоянии *лучшего* зрения. Оно равно для нормального глаза 25 см.

Итак, вычислим, какой величины должен быть кружок хотя бы на странице этой книги, чтобы видимый размер его равнялся лунному диску. Расчет прост: надо разделить расстояние 25 см на 114. Получим довольно незначительную величину — чуть больше 2 мм! Примерно такой ширины буква «о» типографского шрифта этой книги. Прямо не верится, что Луна, а также равное ей по *видимым* размерам Солнце, кажутся нам под таким небольшим углом!

Вы замечали, вероятно, что после того, как глаз ваш был направлен на Солнце, в поле зрения долго мелькают цветные кружки. Эти так называемые оптические следы имеют ту же угловую величину, что и Солнце. Но кажущиеся размеры их меняются: когда вы смотрите на небо, они имеют величину солнечного диска; когда же бросаете взгляд на лежащую перед вами книгу, «след» Солнца занимает на странице место кружка с поперечником около 2 мм, наглядно подтверждая правильность нашего расчета.

Видимые размеры светил

Если бы, придерживаясь этого масштаба, мы пожелали изобразить на бумаге созвездие Большой Медведицы, то получили бы фигуру, представленную на рис. 130. Глядя на нее с расстояния лучшего

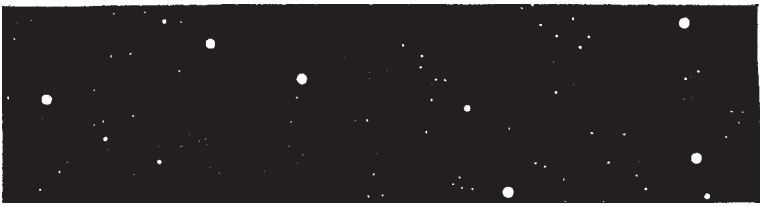


Рис. 130. Созвездие Большой Медведицы в натуральном угловом масштабе. (Держать рисунок на расстоянии 25 см от глаза.)

зрения, мы видим созвездие таким, каким оно рисуется нам на небесном своде. Это, так сказать, карта Большой Медведицы с сохранением угловых размеров. Если вам хорошо знакомо зрительное впечатление от этого созвездия — не *фигура* только, а именно непосредственное зрительное *впечатление*, — то, всматриваясь в приложенную карту, вы словно вновь переживаете это впечатление. Зная угловые расстояния между главными звездами всех созвездий (они приводятся в астрономических календарях и подробных справочных изданиях), вы можете начертить в «натуральном масштабе» целый астрономический атлас. Для этого достаточно запастись миллиметровой бумагой и считать на ней каждые $4^1/_2$ мм за градус (площади кружков, изображающих звезды, надо чертить пропорциональными яркости).

Обратимся теперь к планетам. Видимые размеры их, как и звезд, настолько малы, что невооруженному глазу они кажутся лучистыми точками. Это и понятно, потому что ни одна планета (кроме разве Венеры в период ее наибольшей яркости) не представляется простому глазу под углом более 1 минуты, т. е. той предельной величины, при которой мы вообще можем различать предмет как тело, имеющее размеры (под меньшим углом каждый предмет кажется нам точкой без очертаний).

Вот величины разных планет в угловых секундах; против каждой планеты показаны две цифры: первая соответствует наименьшему расстоянию светила от Земли, вторая — наибольшему:

Меркурий	13–5	
Венера	64–10	
Марс	25–$3^1/_2$	секунд
Юпитер	50–31	
Сатурн	20–15	
Кольца Сатурна	48–35	

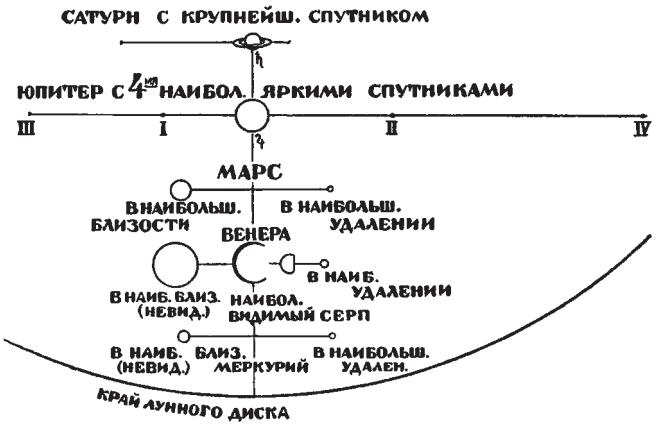


Рис. 131. Если держать этот чертеж на расстоянии 25 см от глаза, то начерченные на нем планетные диски представятся нам по размерам в точности такими, какими видны планеты в телескоп, увеличивающий в 100 раз

Начертить эти величины в «натуральном масштабе» на бумаге нет возможности: даже целая угловая *минута*, т. е. 60 секунд, отвечает, на расстоянии лучшего зрения, лишь 0,04 мм — величине, неразличимой для простого глаза. Изобразим поэтому планетные диски такими, какими они кажутся в телескоп, увеличивающий в 100 раз. На рис. 131 перед вами таблица видимых размеров планет при таком увеличении. Нижняя дуга изображает край лунного (или солнечного) диска в телескопе с 100-кратным увеличением. Над ним — Меркурий при наименьшем его удалении от Земли. Еще выше Венера в разных фазах; в ближайшем к нам положении эта планета совершенно не видна, так как обращена к Земле неосвещенной половиной*; затем становится видимым ее узкий серп — это наибольший из всех планетных «дисков»; в дальнейших фазах Венера все уменьшается, и полный диск имеет поперечник в 6 раз меньший, нежели у узкого серпа.

Выше над Венерой изображен Марс. Слева вы видите его в наибольшем приближении к Земле; таким показывает его нам труба с 100-кратным увеличением. Что можно различить на этом маленьком диске? Вообразите тот же кружок увеличенным в 10 раз и получите представление о том, что видит астроном, изучающий Марс

* Ее можно видеть в этом положении только в те крайне редкие моменты, когда она проектируется на диск Солнца в виде черного кружочка (так называемое прохождение Венеры).

в могущественнейший телескоп с 1000-кратным увеличением. Можно ли на столь тесном пространстве уловить с несомненностью такие тонкие подробности, как пресловутые «каналы», или заметить легкое изменение окраски, связанное будто бы с растительностью на дне «океанов» этого мира? Неудивительно, что свидетельства одних наблюдателей существенно расходятся с показаниями других, и одни считают оптической иллюзией то, что будто бы отчетливо видят другие...

Великан Юпитер со своими спутниками занимает очень видное место в вашей таблице: его диск значительно больше диска прочих планет (исключая серп Венеры), а четыре главнейших спутника раскинуты по линии, равной почти половине лунного диска. Здесь Юпитер изображен в наибольшем приближении к Земле. Наконец, Сатурн с кольцами и самой крупной из его лун (Титаном) представляет собой также довольно заметный объект в моменты наибольшей близости к нам.

После сказанного читателю ясно, что каждый видимый предмет кажется нам тем меньшим, чем ближе мы его себе представляем. И обратно: если почему-либо мы преувеличим расстояние до предмета, то и самый предмет покажется нам соответственно бóльших размеров.

Далее приведен поучительный рассказ американского писателя Эдгара По, описывающий именно такую иллюзию зрения. При кажущемся неправдоподобии он вовсе не фантастичен. Я сам сделался однажды жертвой почти такой же иллюзии — да и многие из наших читателей, вероятно, вспомнят сходные случаи из собственной жизни.

Сфинкс

*Рассказ Эдгара По**

«В эпоху ужасного владычества холеры в Нью-Йорке я получил приглашение от одного из моих родственников провести две недели в его уединенной даче. Мы провели бы время очень недурно, если бы не ужасные вести из города, получавшиеся ежедневно. Не было дня, который бы не принес нам известия о смерти кого-либо из знакомых. Под конец мы со страхом ожидали газету. Самый ветер с юга,

* Перевод М. А. Энгельгардта. В тексте сделаны несущественные пропуски.

казалось нам, был насыщен смертью. Эта леденящая мысль всецело овладела моей душой. Мой хозяин был человек более спокойного темперамента и старался ободрить меня.

На закате жаркого дня я сидел с книгой в руках у раскрытого окна, из которого открывался вид на отдаленный холм за рекой. Мысли мои давно уже отвлеклись от книги к унынию и отчаянию, царившим в соседнем городе. Подняв глаза, я случайно взглянул на обнаженный склон холма — и увидел нечто странное: отвратительное чудовище быстро спускалось с вершины холма и исчезло в лесу у его подножия. В первую минуту, увидев чудовище, я усомнился в здравом состоянии моего рассудка или, по крайней мере, глаз, и только спустя несколько минут убедился, что я не брежу. Но если я опишу это чудовище (которое я видел совершенно ясно и за которым наблюдал все время, пока оно спускалось с холма), мои читатели, пожалуй, не так легко поверят этому.

Определяя размеры этого существа по сравнению с диаметром огромных деревьев, я убедился, что оно далеко превосходит величиною любой линейный корабль. Я говорю „линейный корабль“, потому что форма чудовища напоминала корабль: корпус семидесятичетырехпушечного судна может дать довольно ясное представление об его очертаниях. Пасть животного помещалась на конце хобота футов в шестьдесят или семьдесят длиною и приблизительно такой же толщины, как туловище обыкновенного слона. У основания хобота находилась густая масса косматых волос, а из нее выдавались, изгибаясь



Рис. 132. «...Чудовище спускалось с вершины холма»

вниз и вбок, два блестящих клыка, подобные кабаньим, только несравненно бóльших размеров. По обеим сторонам хобота помещались два гигантских прямых рога, футов в тридцать или сорок длиной, по-видимому хрустальных; они ослепительно сияли в лучах солнца. Туловище имело форму клина, обращенного вершиной к земле. Оно было снабжено двумя парами крыльев — каждое имело футов около 300 в длину, — помещавшимися одна над другой. Крылья были густо усажены металлическими пластинками; каждая имела футов десять-двенадцать в диаметре. Но главную особенность этого страшного существа составляло изображение мертвой головы, занимавшей почти всю поверхность груди; она резко выделялась на темной поверхности своим ярким белым цветом, точно нарисованная.

Пока я с чувством ужаса смотрел на это страшное животное, в особенности на зловещую фигуру на его груди, оно внезапно разинуло пасть и испустило громкий стон... Нервы мои не выдержали, и, когда чудовище исчезло у подошвы холма в лесу, я без чувств повалился на пол...

Когда я очнулся, первым моим побуждением было рассказать моему другу о том, что я видел. Выслушав меня до конца, он сначала расхохотался, а затем принял очень серьезный вид, как будто нисколько не сомневался в моем помешательстве.

В эту минуту я снова увидел чудовище и с криком указал на него моему другу. Он посмотрел, но уверял, что ничего не видит, хотя я подробно описывал ему положение животного, пока оно спускалось с холма.

Я закрыл лицо руками. Когда я отнял их, чудовище уже исчезло.

Мой хозяин принялся расспрашивать меня о внешнем виде чудовища. Когда я рассказал ему все подробно, он перевел дух, точно избавившись от какой-то невыносимой тяжести, подошел к книжному шкафу и достал учебник естественной истории. Затем, предложив мне поменяться местами, так как у окна ему легче было разбирать мелкую печать книги, он уселся на стул и, открыв учебник, продолжал:

— Если бы вы не описали мне так подробно чудовище, я, пожалуй, никогда не мог бы объяснить вам, что это такое было. Прежде всего, позвольте, я вам прочту из этого учебника описание рода *Sphinx*, из семейства *Crepuscuariae* (сумеречных) порядка *Lepidoptera* (чешуекрылых, или бабочек) класса *Insecta*, или насекомых. Вот оно:

„Две пары перепончатых крыльев, покрытых мелкими окрашенными чешуйками металлического блеска; ротовые органы, образовав-

шиеся из удлиненных нижних челюстей; по бокам их зачатки пушистых щупальцев; нижние крылья соединены с верхними крепкими волосками; усики в виде призматических отростков; брюшко заостренное. Сфинкс Мертвая Голова является иногда предметом суеверного ужаса среди простонародья ввиду издаваемого им печального звука и фигуры черепа на груди“*.

Тут он закрыл книгу и наклонился к окну в той же самой позе, в какой сидел я, когда увидел „чудовище“.

— Ага, вот оно! — воскликнул он. — Оно поднимается по склону холма и, признаюсь, выглядит очень курьезно. Но оно вовсе не так велико и не так далеко, как вы вообразили, так как взбирается по нити, прикрепленной каким-нибудь пауком к нашему окну!»

Почему микроскоп увеличивает?

«Потому что он изменяет ход лучей определенным образом, описанным в учебниках физики» — вот что чаще всего приходится слышать в ответ на этот вопрос. Но в таком ответе указывается отдаленная причина; самая же сущность дела не затрагивается. В чем же основная причина увеличительного действия микроскопа и телескопа?

Я узнал ее не из учебника, а постиг случайно, когда школьником заметил однажды чрезвычайно любопытное и сильно озадачившее меня явление. Я сидел у закрытого окна и смотрел на кирпичную стену дома на противоположной стороне узкого переулка. Вдруг я в ужасе отшатнулся: с кирпичной стены — я ясно видел это! — смотрел на меня исполинский человеческий глаз в несколько метров ширины... В то время я еще не читал приведенного сейчас рассказа Эдгара По и потому не сразу сообразил, что исполинский глаз был отражением моего собственного, отражением, которое я проектировал на отдаленную стену и потому представлял себе соответственно увеличенным.

Догадавшись же, в чем дело, я стал размышлять о том, нельзя ли устроить микроскоп, основанный на этом обмане зрения. И вот тогда, когда я потерпел неудачу, мне стало ясно, в чем сущность увеличительного действия микроскопа: вовсе не в том, что рассматриваемый

* Теперь эту бабочку относят к роду *Acherontia*. Это одна из немногих бабочек, способных издавать звуки — свист, напоминающий мышиный визг, — и единственная, производящая звуки с помощью ротовых органов. Голос ее довольно громок — он слышен за много метров. В данном случае он мог показаться наблюдателю особенно громким, так как источник звука мысленно отнесен был на весьма далекое расстояние (см. «Занимательную физику», книга первая, глава десятая).

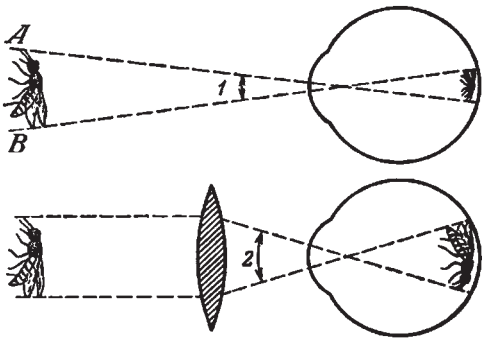


Рис. 133. Линза увеличивает изображение на сетчатке глаза

предмет кажется больших размеров, а в том, что он усматривается нами *под бóльшим углом зрения*, а следовательно, — и это самое важное — его изображение занимает *больше места на сетчатке нашего глаза* (рис. 133).

Чтобы понять, почему столь существенное значение имеет здесь угол зрения, мы должны обратить внимание на важную особенность нашего глаза: каждый предмет или каждая его часть, представляющиеся нам под углом, меньшим одной угловой минуты, сливаются для нормального зрения в *точку*, в которой мы не различаем ни формы, ни частей. Когда предмет так далек от глаза или так мал сам по себе, что весь он или отдельные части его представляются под углом зрения менее 1′, мы перестаем различать в нем подробности его строения. Происходит же это потому, что при таком угле зрения изображение предмета на дне глаза (или изображение какой-либо части предмета) захватывает не множество нервных окончаний в сетчатке сразу, а умещается целиком на одном чувствительном элементе: подробности формы и строения тогда исчезают — мы видим *точку.*

Роль микроскопа и телескопа состоит в том, что, изменяя ход лучей от рассматриваемого предмета, они показывают его нам под бóльшим углом зрения; изображение на сетчатке растягивается, захватывает больше нервных окончаний — и мы различаем уже в предмете такие подробности, которые раньше сливались в точку. «Микроскоп или телескоп увеличивает в 100 раз» — это значит, что он показывает нам предметы под углом зрения в 100 раз бóльшим, чем мы видим их без инструмента. Если же оптический инструмент не увеличивает угла зрения, *то он не дает никакого увеличения, хотя бы нам и казалось, что мы видим предмет увеличенным.* Глаз на кирпичной стене

казался мне огромным — но я не видел в нем *ни одной лишней подробности* по сравнению с тем, что вижу, глядя в зеркало. Луна низко у горизонта кажется нам заметно *большею*, чем высоко на небе, — но разве на этом увеличенном диске замечаем мы хоть одно лишнее пятнышко, неразличимое при высоком стоянии Луны?

Если обратимся к случаю увеличения, описанному в рассказе Эдгара По «Сфинкс», мы убедимся, что и здесь в увеличенном объекте не было усмотрено никаких новых частностей. Угол зрения оставался неизменным, бабочка видна под одним и тем же углом, относим ли мы ее далеко в лес или близко к раме окна. А раз не меняется угол зрения, то увеличение предмета, как бы ни поражал он наше воображение, не открывает наблюдателю ни одной новой подробности. Как истинный художник, Эдгар По верен природе даже и в этом пункте своего рассказа. Заметили ли вы, как описывает он «чудовище» в лесу: перечень отдельных членов насекомого не заключает ни одной новой черты по сравнению с тем, что представляет «мертвая голова» при наблюдении невооруженным глазом. Сравните оба описания — они не без умысла приведены в рассказе — и вы убедитесь, что отличаются они только в словесных выражениях (10-футовые пластинки — чешуйки, гигантские рога — усики, кабаньи клыки — щупальца и т. д.), но никаких новых подробностей, неразличимых простым глазом, в первом описании нет.

Если бы действие микроскопа заключалось лишь в *таком* увеличении, он был бы бесполезен для науки, превратившись в любопытную игрушку, не более. Но мы знаем, что это не так, что микроскоп открыл человеку новый мир, далеко раздвинув границы нашего естественного зрения.

Хоть острым взором нас природа одарила,
Но близок оного конец имеет сила.
Коль многих тварей он еще не досягает,
Которых малый рост пред нами сокрывает! —

писал наш первый натуралист Ломоносов в «Письме о пользе стекла». Но «в нынешних веках» нам микроскоп открыл строение мельчайших, невидимых существ:

Коль тонки члены в них, составы, сердце, жилы
И нервы, что хранят в себе животны силы!
Не меньше, нежели в пучине тяжкий кит,
Нас малый червь частей сложением дивит...

Коль много микроскоп нам тайности открыл
Невидимых частиц и тонких в теле жил!

Теперь мы можем уже дать себе ясный отчет в том, почему именно микроскоп открывает нам «тайности», которых не усмотрел на своем чудовище-бабочке наблюдатель в рассказе Эдгара По: потому что — подведем итог сказанному — микроскоп не просто представляет нам предметы в увеличенном виде, а показывает их *под бóльшим углом зрения*; вследствие этого на задней стенке глаза рисуется *увеличенное изображение предмета*, действующее на более многочисленные нервные окончания и тем доставляющее нашему сознанию большее число отдельных зрительных впечатлений. Коротко говоря: микроскоп увеличивает не предметы, а их изображения на дне глаза.

Зрительные самообманы

Мы часто говорим об «обмане зрения», «обмане слуха», но выражения эти неправильны. Обманов *чувств* нет. Философ Кант метко сказал по этому поводу: «Чувства не обманывают нас — не потому, что они не всегда правильно судят, а потому, что вовсе не судят».

Что же тогда обманывает нас при так называемых обманах чувств? Разумеется, то, что в данном случае *судит*, т. е. наш собственный мозг. Действительно, бóльшая часть обманов зрения зависит исключительно от того, что мы не только *видим*, но и бессознательно *рассуждаем*, причем невольно вводим себя в заблуждение. Это — обманы *суждения*, а не чувств.

Еще два тысячелетия назад древний поэт Лукреций писал:

Наши глаза познавать не умеют природу предметов.
А потому не навязывай им заблуждений рассудка.

Возьмем общеизвестный пример оптической иллюзии: фигура *A* (рис. 134) кажется у́же, нежели фигура *B*, хотя обе ограниче-



Рис. 134. Что шире: *A* или *B*?

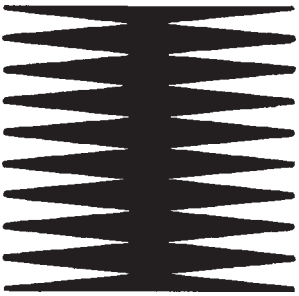


Рис. 135. Что больше в этой фигуре: высота или ширина?

ны строго одинаковыми квадратами. Причина кроется в том, что оценка *высоты* фигуры *А* получается у нас как результат бессознательного сложения отдельных промежутков, и потому она кажется нам больше, чем равная ей *ширина* той же фигуры. Напротив, на фигуре *В* в силу того же бессознательного рассуждения ширина кажется больше *высоты*. По этой же причине высота фигуры рис. 135 кажется больше ее ширины.

Иллюзия, полезная для портных

Если только что описанную иллюзию зрения вы пожелаете применить к более крупным фигурам, которые не могут быть охвачены сразу глазом, то ожидания ваши не оправдаются. Всем известно, что низкий полный человек в костюме с поперечными полосами кажется не только не тоньше, а, напротив, еще шире. И наоборот, надев костюм с продольными полосами и складками, полные люди могут до некоторой степени скрадывать свою полноту.

Чем объяснить это противоречие? Тем, что, рассматривая такой костюм, мы не можем охватить его сразу, не двигая глаз; мы невольно следуем глазами вдоль полос; усилие глазных мускулов при этом заставляет нас бессознательно преувеличивать размеры предмета в направлении полос; мы привыкли связывать с усилием глазных мышц представление о больших предметах, которые не умещаются в поле зрения. Между тем, когда мы рассматриваем *маленький* полосатый чертеж, глаза наши остаются неподвижными и мускулы их не утомляются.

Что больше?

Какой эллипс на рис. 136 больше: нижний или внутренний верхний? Трудно отделаться от мысли, что нижний больше верхнего. Между тем оба *равны*, и только присутствие наружного, окаймляющего эллипса создает иллюзию, будто заключенный в нем эллипс

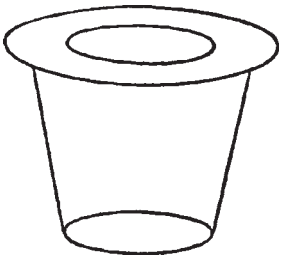


Рис. 136. Который эллипс больше: нижний или внутренний верхний?

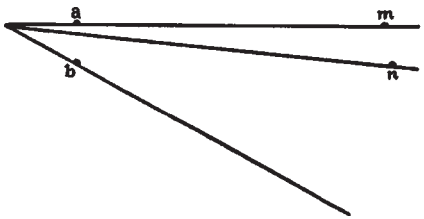


Рис. 137. Какое расстояние больше: *ab* или *mn*?

меньше нижнего. Иллюзия усиливается и тем, что вся фигура представляется нам не плоской, а телесной — в виде ведра: эллипсы невольно превращаются нами в перспективно сжатые круги, а боковые прямые линии — в стенки ведра.

На рис. 137 расстояние между точками *a* и *b* кажется больше, нежели между точками *m* и *n*. Присутствие третьей прямой, исходящей из той же вершины, усиливает иллюзию.

Сила воображения

Большинство обманов зрения, как уже указывалось, зависит от того, что мы не только *смотрим*, но и бессознательно при этом *рассуждаем*. «Мы смотрим не глазами, а мозгом», — говорят физиологи. Вы охотно согласитесь с этим, когда познакомитесь с иллюзиями, где воображение смотрящего *сознательно* участвует в процессе зрения.

Остановимся хотя бы на так называемой *лестнице Шредера* (рис. 138).

Если станете показывать этот рисунок другим, то получите троякого рода ответы на вопрос, что он изображает. Одни скажут, что это лестница; другие — что это ниша, углубленная в стене; третьи, наконец, увидят в нем бумажную полоску,

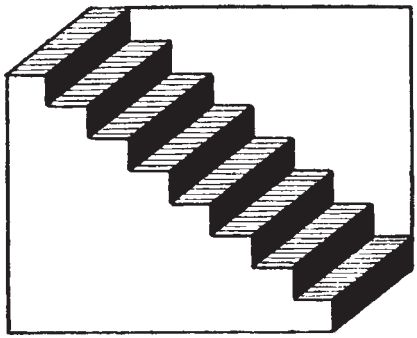


Рис. 138. Что вы видите здесь: лестницу, нишу или полоску, согнутую «гармоникой»?

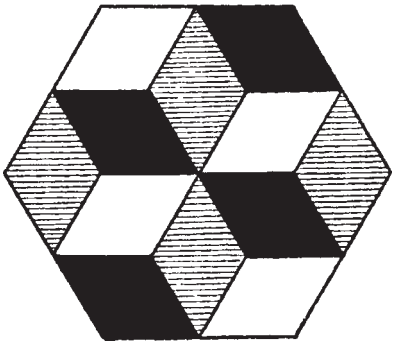


Рис. 139. Как расположены здесь кубы? Где два куба — вверху или внизу?

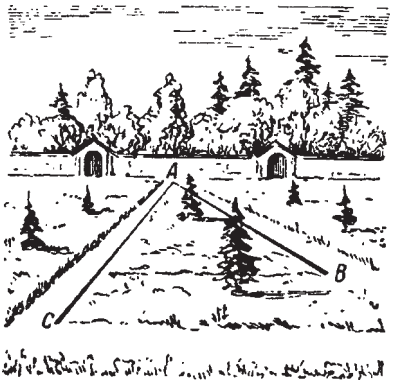


Рис. 140. Что длиннее: *AB* или *AC*?

согнутую «гармоникой» и протянутую наискось в белом поле квадрата.

Как ни странно, все три ответа верны! Вы можете сами увидеть все названные вещи, если, глядя на рисунок, направите свой взгляд различным образом. А именно: рассматривая чертеж, попробуйте прежде всего направить взор на *левую* часть рисунка — вы увидите лестницу. Если взгляд ваш скользнет по рисунку справа налево — вы увидите нишу. Если взгляд ваш следует по косому направлению диагонали от нижнего правого края к верхнему левому — вы увидите сложенную «гармоникой» бумажную полоску.

Впрочем, при продолжительном рассматривании внимание утомится, и вы будете видеть попеременно то одно, то другое, то третье, уже независимо от вашего желания.

Рис. 139 отличается теми же особенностями.

Любопытна иллюзия рис. 140: мы невольно поддаемся впечатлению, будто расстояние *AB* короче *AC*. Между тем они равны.

Еще иллюзии зрения

Не все иллюзии зрения мы в состоянии объяснить. Часто и догадаться нельзя, какого рода умозаключения совершаются бессознательно в нашем мозгу и обусловливают тот или иной обман зрения. На рис. 141 отчетливо видны две дуги, обращенные выпуклостями друг к другу. Сомнения даже не возникает, что это так. Но стоит лишь приложить линейку к этим мнимым дугам или взглянуть на

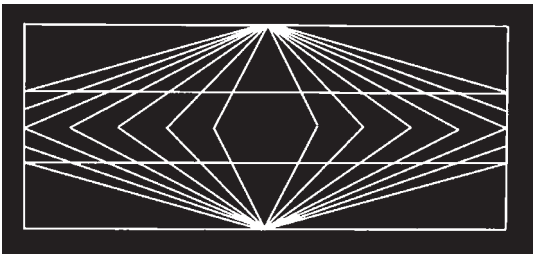


Рис. 141. Две средние линии, идущие справа налево, — параллельные прямые, хоть кажутся дугами, обращенными выпуклостью одна к другой. Иллюзия пропадает: 1) если, подняв фигуру на уровень глаз, смотреть на нее так, чтобы взгляд скользил вдоль линий; 2) если, поместив конец карандаша в какой-нибудь точке фигуры, сосредоточить взгляд на этой точке

них вдоль, держа фигуру на уровне глаз, чтобы убедиться в их прямолинейности. Объяснить эту иллюзию не так просто.

Укажем еще несколько примеров иллюзий в том же роде. На рис. 142 прямая кажется разбитой на неравные отрезки; измерение убедит вас, что отрезки равны. На рис. 143 и 144 параллельные прямые представляются непараллельными. На рис. 145 круг производит впечатление овала.

Замечательно, что оптические иллюзии, показанные на рис. 141, 143 и 144, перестают обманывать глаз, если их рассматривают при свете электрической искры. Очевидно, иллюзии эти связаны с движением глаз: при кратковременной вспышке искры такое движение не успевает произойти.



Рис. 142. На равные ли шесть отрезков разделена эта прямая?

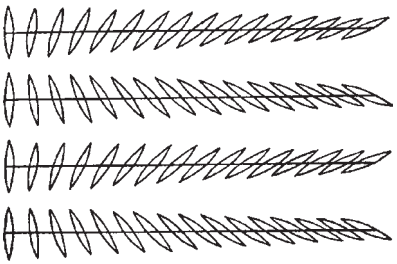


Рис. 143. Параллельные прямые кажутся непараллельными

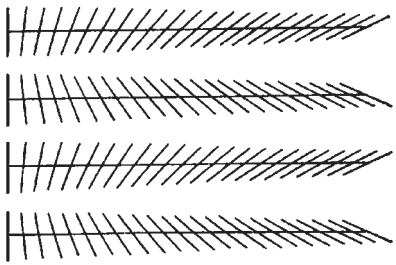


Рис. 144. Видоизменение иллюзии рис. 143

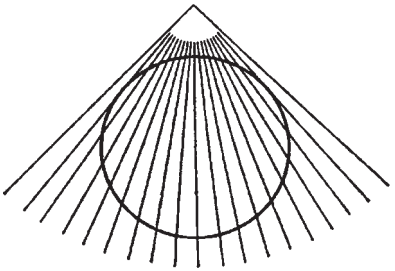


Рис. 145. Круг ли это?



Рис. 146. Иллюзия «курительной трубки». Правые черточки кажутся короче, нежели равные им левые

Вот не менее любопытная иллюзия. Взгляните на рис. 146 и скажите: какие черточки длиннее — те, что слева, или те, что в правой части?

Первые кажутся более длинными, хотя те и другие строго равны*. Иллюзия эта носит название иллюзии «курительной трубки».

Предлагалось много объяснений этих любопытных иллюзий, но они мало убедительны, и мы не станем приводить их здесь. Одно, по-видимому, несомненно: причина этих иллюзий кроется в бессознательном рассуждении, в невольном «лукавом мудрствовании» ума, мешающем нам видеть то, что есть в действительности**.

Что это?

При взгляде на рис. 147 вы едва ли сразу догадаетесь, что он изображает. «Просто черная сетка, ничего больше», — скажете вы. Но поставьте книгу отвесно на стол, отойдите шага на 3–4 и смотрите оттуда. Вы увидите человеческий *глаз*. Подойдите ближе, — перед вами снова появится ничего не выражающая сетка...

Вы, конечно, подумаете, что это какой-нибудь искусный «трюк» изобретательного гравера. Нет, это лишь грубый пример той иллюзии зрения, которой мы поддаемся всякий раз, когда рассматриваем так называемые тоновые иллюстрации, или «автотипии». В книгах

* Чертеж представляет собою, между прочим, иллюстрацию известного геометрического принципа Кавальери (площади, занятые обеими частями «курительной трубки», равны).

** Интересующихся зрительными иллюзиями позволю себе отослать к составленному мною маленькому альбому «Обманы зрения», где собрано свыше 60 образчиков разнообразных оптических иллюзий.

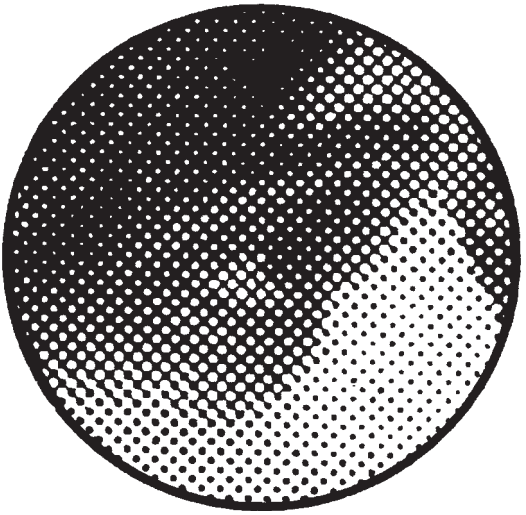


Рис. 147. Рассматривая эту сетку издали, легко различить на ней глаз и часть носа женского профиля, обращенного вправо

и журналах фон рисунка всегда кажется нам сплошным; но рассмотрите его в лупу, — и перед вами появится такая же сетка, какая изображена на рис. 147. Этот озадачивший вас рисунок представляет собой не что иное, как увеличенный раз в 10 участок обыкновенной тоновой иллюстрации. Разница лишь в том, что, когда сетка мелка, она сливается в сплошной фон уже на близком расстоянии — на том, на каком мы обыкновенно держим книгу при чтении. Когда же сетка крупна, слияние происходит на соответственно большем расстоянии.

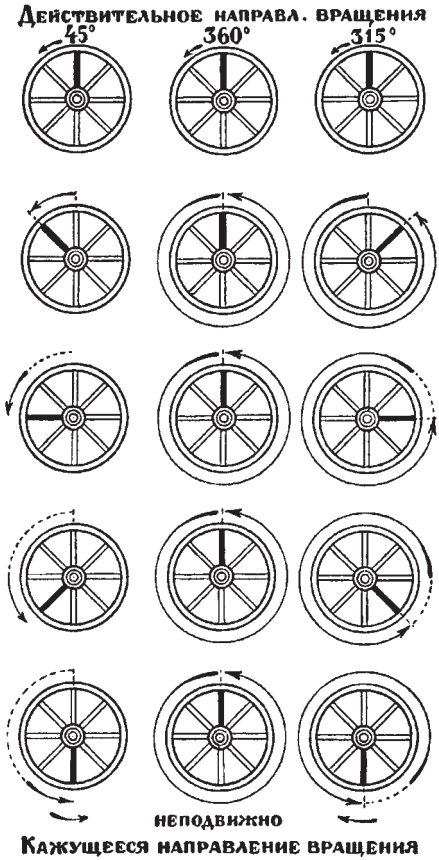
Необыкновенные колеса

Случалось ли вам через щели забора или, еще лучше, на полотне кинематографа следить за спицами колес быстро движущейся повозки или автомобиля? Вероятно, вы замечали при этом странное явление: автомобиль мчится с головокружительной быстротой, колеса же едва вертятся, а то и вовсе не вертятся. Мало того: они вращаются иной раз даже в противоположном направлении!

Эта иллюзия зрения так необычайна, что приводит в недоумение всех, кто замечает ее впервые.

Объясняется она следующим образом. Следя за вращением колеса через щели в заборе, мы видим колесные спицы не непрерывно, а через равные промежутки времени, так как доски забора каждое мгновение заслоняют их от нас. Точно так же и кинематографическая лента запечатлевает изображение колес с перерывами, в отдельные моменты (через 24-ю долю секунды). Здесь возможны *три случая*, которые мы сейчас и рассмотрим один за другим.

Во-первых, может случиться, что за время перерыва колесо успеет сделать *целое число оборотов* — безразлично сколько: 2 или 20, только бы число это было целое. Тогда спицы колеса на новом снимке займут то же положение, что и на прежнем. В следующий промежуток колесо сделает опять *целое* число оборотов (так как величина промежутка и скорость автомобиля не изменяются) — и положение спиц остается прежнее. Видя все время одно положение спиц, мы заключаем, что колесо вовсе не вертится (см. средний столбец рис. 148).



Второй случай. Колесо успевает в каждый промежуток сделать целое число оборотов и *еще часть оборота*, весьма небольшую. Наблюдая за сменой таких изображений, мы о целом числе оборотов не будем и догадываться, а увидим лишь медленное вращение колеса (каждый раз на небольшую долю оборота). В результате нам покажется, что, несмотря на быстрое перемещение автомобиля, колеса вращаются лениво.

Третий случай. В течение промежутка между съемками колесо делает неполный обо-

Рис. 148. Причина загадочного движения колес на кинематографических картинах

рот, отличающийся от полного на небольшую долю (например, поворачивается на 315°, как в третьем столбце рис. 148). Тогда какая-либо определенная спица будет казаться вращающейся *в обратном направлении*. Это обманчивое впечатление будет длиться до тех пор, пока колесо не изменит скорости вращения.

Остается внести маленькие дополнения в наше объяснение. В первом случае мы, ради простоты, говорили о числе *полных оборотов* колеса; но так как спицы колеса похожи одна на другую, то достаточно, чтобы колесо повернулось на целое число *промежутков* между спицами. То же относится и к другим случаям.

Возможны и еще курьезы. Если на ободе колеса имеется метка, спицы же все похожи друг на друга, то случается, что обод движется в одном направлении, спицы же бегут в *обратном*! Если же имеется метка на *спице*, то спицы могут двигаться в обратном направлении, нежели метка, — она будет словно перескакивать со спицы на спицу.

Когда в кинематографе показывают обыкновенные сцены, иллюзия эта мало вредит естественности впечатления. Но если хотят на экране объяснить действие какого-нибудь механизма, то этот обман зрения может породить серьезные недоразумения и даже совершенно извратить представление о работе машины.

Внимательный зритель, видя на экране мнимонеподвижное колесо мчащегося автомобиля, легко может, сосчитав его спицы, судить до некоторой степени о том, сколько оборотов делает оно в секунду. Обычная быстрота подачи ленты — 16 кадров в секунду. Если число спиц автомобильного колеса 12, то число его оборотов в секунду равно 16 : 12, т. е. $^4/_3$, или по одному целому обороту в $^3/_4$ секунды. Это наименьшее число оборотов; оно может быть и больше в целое число раз (т. е. вдвое, втрое и т. д.). Оценив величину диаметра колеса, можно делать заключения и о скорости движения автомобиля. Например, при диаметре колеса 80 см имеем в рассмотренном случае часовую скорость 12, или 24, или 36 км и т. д.

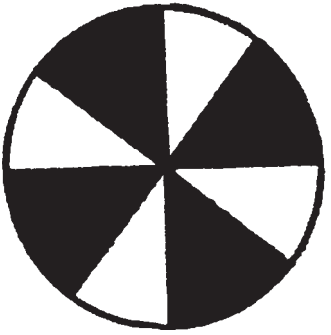


Рис. 149. Диск для определения скорости вращения двигателя

Рассмотренная сейчас иллюзия зрения используется техникой для подсчета числа оборотов быстро вращающихся валов. Объясним, на чем основан этот способ. Сила света лампы, питаемой переменным током, не остается

постоянной: через каждую 100-ю долю секунды свет ослабевает, хотя при обычных условиях мы никакого мерцания не замечаем. Но представим себе, что таким светом освещен вращающийся диск, изображенный на рис. 149. Если диск вертится так, что делает $^1/_4$ оборота в 100-ю долю секунды, то произойдет нечто неожиданное: вместо обычного ровного серого круга глаз увидит черные и белые секторы, словно бы диск оставался неподвижен.

Причина явления, надеюсь, понятна читателю, разобравшемуся в иллюзии с автомобильными колесами. Легко догадаться также, как возможно применить это явление для подсчета оборотов вращающегося вала.

«Микроскоп времени» в технике

В первой книге «Занимательной физики» описана «лупа времени», основанная на использовании киноаппарата. Здесь расскажем о другом способе достижения подобного же эффекта, опирающемся на явление, которое было рассмотрено в предыдущей статье.

Мы знаем уже, что, когда диск с зачерненными секторами (рис. 149), делающий 25 оборотов в секунду, освещается ежесекундно 100 вспышками лампы, он кажется глазу неподвижным. Представьте себе, однако, что число вспышек сделалось равным 101 в секунду. В течение промежутка между такими двумя последовательными учащенными вспышками диск не успеет повернуться, как прежде, на полную четверть оборота, и, значит, соответственный сектор не дойдет до первоначального положения.

Глаз увидит его отставшим на 100-ю долю окружности. При следующей вспышке он покажется отставшим еще на 100-ю долю окружности и т. д. Нам покажется, что диск вертится *назад*, делая один оборот в секунду. Движение замедлилось в 25 раз.

Нетрудно сообразить, как можно увидеть то же замедленное вращение, но не в обратную сторону, а в нормальном направлении. Для этого нужно число вспышек света не увеличить, а *уменьшить*. Например, при 99 вспышках в секунду диск покажется вращающимся вперед, делая один оборот в секунду.

Мы имеем здесь «микроскоп времени» с 25-кратным замедлением. Но вполне возможно получить еще большее замедление. Если, например, число вспышек доведено до 999 в 10 секунд (т. е. 99,9 в се-

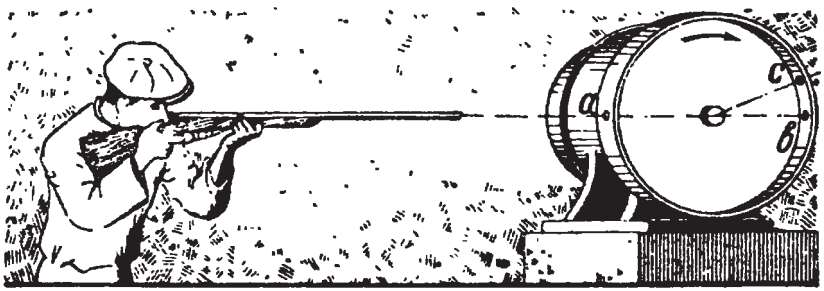


Рис. 150. Измерение скорости полета пули

кунду), диск будет казаться совершающим 1 оборот за 10 секунд; он имеет, значит, 250-кратное замедление.

Любое быстрое периодическое движение можно изложенным приемом замедлить для нашего глаза в желаемой степени. Это дает удобную возможность изучать особенности движения весьма быстрых механизмов, замедляя их движение нашим «микроскопом времени» в 100, в 1000 раз и т. д.

Опишем в заключение способ измерения скорости полета пули, основанный на возможности точно определять число оборотов вращающегося диска. На быстро вращающийся вал надевают картонный диск с зачерненными секторами и загнутыми краями, так что диск имеет форму открытой цилиндрической коробки (рис. 150). Стрелок пускает пулю вдоль диаметра этой коробки, пробивая ее стенку в двух местах. Если бы коробка была неподвижна, оба отверстия лежали бы на концах одного диаметра. Но коробка вращалась, и за то время, пока пуля летела от края до края, коробка успела немного повернуться, подставив пуле взамен точки *b* точку *c*. Зная число оборотов коробки и ее диаметр, можно по величине дуги *bc* вычислить скорость движения пули. Это несложная геометрическая задача, с которой без труда справятся читатели-математики.

Диск Нипкова

Замечательное техническое применение обмана зрения представляет так называемый диск Нипкова, употребляемый в современных телевизорных установках. На рис. 151, *а* вы видите сплошной круг, у краев которого разбросана дюжина дырочек с просветом 2 мм;

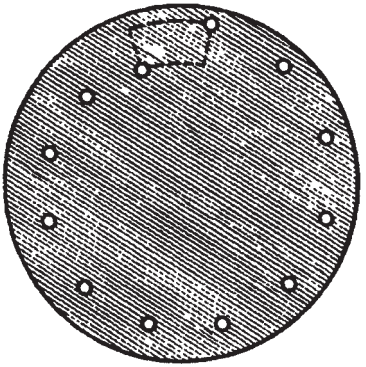


Рис. 151, *а*

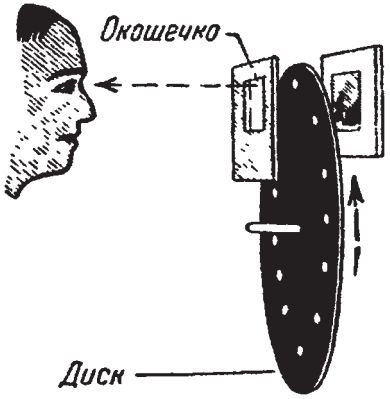


Рис. 151, *б*

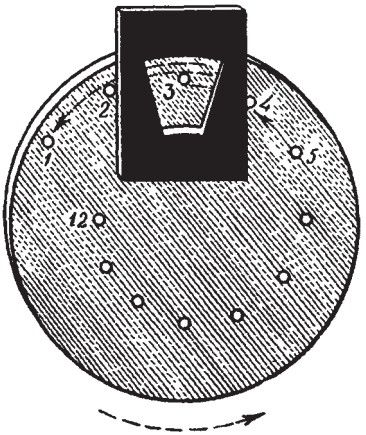


Рис. 151, *в*

дырочки расположены равномерно по спиральной линии, каждая на величину просвета ближе к центру, чем соседняя. Такой диск не обещает как будто ничего особенного. Но установите его на оси, устройте перед ним окошечко, а позади поместите таких же размеров картинку (рис. 151, *б*). Если теперь привести диск в быстрое вращение, то произойдет неожиданное явление: картинка, заслоняемая неподвижным диском, становится при его вращении отчетливо видимой в переднее окошечко. Замедлите вращение — картинка сделается смутной; и, наконец, при остановке диска она исчезает совершенно; теперь от картинки остается видимым лишь то, что можно рассмотреть сквозь крошечную двухмиллиметровую дырочку.

Разберемся, в чем секрет загадочного эффекта этого диска. Будем вращать диск медленно и проследим за прохождением последовательно каждой отдельной дырочки мимо окошечка. Самая удаленная от центра дырочка проходит близ верхнего края окошечка; если это движение быстро, она сделает видимой целую полоску картинки, прилегающую к ее верхнему краю. Следующая дырочка, пониже первой, при быстром прохождении в поле окошечка откроет вторую полоску

картинки, смежную с первой (рис. 151, *в*); третья дырочка сделает видимой третью полоску и т. д. При достаточно быстром вращении диска становится, благодаря этому, видимой вся картинка; против окошечка словно вырезается из диска соответствующее отверстие.

Диск Нипкова нетрудно изготовить самому; для быстрого его вращения можно пользоваться намотанным на его ось шнурком, — но лучше, конечно, прибегнуть к услугам маленького электромотора.

Почему заяц косой?

Человек — одно из немногих существ, глаза которых приспособлены к одновременному рассматриванию какого-нибудь предмета: поле зрения правого глаза лишь немного не совпадает у него с полем зрения левого глаза.

Большинство же животных смотрит каждым глазом отдельно. Видимые ими предметы не отличаются той рельефностью, к которой мы привыкли, но зато поле их зрения гораздо обширнее, чем у нас. На рис. 152 наглядно изображено поле зрения человека: каждый глаз видит — по горизонтальному направлению — в пределах угла 120°, и оба угла почти покрывают друг друга (глаза предполагаются неподвижными).

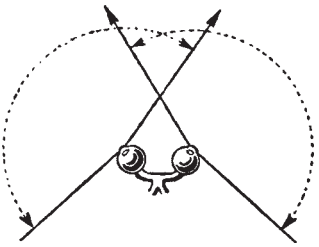


Рис. 152. Поле зрения обоих глаз человека

Сравните этот чертеж с рис. 153, изображающим поле зрения зайца; не поворачивая головы, заяц своими расставленными глазами видит не только то, что находится впереди, *но и то, что позади*. Оба поля зрения его глаза смыкаются и спереди, и сзади! Теперь вам понятно, почему так трудно подкрасться к зайцу, не спугнув его. Зато заяц, как ясно из чертежа, совершенно не видит того, что расположено *непосредственно* перед его мордой; ему приходится, чтобы увидеть весьма близкий предмет, повертывать голову набок.

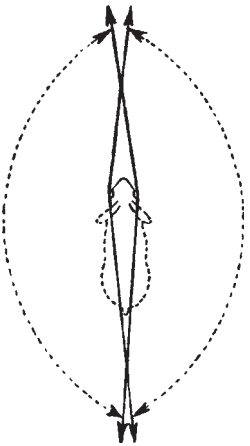


Рис. 153. Поле зрения обоих глаз зайца

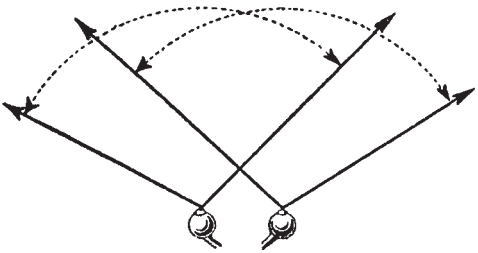


Рис. 154. Поле зрения обоих глаз лошади

Почти все без исключения копытные и жвачные животные обладают такою способностью «всестороннего» зрения. На рис. 154 показано расположение полей зрения лошади: они позади не сходятся, но животному достаточно лишь слегка повернуть голову, чтобы увидеть предметы, расположенные позади. Зрительные образы здесь, правда, не так отчетливы, но зато от животного не ускользает ни малейшее движение, совершающееся далеко кругом. Подвижные хищные животные, которым приходится обычно самим быть нападающей стороной, лишены этой способности видеть кругом себя; они обладают «двуглазым» зрением, позволяющим зато точно оценивать расстояние для прыжка.

Почему в темноте все кошки серы?

Физик сказал бы: «В темноте все кошки *черны*», потому что при отсутствии освещения никакие предметы не видны вовсе. Но поговорка имеет в виду не полный мрак, а темноту в обиходном смысле слова, т. е. весьма слабое освещение. Первоначальный, непереносный смысл поговорки тот, что при недостаточном освещении глаз наш перестает различать окраску — каждая поверхность кажется серой.

Верно ли это? Действительно ли в полутьме и красный флаг, и зеленая листва представляются одинаково серыми? Легко убедиться в правильности этого утверждения. Кто в сумерки приглядывался к окраске предметов, тот замечал, конечно, что цветовые различия стираются и все вещи кажутся более или менее темно-серыми: и красное одеяло, и синие обои, и фиолетовые цветы, и зеленые листья.

«Сквозь опущенные шторы, — читаем мы у Чехова („Письмо“), — сюда не проникали солнечные лучи, было сумеречно, так что все розы в большом букете казались одного цвета».

Точные физические опыты вполне подтверждают это наблюдение. Если окрашенную поверхность освещать слабым белым светом (или белую поверхность — слабым окрашенным светом), постепенно усиливая освещение, то глаз сначала видит просто серый цвет, без какого-либо цветового оттенка. И лишь когда освещение усиливается до определенной степени, глаз начинает замечать, что поверхность окрашена. Эта степень освещения называется низшим порогом цветового ощущения.

Итак, буквальный и вполне правильный смысл поговорки (существующей на многих языках) тот, что ниже порога цветового ощущения все предметы кажутся серыми.

Физика обнаружила, что существует и высший порог цветового ощущения. При чрезвычайно ярком освещении глаз снова перестает различать цветовые оттенки: все окрашенные поверхности одинаково кажутся *белыми*.

Существуют ли лучи холода?

Распространено мнение, будто наряду с лучами греющими существуют и лучи холодящие, лучи холода. На мысль о них наводит тот, например, факт, что кусок льда распространяет вокруг себя холод совершенно так же, как печка создает кругом себя теплоту. Разве не говорит это о том, что от льда исходят лучи холода, как от печки исходят греющие лучи?

Нет, подобное толкование ошибочно. Лучей холода не существует. Вещи в соседстве со льдом становятся холоднее не под действием «лучей холода», а потому, что теплые вещи теряют путем лучеиспускания больше тепла, чем сами получают от льда. И теплая вещь, и холодный лед испускают путем излучения теплоту; вещь, нагретая сильнее, чем лед, отдает теплоты больше, чем получает. Приход тепла меньше расхода — и вещь охлаждается.

Существует эффектный опыт — он показывается в Доме занимательной науки в Ленинграде, — который также может навести на мысль о лучах холода. У двух противоположных стен длинного зала установлены большие вогнутые зеркала. Если близ одного зеркала,

в так называемом фокусе его, поместить сильный источник тепла, то испускаемые им лучи, отразившись от зеркала, направляются ко второму зеркалу, вновь отражаются и сосредоточиваются им в одной точке — в «фокусе»; темная бумага, помещенная в этом месте, загорается. Это наглядно свидетельствует о существовании греющих лучей. Но если вместо источника тепла поместить в фокусе первого зеркала кусок льда, то окажется, что термометр, находящийся в фокусе второго зеркала, обнаружит здесь холод. Но значит ли это, что лед испускает холодные лучи, отражающиеся от зеркал и сосредоточивающиеся на шарике термометра?

Нет, и в этом случае можно объяснить явление без таинственных лучей холода. Шарик термометра путем излучения отдает льду больше теплоты, чем сам получает от льда; поэтому ртуть в нем охлаждается. Итак, здесь также нет причины допускать существование холодящих лучей. Никаких лучей холода в природе нет: все роды лучей сообщают энергию, а не отнимают ее.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

ЗВУК — ВОЛНООБРАЗНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Звук и радиоволны

Звук распространяется примерно в миллион раз медленнее света; а так как скорость радиоволн совпадает со скоростью световых колебаний, то звук в миллион раз медленнее радиосигнала. Отсюда вытекает любопытное следствие, сущность которого выясняется задачей: кто раньше услышит первый аккорд пианиста — посетитель концертного зала, сидящий в 10 м от рояля, или радиослушатель у аппарата, принимающий игру пианиста у себя на квартире, в 100 км от зала?

Как ни странно, радиослушатель услышит аккорд раньше, чем посетитель концертного зала, хотя первый сидит в 10 000 раз дальше от музыкального инструмента. В самом деле: радиоволны пробегают 100-километровое расстояние в

$$\frac{100}{300\,000} = \frac{1}{3000}\text{ с.}$$

Звук же проходит 10-метровое расстояние в

$$\frac{10}{340} = \frac{1}{34}\text{ с.}$$

Как видим, передача по радио требует почти в сто раз меньше времени, чем передача звука через воздух.

Звук и пуля

Когда пассажиры жюль-верновского снаряда полетели на Луну, они были озадачены тем, что не слышали звука выстрела колоссальной пушки, извергнувшей их из своего жерла. Иначе и быть не могло. Как бы оглушителен ни был грохот, скорость распространения его

(как и вообще всякого звука в воздухе) равнялась всего лишь 340 м/с, — снаряд же несся со скоростью 11 000 м/с. Понятно, что гром выстрела не мог достичь ушей пассажиров: снаряд обогнал звук.

А как обстоит дело с настоящими, не фантастическими снарядами и пулями: движутся ли они быстрее звука, или, напротив, звук перегоняет их и предупреждает жертву о приближении смертоносного снаряда?

Современные винтовки сообщают пулям при выстреле скорость почти втрое бóльшую, чем скорость звука в воздухе, — именно около 900 м/с (скорость звука при 0° равна 332 м/с). Правда, звук распространяется равномерно, пуля же летит, замедляя быстроту своего полета. Однако в течение большей части пути пуля все же движется быстрее звука. Отсюда прямо следует, что если во время перестрелки вы слышите звук выстрела или свист пули, то можете не беспокоиться: *эта пуля* уже *миновала вас*. Пуля перегоняет звук выстрела, и если пуля поразит свою жертву, то последняя будет убита раньше, чем звук выстрела достигнет ее уха.

Мнимый взрыв

Состязание в скорости между летящим телом и производимым им звуком заставляет нас иногда невольно делать ошибочные заключения, подчас совершенно не отвечающие истинной картине явления.

Любопытный пример представляет болид (или пушечный снаряд), пролетающий высоко над нашей головой. Болиды, проникающие в атмосферу нашей планеты из мирового пространства, обладают огромной скоростью, которая, даже будучи уменьшена сопротивлением атмосферы, все же *в десятки раз больше скорости звука*. Прорезая и накаляя воздух, болиды нередко производят шум, напоминающий гром. Вообразите, что мы находимся в точке *C* (рис. 155), а вверху над нами по линии *AB* летит болид. Звук, производимый болидом в точке *A*, дойдет до нас (в *C*) только тогда, когда сам болид успеет уже переместиться в точку *B*; так как болид летит гораздо быстрее звука, то он может успеть дойти до некоторой точки *D* и отсюда послать нам звук раньше, чем дойдет до нас звук из точки *A*. Поэтому мы услышим сначала звук из точки *D* и лишь потом звук из точки *A*. И так как из точки *B* звук придет к нам тоже позже, чем из точки *D*, то где-то над нашей головой должна быть такая точка *K*,

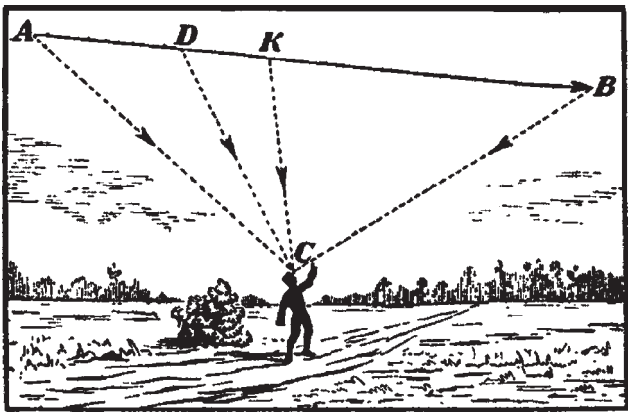


Рис. 155 Мнимый взрыв болида

находясь в которой болид подает свой звуковой сигнал раньше всего. Любители математики могут вычислить положение этой точки, если зададутся определенным отношением скорости болида и звука.

Вот результат: то, что мы *услышим*, будет вовсе не похоже на то, что мы *увидим*. Для глаза болид появится прежде всего в точке *A* и отсюда пролетит по линии *AB*. Но для уха болид появится прежде всего где-то над нашей головой в точке *K*, затем мы услышим в одно время два звука, затихающие по противоположным направлениям — от *K* к *A* и от *K* к *B*. Другими словами, мы услышим, как болид словно распался на две части, которые унеслись в противоположные стороны. Между тем в действительности никакого взрыва не происходило. Вот до чего обманчивы могут быть слуховые впечатления! Возможно, что многие засвидетельствованные «очевидцами» взрывы болидов — именно такого рода обманы слуха.

Счастливая случайность

Если бы звук распространялся в воздухе не со скоростью 340 м/с, а гораздо медленнее, то обманчивые слуховые впечатления наблюдались бы гораздо чаще.

Вообразите, например, что звук пробегает в секунду не 340 м, а, скажем, 340 мм, т. е. движется медленнее пешехода. Сидя в кресле, вы слушаете рассказ вашего знакомого, который имеет привычку

говорить, расхаживая взад и вперед по комнате. При обыкновенных обстоятельствах это расхаживание нисколько не мешает вам слушать; но при уменьшенной скорости звука вы ровно ничего не поймете из речи вашего гостя: звуки, прежде произнесенные, будут догонять новые и перемешиваться с ними — получится путаница звуков, лишенная всякого смысла.

Между прочим, в те моменты, когда гость к вам приближается, звуки его слов будут достигать до вас в *обратном порядке*: сначала достигнут до вас звуки, только что произнесенные, потом звуки, произнесенные ранее, затем — еще ранее и т. д., потому что произносящий обгоняет свои звуки и находится все время впереди них, продолжая издавать новые. Из всех фраз, произнесенных при подобных условиях, вы могли бы понять разве только ту, которою великовозрастный бурсак некогда изумил юного Карася из «Бурсы» Помяловского*:

Я ИДУ С МЕЧОМ, СУДИЯ.

Мы должны быть благодарны судьбе за ту счастливую случайность, что звук пробегает в воздухе каждую секунду сотни метров: при значительно меньшей скорости нам, быть может, пришлось бы отказаться от устной речи.

Самый медленный разговор

Если вы думаете, однако, что истинная скорость звука в воздухе — треть километра в секунду — всегда достаточная быстрота, то сейчас измените свое мнение.

Вообразите, что между Москвой и Ленинградом вместо электрического телефона устроена обыкновенная говорная труба вроде тех телефонов, которыми соединяли раньше отдельные помещения больших магазинов. Вы стоите у ленинградского конца этой 650-километровой трубы, а ваш друг — у московского. Задаете вопрос и ожидаете ответа. Проходит пять, десять, пятнадцать минут — ответа нет. Вы начинаете беспокоиться и думаете, что с собеседником случилось несчастье. Но опасения напрасны: вопрос *еще не дошел до Москвы* и находится теперь только на половине пути. Пройдет еще четверть

* Строго говоря, это не вполне верно: мы произносим в один прием не отдельные буквы, а целые слоги. Фраза будет слышна приблизительно так: я ди-су м-чо-мес ду-и-я.

часа, прежде чем ваш знакомый в Москве услышит вопрос и сможет дать ответ. Но и его реплика будет идти из Москвы в Ленинград не менее получаса, так что ответ на свой вопрос вы получите только спустя час.

Можете проверить расчет: от Ленинграда до Москвы 650 км; звук проходит в секунду $^1/_3$ км; значит, расстояние между городами он пробежит за 2160 с лишним секунд, или за 35 минут с небольшим. При таких условиях, разговаривая целый день с утра до вечера, вы едва успеете обменяться десятком фраз.

Скорейшим путем

Было, впрочем, время, когда даже и такой способ передачи известий считался бы очень быстрым. Сто лет назад никто еще не мечтал об электрическом телеграфе и телефоне, и передача новости за 650 км в течение нескольких часов признавалась бы идеалом быстроты.

Рассказывают, что при короновании царя Павла I извещение о моменте начала церемонии в Москве было передано в Северную столицу следующим образом. Вдоль всего пути между обеими столицами были расставлены солдаты, в 200 м один от другого; при первом ударе колокола собора ближайший солдат выстрелил в воздух; его сосед, услышав сигнал, также немедленно разрядил ружье; за ним стрелял третий часовой, — и таким образом сигнал был передан в Ленинград (тогда Петербург) в течение всего трех часов. Спустя три часа после первого удара московского колокола уже грохотали пушки Петропавловской крепости, на расстоянии 650 км.

Если бы звон московских колоколов мог быть непосредственно услышан в Ленинграде, то звук этот, как мы уже знаем, пришел бы в Северную столицу с опозданием всего на полчаса. Значит, из трех часов, употребленных на передачу сигнала, $2^1/_2$ часа ушло на то, что солдаты воспринимали звуковое впечатление и делали необходимые для выстрела движения: как ни ничтожно это промедление, все же из тысяч таких маленьких промежутков накопилось $2^1/_2$ часа.

Сходным образом действовал в старину оптический телеграф, передававший световые сигналы до ближайшей станции, которая в свою очередь передавала их далее. Системой световой передачи сигналов нередко пользовались в царское время революционеры для охраны собраний подпольщиков: цепь революционеров протягива-

лась от места собрания до помещения полиции и при первых тревожных признаках давала об этом знать собранию вспышками карманных электрических фонариков.

Барабанный телеграф

Передача известий посредством звуковых сигналов и теперь еще распространена у первобытных обитателей Африки, Центральной Америки и Полинезии. Первобытные племена употребляют для этой цели особые барабаны, с помощью которых передают звуковые сигналы на огромное расстояние: условный сигнал, услышанный в одном месте, повторяется в другом, передается таким же образом далее — и в короткое время обширная область уведомляется о какомлибо важном событии (рис. 156).

Во время первой войны Италии с Абиссинией все передвижения итальянских войск быстро становились известными негусу Менелику; обстоятельство это приводило в недоумение итальянский штаб, не подозревавший о существовании у противника барабанного телеграфа.

В начале второй войны Италии с Абиссинией подобным же образом был опубликован изданный в Аддис-Абебе приказ о всеобщей мобилизации: через несколько часов он сделался известен в самых отдаленных селениях страны.

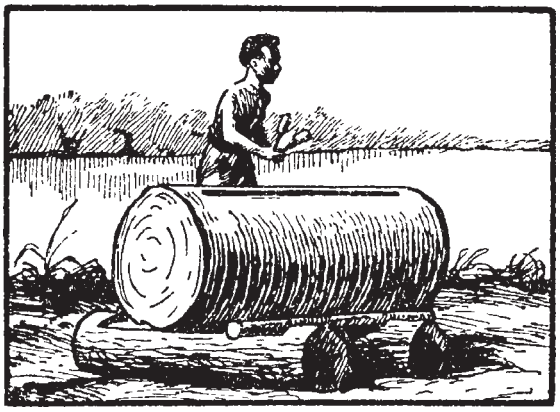


Рис. 156. Туземец островов Фиджи, переговаривающийся с помощью барабанного телеграфа

То же самое наблюдалось и во время Англо-бурской войны: благодаря «телеграфу» кафров все военные известия с необыкновенной быстротой распространялись среди обитателей Капленда, на несколько суток опережая официальные донесения через курьеров.

По свидетельству путешественников (Лео Фробениус), система звуковых сигналов разработана у некоторых африканских племен так хорошо, что их можно считать обладателями телеграфа более совершенного, чем оптический телеграф европейцев, предшествовавший электрическому.

Вот что сообщалось об этом в одном журнале. Р. Гасельден, археолог Британского музея, находился в городе Ибада, расположенном в глубине Нигерии. Постоянный глухой барабанный бой непрерывно гудел днем и ночью. Однажды утром ученый услышал, что аборигены о чем-то оживленно переговариваются. На его расспросы один сержант ответил: «Большой корабль белых людей потонул; много белых погибло». Таково было известие, сообщенное на барабанном языке с побережья. Ученый не придал этому слуху никакого значения. Однако через три дня он получил запоздавшую (вследствие перерыва сообщения) телеграмму о гибели «Лузитании». Тогда он понял, что негритянское известие было верно и что оно «прогремело» на барабанном языке через все земли от Каира до Ибады. Это было тем более удивительно, что племена, передавшие друг другу это сообщение, говорят на совершенно различных наречиях и некоторые из них в это время вели войны друг с другом.

Звуковые облака и воздушное эхо

Звук может отражаться не только от твердых преград, но и от таких нежных образований, как облака. Более того: даже совершенно прозрачный воздух может при некоторых условиях отражать звуковые волны — именно в том случае, когда он, по способности проводить звук, отличается почему-либо от остальной массы воздуха. Здесь происходит явление, сходное с тем, что в оптике называется полным внутренним отражением. Звук отражается от невидимого препятствия, и мы слышим загадочное эхо, идущее неизвестно откуда.

Тиндаль случайно открыл этот любопытный факт, когда производил опыты со звуковыми сигналами на берегу моря. «От совершенно прозрачного воздуха получалось эхо, — пишет он. — Эхо шло к нам, словно по волшебству, от невидимых звуковых облаков».

Звуковыми облаками знаменитый английский физик называл те участки прозрачного воздуха, которые задерживают звук и заставляют его отражаться, порождая «эхо от воздуха». Вот что говорит он по этому поводу:

> «Звуковые облака постоянно плавают в воздухе. Они не имеют ни малейшего отношения к обыкновенным облакам, к туману или мгле. Самая прозрачная атмосфера может быть полна ими. Таким образом могут получаться воздушные эхо; вопреки господствующему мнению, они могут происходить и при самой ясной атмосфере. Существование таких воздушных эхо доказано наблюдениями и опытом. Они могут порождаться воздушными токами, различно нагретыми или содержащими различное количество пара».

Существование звуковых облаков, непрозрачных для звука, объясняет нам некоторые загадочные явления, иногда наблюдаемые во время сражений. Тиндаль приводит следующий отрывок из воспоминаний очевидца о Франко-прусской войне 1871 г.:

> «Утро 6-го числа представляло полную противоположность с вчерашним утром. Вчера был пронизывающий холод и туман, не позволявший ничего видеть далее полумили. А 6-го было ясно, светло и тепло. Вчера воздух был наполнен звуками, а сегодня царствовала тишина Аркадии, не знающей войн. Мы с изумлением смотрели друг на друга. Неужели бесследно исчез Париж, его форты, орудия, бомбардировка?.. Я поехал в Монморанси, откуда моим глазам открылась обширная панорама северной стороны Парижа. Однако и здесь была мертвая тишина... Я встретил трех солдат, и мы начали обсуждать положение вещей. Они готовы были допустить, что начались переговоры о мире, так как с самого утра не слышали ни одного выстрела...
>
> Я отправился дальше в Гонесс. С изумлением узнал я, что германские батареи энергично стреляли с 8 часов утра. На южной стороне бомбардировка началась около того же часа. Однако в Монморанси мы не слышали ни единого звука!.. Все это зависело от воздуха: сегодня он проводил звук так же дурно, как хорошо проводил вчера».

Сходные явления не раз наблюдались и во время больших сражений 1914–1918 гг.

Беззвучные звуки

Есть люди, которые не слышат таких резких звуков, как пение сверчка или писк летучей мыши. Люди эти не глухи — их органы слуха в исправности, и все же они не слышат очень высоких тонов.

Тиндаль — знаменитый английский физик — утверждал, что некоторые люди не слышат даже чириканья воробья!

Вообще, наше ухо воспринимает далеко не все колебания, происходящие близ нас. Если тело совершает в секунду менее 16 колебаний, мы звука не слышим. Если оно совершает более 15–22 тыс. колебаний, мы тоже не слышим его. Верхняя граница восприятия тонов у разных лиц различна; у старых людей она понижается до 6 тыс. колебаний в секунду. Поэтому и происходит то странное явление, что пронзительный высокий тон, отчетливо слышимый одним лицом, для другого словно не существует. Многие насекомые (например, комар, сверчок) издают звуки, тон которых отвечает 20 тыс. колебаний в секунду; для одних ушей эти тона существуют, для других — нет. Такие нечувствительные к высоким тонам люди наслаждаются полной тишиной там, где другие слышат целый хаос пронзительных звуков. Тиндаль рассказывает, что наблюдал однажды подобный случай во время прогулки в Швейцарии со своим другом:

> «Луга по обеим сторонам дороги кишели насекомыми, которые для моего слуха наполняли воздух своим резким жужжанием, но мой друг ничего этого не слышал: музыка насекомых лежала вне границы его слуха».

Писк летучей мыши целой октавой ниже пронзительного пения насекомых, т. е. колебания воздуха при этом вдвое менее часты. Но попадаются люди, для которых граница восприятия тонов лежит еще ниже, и летучие мыши для них — существа безгласные.

Напротив, собаки, как установлено в лаборатории академика Павлова, воспринимают тона с числом колебаний до 38 тыс в секунду.

Сверхзвуки на службе техники

Физика и техника наших дней обладают средством создавать «беззвучные звуки» гораздо большей частоты, чем те, о которых мы сейчас говорили: число колебаний достигает в этих «сверхзвуках» до 700 000 в секунду. Такой «тон» примерно на 18 октав выше самого высокого «ля» рояля — тона, дающего 3480 колебаний в секунду.

Получение ультразвуковых колебаний основано на свойстве пластинок, определенным образом вырезанных из кристалла кварца, при сжатии электризоваться на своих поверхностях*; если же, наоборот, заряжать периодически поверхности такой пластинки, то под

* Это свойство кристаллов называется пьезоэлектричеством.

действием электрических зарядов она попеременно сжимается и расширяется, т. е. колеблется: получаются ультразвуковые колебания. Заряжают же пластинку с помощью употребляемого в радиотехнике лампового генератора, частота которого подбирается в соответствии с так называемым собственным периодом колебаний пластинки.

Хотя ультразвуки безмолвны для нас, они обнаруживают свое действие иными, весьма ощутимыми проявлениями. Если, например, колеблющуюся пластинку погрузить в сосуд с маслом, то на поверхности жидкости, охваченной ультразвуковыми колебаниями, вспучивается горка в 10 см высоты, а масляные капельки разбрызгиваются до высоты 40 см. Погрузив в такую масляную ванну конец стеклянной трубки в метр длиной, мы ощутим в руке, держащей другой конец, сильнейший ожог, оставляющий следы на коже. Соприкасаясь с деревом, конец трубки, находящийся в состоянии колебания, прожигает отверстие; энергия ультразвуков превращается в тепловую. Высокие колебания применяются для уплотнения бетона и т. д.

Сверхзвуки тщательно изучаются сейчас советскими и зарубежными исследователями. Эти колебания оказывают сильное действие на живой организм: нити водорослей разрываются, животные клеточки лопаются, кровяные тельца разрушаются; мелкие рыбы и лягушки умерщвляются сверхзвуками за 1–2 мин; температура тела испытуемых животных повышается — у мыши, например, до 45 °С. Со временем сверхзвуковые колебания будут, вероятно, играть немаловажную роль в медицине; неслышные ультразвуки разделят судьбу невидимых ультрафиолетовых лучей, придя на помощь врачеванию.

Техника использует сверхзвуки уже и в настоящее время. С помощью их в туманную погоду корабли получают с берега предостерегающие подводные сигналы. В английском и американском флотах ими пользуются для обнаружения неприятельских подводных лодок.

Особенно успешно применяются ультразвуки в металлургии для обнаружения неоднородностей, раковин, трещин и т. п. недостатков в толще металла. Метод «просвечивания» металла ультразвуком, разработанный нашей центральной радиолабораторией, состоит в том, что испытуемый металл смачивают маслом и подвергают действию сверхзвуковых колебаний. Звук рассеивается неоднородными участками металла, которые отбрасывают как бы звуковую тень; очертание неоднородностей так четко вырисовывается на фоне равномерной ряби, покрывающей масляный слой, что получающуюся картину можно даже сфотографировать.

«Просветить» сверхзвуком можно металлическую толщу в целый метр и более — что совершенно недоступно для рентгеновского просвечивания; при этом обнаруживаются неоднородности весьма мелкие — до одного миллиметра. Несомненно — перед сверхзвуковыми колебаниями большая перспектива.

Голоса лилипутов и Гулливера

В советском фильме «Новый Гулливер» лилипуты говорят высокими голосами, соответствующими маленьким размерам их гортани, а великан — Петя — низким голосом. При съемке говорили за лилипутов взрослые артисты, а Петю играл ребенок; как же было достигнуто требуемое изменение в тоне голоса? Я был немало удивлен, когда режиссер Птушко сказал мне, что исполнители говорили при съемке своими естественными голосами; изменение же тона достигалось в процессе съемки оригинальным приемом, основанном на физических особенностях звука.

Чтобы сделать голоса лилипутов высокими, а голос Гулливера — низким, режиссер фильма записывал голоса артистов, игравших лилипутов, при *замедленном* движении ленты, голос же Пети, напротив, при *ускоренном* ее движении. На экран картина проектируется с нормальною скоростью. Нетрудно понять, что должно вследствие этого получиться. Голоса лилипутов воспринимаются слушателем при *учащенном* против нормального чередовании звуковых колебаний; от этого тон их должен *повыситься*. Голос же Пети, напротив, воспринимается при *замедленном* чередовании колебаний и, значит, должен *понизиться* в тоне. В итоге лилипуты в «Новом Гулливере» говорят голосом, на квинту *выше* голоса нормального взрослого человека, а сам Гулливер — Петя — на квинту *ниже* нормального тона.

Так своеобразно использована была «лупа времени» для звука.

Для кого ежедневная газета выходит дважды в день?

Сейчас мы займемся задачей, которая на первый взгляд никакого отношения ни к звуку, ни вообще к физике не имеет. Тем не менее я попрошу вас уделить ей минуту внимания: она поможет вам легче уяснить себе дальнейшее.

Вероятно, вы уже встречались с этой задачей в одном из ее многочисленных видоизменений. Из Ленинграда во Владивосток каждый полдень выходит поезд. И каждый полдень из Владивостока в Ленинград также выходит поезд. Переезд длится, положим, 20 дней. Спрашивается: сколько поездов дальнего следования встретится вам во время путешествия из Владивостока в Ленинград?

Чаще всего отвечают: 20. Так ответили даже некоторые ученые, когда на съезде математиков один из них за завтраком предложил эту задачу остальным. Однако ответ неправилен: вы встретите не только 20 поездов, которые выйдут из Ленинграда *после* вашего отбытия, но и те 20, которые к моменту вашего отъезда *уже находились в пути*. Следовательно, правильный ответ 40, а не 20.

Далее. Каждый ленинградский поезд везет с собою свежие номера газет. И если вы интересуетесь новостями из Ленинграда, вы, конечно, будете на станциях усердно покупать газеты. Сколько же свежих номеров каждой газеты купите вы за 20 дней пути?

Вас теперь не затруднит правильный ответ: 40. Ведь каждый встречаемый вами поезд везет новые номера, а так как вы встретите 40 поездов, то и номеров прочтете тоже 40. Но путешествуете вы всего 20 дней, — значит, *вы будете читать ежедневную газету дважды в день*!

Вывод немного неожиданный, и вы, вероятно, не сразу поверили бы ему, если бы вам не случалось на практике убеждаться в его правильности. Вспомните хотя бы, что во время двухдневного переезда из Севастополя в Ленинград вы успевали прочитать ленинградские газеты не за *два*, а за *четыре* дня: те два номера, которые уже вышли в Ленинграде к моменту вашего отъезда, да еще два номера, которые выходят в свет в течение двух дней пути.

Итак, вы знаете уже, для кого ежедневные столичные газеты выходят дважды в день: для пассажиров всех поездов, едущих в столицу.

Задача о паровозных свистках

Если вы обладаете развитым музыкальным слухом, то заметили, вероятно, как изменяется тон (не громкость, а именно *тон*, его высота) паровозного свистка, когда встречный поезд проносится мимо вашего. Пока оба поезда сближались, тон был заметно *выше* того, который слышится вам, когда поезда удаляются друг от друга. Если

поезда идут быстро (50 км/ч), то разница в высоте звука достигает почти целого тона.

Отчего же это происходит?

Вам нетрудно будет догадаться о причине, если вы вспомните, что высота тона зависит от числа колебаний в единицу времени; сопоставьте же это с тем, что вы узнали при обсуждении предыдущей задачи. Свисток встречного паровоза все время испускает один и тот же звук, с определенной частотой. Но ваше ухо воспринимает различное число колебаний в зависимости от того, едете ли вы навстречу, стоите ли на месте или удаляетесь от источника колебаний.

И подобно тому, как, едучи в Ленинград, вы читаете ежедневную газету чаще раза в день, так и здесь, приближаясь к источнику звука, вы улавливаете колебания *чаще, чем они исходят из свистка локомотива*. Но здесь вы уже *не рассуждаете*: ваше ухо получает увеличенное число колебаний, и вы непосредственно слышите *повышенный тон*. Удаляясь, вы получаете меньшее число колебаний — и слышите *пониженный тон*.

Если это объяснение не окончательно убедило вас, попробуйте непосредственно проследить (конечно, мысленно) за тем, как распространяются звуковые волны от свистка паровоза. Рассмотрите сначала *неподвижный* паровоз (рис. 157). Свисток производит воздушные

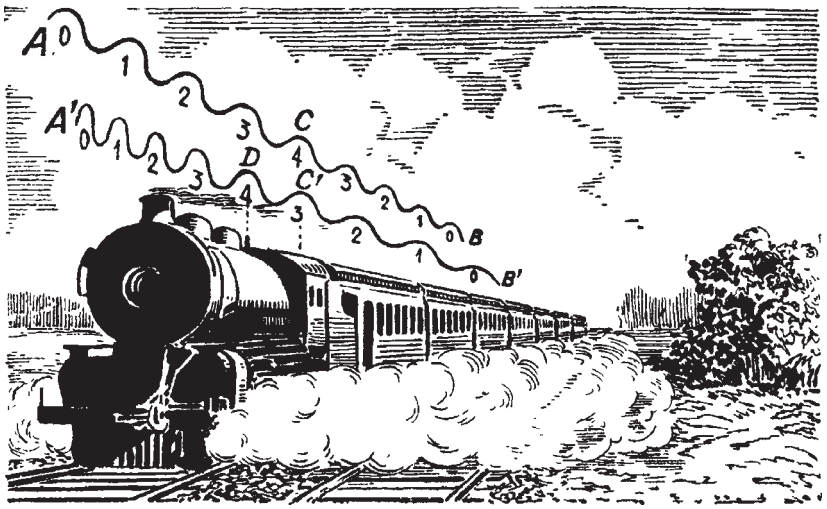


Рис. 157. Задача о паровозных свистках. Вверху — звуковые волны, испускаемые неподвижным паровозом, внизу — движущимся

волны, и мы рассмотрим для простоты только четыре волны (см. верхнюю волнистую линию): от неподвижного паровоза они успеют распространиться в какой-нибудь промежуток времени на одно и то же расстояние по всем направлениям. Волна № 0 дойдет до наблюдателя A через столько же времени, как и до наблюдателя B; затем до обоих наблюдателей одновременно дойдут волны № 1 и 2, потом № 3 и т. д. Уши обоих наблюдателей в секунду получают одинаковое число толчков, и потому оба услышат один и тот же тон.

Другое дело, если свистящий паровоз *движется* от B к A (нижняя волнистая линия). Пусть в некоторый момент свисток находится в точке C', а за время, когда он испустил четыре волны, он уже успел дойти до точки D.

Теперь сравните, как будут распространяться звуковые волны. Волна № 0, вышедшая из точки C', дойдет одновременно до обоих наблюдателей A' и B'. Но четвертая волна, образовавшаяся в точке D, дойдет до них уже не одновременно: путь DA' меньше пути DB', и, следовательно, к A' она дойдет раньше, чем к B'. Промежуточные волны — № 1 и 2 — также придут в B' позже, чем в A', но промедление будет меньшее. Что же получается? Наблюдатель в точке A' будет *чаще* воспринимать звуковые волны, нежели наблюдатель в точке B': первый услышит *более высокий тон*, нежели второй. Вместе с тем — как легко видеть из чертежа — длина волн, бегущих в направлении к точке A', будет соответственно короче волн*, идущих к B'.

Явление Доплера

Явление, которое мы только что описали, открыто было физиком Доплером и навсегда осталось связанным с именем этого ученого. Оно наблюдается не только для звука, но и для световых явлений, потому что свет тоже распространяется волнами. Учащение волн (воспринимаемое в случае звуковых волн как повышение тона) кажется глазу изменением *цвета*. Правило Доплера дает астрономам чудесную возможность не только открывать, приближается ли звезда к нам или удаляется, но позволяет даже измерить скорость этого перемещения.

* Необходимо иметь в виду, что волнообразные линии на рисунке вовсе не изображают формы звуковых волн: колебание частиц в воздухе происходит вдоль направления звука, а не поперек. Волны изображены здесь поперечными только ради наглядности.

Помощь астроному оказывает при этом боковое смещение темных линий, прорезывающих полосу спектра. Внимательное изучение того, в какую сторону и насколько сдвинулись темные линии в спектре небесного светила, позволило астрономам сделать целый ряд изумительных открытий. Так, благодаря явлению Доплера мы знаем теперь, что яркая звезда Сириус каждую секунду удаляется от нас на 75 км! Эта звезда находится от нас на таком неимоверно огромном расстоянии, что удаление даже на миллиарды километров не изменяет заметно ее видимой яркости. Мы, вероятно, никогда не узнали бы о движении этого светила, если бы нам не помогло явление Доплера.

С поразительною наглядностью сказывается на этом примере то, что физика есть наука поистине *всеобъемлющая*. Установив закон для *звуковых* волн, достигающих в длину нескольких метров, она применяет его к исчезающе маленьким *световым* волнам, длиною всего в несколько десятитысячных долей миллиметра, и пользуется этим знанием, чтобы измерять стремительные движения гигантских солнц в неимоверных далях мироздания.

История одного штрафа

Когда Доплер впервые (в 1842 г.) пришел к мысли, что взаимное сближение или удаление наблюдателя и источника звука или света должно сопровождаться изменением длины воспринимаемых звуков или световых волн, он высказал смелое соображение, что именно в этом кроется причина окраски звезд. Все звезды, думал он, сами по себе белого цвета; кажутся же многие из них окрашенными потому, что они быстро движутся по отношению к нам. Быстро приближающиеся белые звезды посылают земному наблюдателю укороченные световые волны, порождающие ощущение зеленого, голубого или фиолетового цветов; напротив, быстро удаляющиеся белые звезды кажутся нам желтыми или красными.

Это была оригинальная, но, безусловно, ошибочная мысль. Для того чтобы глаз мог заметить изменение окраски звезд, обусловленное движением, надо было бы прежде всего наделить звезды огромными скоростями — порядка десятков тысяч километров в секунду. Но и это оказалось бы недостаточным: дело в том, что одновременно с превращением, например, голубых лучей удаляющейся белой звезды в фиолетовые лучи зеленые превращаются в голубые, место ультрафиолетовых заступают фиолетовые, красных — инфракрас-

ные, — словом, составные части белого света остаются в наличности, так что, несмотря на общий сдвиг всех цветов спектра, глаз не должен был бы заметить никакого изменения общей окраски.

Другое дело — сдвиг темных линий в спектре звезд, движущихся по отношению к наблюдателю: эти перемещения хорошо улавливаются точными инструментами и позволяют определять скорость движения звезд по лучу зрения. (Хороший спектроскоп устанавливает скорость звезды, равную даже 1 км/с.)

Заблуждение Доплера вспомнилось знаменитому физику Буду, когда полисмен (американский милиционер) готовился однажды оштрафовать его за то, что он не остановил свой быстро мчавшийся автомобиль, несмотря на красный сигнал. Профессор, как рассказывают, стал тогда уверять блюстителя порядка, что при быстрой езде навстречу сигналу красный цвет воспринимается как зеленый. Пока полисмен пытался разобраться в этой новой для него теории, ученый безнаказанно уехал. Будь полисмен сведущ в физике, он мог бы рассчитать, что для оправдания слов ученого автомобиль должен был мчаться с совершенно невероятною скоростью — 135 миллионов километров в час.

Вот этот расчет. Если через l обозначить длину волн света, испускаемого источником (в данном случае — сигнальным фонарем), через l_1 — длину волн, воспринимаемых наблюдателем (профессором в автомобиле), через v — скорость автомобиля, а через c — скорость света, то зависимость между этими величинами, установленная теорией, такова:

$$\frac{l}{l_1} = 1 + \frac{v}{c}.$$

Зная, что самая короткая из волн, отвечающая красному цвету, равна 0,0063 мм, а самая длинная волна зеленого света равна 0,0056 мм, подставляем эти значения в формулу; скорость света нам также известна: 300 000 км/с. Имеем:

$$\frac{0{,}0063}{0{,}0056} = 1 + \frac{v}{300\,000},$$

откуда скорость автомобиля:

$$v = \frac{300\,000}{8} = 37\,500 \text{ км/с},$$

или 135 000 000 км/ч. При такой быстроте профессор в течение часа с небольшим отъехал бы от полисмена дальше, чем находится от него Солнце.

Со скоростью звука

Что услышали бы вы, если бы удалялись от играющего оркестра со скоростью звука?

Человек, едущий из Ленинграда на почтовом поезде, видит на всех станциях у газетчиков одни и те же номера газет — именно те, которые вышли в день его отбытия. Это и понятно, потому что номера газет едут вместе с пассажиром, а свежие газеты везутся поездами, идущими позади. На этом основании можно, пожалуй, заключить, что, удаляясь от оркестра со скоростью звука, мы будем все время слышать одну и ту же ноту, которую оркестр взял в начальный момент нашего движения.

Однако заключение это неверно; если вы удаляетесь со скоростью звука, то звуковые волны, оставаясь относительно вас в покое, вовсе не ударяют в вашу барабанную перепонку, а следовательно, вы не можете слышать никакого звука. Вы будете думать, что оркестр прекратил игру.

Но почему же сравнение с газетами привело к другому ответу? Да просто потому, что мы неправильно применили в данном случае рассуждение по сходству (аналогию). Пассажир, встречающий всюду одни и те же номера газет, вообразит (т. е. мог бы вообразить, если бы забыл о своем движении), что выпуск новых номеров в столице вовсе прекратился со дня его отъезда. Для него газетные издательства прекратили бы свое существование — как прекратилось бы существование звука для движущегося слушателя.

Любопытно, что в этом вопросе могут иногда запутаться даже ученые, хотя, в сущности, он не так уж сложен. В споре со мной — я был тогда еще школьником — один астроном не соглашался с таким решением предыдущей задачи и утверждал, что, удаляясь со скоростью звука, мы должны слышать все время один и тот же тон. Он доказывал свою правоту следующим рассуждением (привожу отрывок из его письма):

> «Пусть звучит нота известной высоты. Она звучала так с давнего времени и будет звучать неопределенно долго. Наблюдатели, размещенные в пространстве, слышат ее последовательно и, допустим, неослабно. Почему же вы не могли бы ее слышать, если бы с быстротою звука или даже мысли перенеслись на место любого из этих наблюдателей?»

Точно так же доказывал он, что наблюдатель, удаляющийся от молнии со скоростью света, будет все время непрерывно видеть эту молнию.

«Представьте себе, — писал он мне, — непрерывный ряд глаз в пространстве. Каждый из них будет получать световое впечатление после предыдущего; представьте, что вы мысленно и последовательно можете побывать на месте каждого из этих глаз, — и очевидно, вы все время будете видеть молнию».

Разумеется, ни то ни другое утверждения не верны: при указанных условиях мы не услышим звука и не увидим молнии.

«Занимательная физика» кончена. Если она возбудила в читателе желание поближе познакомиться с необъятной областью той науки, откуда почерпнута эта пестрая горсть простейших сведений, то задача автора выполнена, цель достигнута; и с чувством удовлетворения ставит он последнюю точку после слова «конец».

Занимательная механика

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА*

При подготовке к изданию настоящего, пятого издания, выходящего в свет после смерти автора, нами внесены в текст, а также в рисунки некоторые исправления и изменения. Задача такого исправления оказалась не столь простой, как можно было бы подумать вначале. Дело здесь не только в том, что знания отдельного человека ограничены, что трудно быть специалистом во всех тех областях, главным образом техники, которые затрагиваются в этой книжке наряду с механикой. Нам кажется, что мы наталкиваемся в данном случае и на принципиальное затруднение. Для пояснения сути дела обратимся к сравнению. Романы Жюля Верна пользуются заслуженной известностью: чтение их не только захватывает подростков, но в то же время приносит им чрезвычайную пользу. Что можно, однако, сказать о лучшем его романе «Восемьдесят тысяч километров под водой»? Можно ли сравнить, например, обрисовку характеров Неда Ленда или Консейля с психологическим анализом Андрея Болконского и Пьера Безухова, который дает Л. Толстой в «Войне и мире»? Может ли удовлетворить кораблестроителя то, в конце концов, поверхностное и неточное описание «Наутилуса», которое мы находим у Жюля Верна, может ли удовлетворить ихтиолога описание подводного животного мира в этом романе и т. д. и т. д.? Очевидно, нет. Да в этом и нет надобности. Роман для юношества — не научная энциклопедия во многих томах. Талантливая, но нарочито схематизированная зарисовка действующих лиц, упрощенное описание техники и явлений природы не только допустимы, но и полностью к месту в таком романе.

То же относится и к «Занимательной механике». Всестороннее изучение некоторых из описанных в ней явлений представило бы

* Предисловие написано советским математиком и механиком, доктором физико-математических наук, проф. И. Я. Штаерманом (1891–1962).

большие трудности, поэтому Я. И. Перельман фиксирует внимание читателя только на выяснении роли того или иного закона физики. Может быть, хорошо, что покойный автор не был, так же как и Жюль Верн, специалистом-ученым, однако теперь, когда редактирование попадает в руки специалистов, их задача заключается в первую очередь в том, чтобы исправлять прямые неточности, по возможности сохраняя дух книжки.

Мы стремились дополнить книгу Я. И. Перельмана еще некоторыми примерами, взятыми из нашей техники и действительности. Укажем, в частности, на задачу об управлении белянами с лесом на Волге (см. с. 607). Этот замечательный образец русской смекалки был заимствован затем в Соединенных Штатах Америки, где стал применяться на реке Миссисипи.

Изменяя несколько материал автора, мы считали, что основным условием такой переработки является сохранение свежести и занимательности изложения, которые являются отличительной особенностью ценных книг талантливого популяризатора Я. И. Перельмана и которые привлекли к ним симпатии самых разных кругов читателей. При редактировании я использовал полезные замечания доцента В. С. Щедрова, за что выражаю ему искреннюю благодарность.

ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ АВТОРА

Распространение у нас физических знаний, к сожалению, далеко еще не отвечает исключительной важности этой науки. Особенно смутны в широких кругах представления из того отдела физики, с которого начинается ее изучение: из механики, учения о движении и силах. А «кто не знает движения, тот не понимает природы» (Аристотель).

Хотя вопросам механики отведено немало страниц в обеих книгах «Занимательной физики», я счел полезным посвятить механике отдельную книгу, написанную в той же манере.

«Занимательная механика» считает нецелесообразным знакомить читателя с последними достижениями науки, пока не выяснены первые ее основы. Она не излагает, впрочем, своего предмета с учебной систематичностью.

Предполагая у читателя некоторые, хотя бы смутно усвоенные или полузабытые сведения, книга стремится освежить и уточнить их разбором ряда механических задач, любопытных в том или ином отношении. Не претендует книга и на исчерпание всех отделов механики: многие интересные вопросы не рассмотрены, иные — едва затронуты. Цель «Занимательной механики» — разбудить дремлющую мысль и привить вкус к занятию механикой; любознательный читатель сам тогда разыщет и приобретет недостающие сведения.

Вопреки установившемуся для популярных книг обычаю, в «Занимательной механике» попадаются математические выкладки. Мне известна неприязнь, которую питают многие к таким местам книг. И все же я не избегаю расчетов, так как считаю физические знания, приобретенные без расчетов, шаткими и практически бесплодными. Немыслимо получить сколько-нибудь полезные и прочные сведения из физики и особенно из механики, минуя относящиеся к ним простейшие расчеты.

В «Кодексе Юстиниана» (VI век) имеется закон «о злодеях, математиках* и им подобных», в силу которого «безусловно воспрещается достойное осуждения математическое искусство». В наши дни математики не приравниваются к злодеям, но их «искусство» из популярных книг почему-то изгоняется. Я не сторонник такой популяризации. Не для того тратим мы целые годы в школе на изучение математики, чтобы выбрасывать ее за борт, когда она понадобится. «Занимательная механика» прибегает к расчетам всюду, где необходимо внести точность в вопрос: излишне добавлять, что математические «злодеяния» совершаются здесь в скромных пределах школьного курса.

Создавая книгу, мы черпали материал отовсюду. Это не учебник, а вольная книга, ставящая себе задачей повысить интерес к предмету занимательными сопоставлениями. Приводя ряд примеров применения законов механики в технике, мы включили в нашу книгу также приложения механики к спорту, цирковым представлениям и т. п. неожиданным областям. При составлении книги, которая должна быть занимательна для всех, нельзя идти шаблонным путем.

Я. Перельман
1937

---

* Приводя этот курьез, мы должны напомнить, что математиками в «Кодексе Юстиниана» называются базарные гадатели, любители недобросовестных азартных игр и прочие «квалифицированные обманщики». — *Примеч. И. Я. Штаермана.*

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ МЕХАНИКИ

Задача о двух яйцах

Держа в руках яйцо, вы ударяете по нему другим (рис. 1). Оба яйца одинаково прочны и сталкиваются одинаковыми частями. Которое из них должно разбиться: ударяемое или ударяющее?

Вопрос поставлен был несколько лет назад американским журналом «Наука и изобретения». Журнал утверждал, что, согласно опыту, разбивается чаще «то яйцо, которое *двигалось*», другими словами — яйцо *ударяющее*.

> «Скорлупа яйца, — пояснялось в журнале, — имеет кривую форму, причем давление, приложенное при ударе к неподвижному яйцу, действует на его скорлупу снаружи; но известно, что, подобно всякому своду, яичная скорлупа хорошо противостоит давлению извне. Иначе обстоит дело, когда усилие приложено к яйцу *движущемуся*. В этом случае движущееся содержимое яйца напирает в момент удара на скорлупу *изнутри*. Свод противостоит такому давлению гораздо слабее, чем напору снаружи, и проламывается».

Когда та же задача была предложена в распространенной ленинградской газете, решения поступили крайне разнообразные.

Одни из решающих доказывали, что разбиться должно непременно *ударяющее* яйцо; другие — что именно оно-то и уцелеет. Доводы казались одинаково правдоподобными, и тем не менее оба утверждения в корне ошибочны! Установить рассуждением, которое из соударяющихся яиц должно разбиться, вообще невозможно, потому

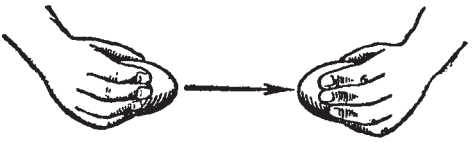


Рис. 1. Которое яйцо сломается?

что между яйцами ударяющим и ударяемым различия не существует. Нельзя ссылаться на то, что ударяющее яйцо движется, а ударяемое неподвижно. Неподвижно — по отношению к чему? Если к земному шару, то ведь известно, что планета наша сама перемещается среди звезд, совершая десяток разнообразных движений; все эти движения ударяемое яйцо разделяет так же, как и ударяющее, и никто не скажет, которое из них движется среди звезд быстрее. Чтобы предсказать судьбу яиц по признакам движения и покоя, понадобилось бы переворошить всю астрономию и определить движение каждого из соударяющихся яиц относительно неподвижных звезд. Да и это не помогло бы, потому что отдельные видимые звезды тоже движутся, и вся их совокупность, Млечный Путь, перемещается по отношению к иным звездным скоплениям.

«Яичная» задача, как видите, увлекла нас в бездны мироздания и все же не приблизилась к разрешению. Впрочем, нет — приблизилась, если звездная экскурсия помогла нам понять ту важную истину, что движение тела без указания другого тела, к которому это движение относится, есть попросту бессмыслица. Одинокое тело, само по себе взятое, двигаться не может; могут перемещаться по крайней мере *два тела* — взаимно сближаться или взаимно удаляться. Оба соударяющихся яйца находятся в одинаковом состоянии движения: они взаимно сближаются — вот все, что мы можем сказать об их движении. Результат столкновения не зависит от того, какое из них пожелаем мы считать неподвижным и какое — движущимся*.

Триста лет назад впервые провозглашена была Галилеем относительность равномерного движения и покоя. Этот принцип относительности классической механики не следует смешивать с принципом относительности Эйнштейна, выдвинутым только в начале этого столетия и представляющим дальнейшее развитие первого принципа.

Путешествие на деревянном коне

Из сказанного следует, что состояние равномерного прямолинейного движения неотличимо от состояния неподвижности при условии обратного *равномерного* и прямолинейного движения окружаю-

* Здесь выясняется важная идея, которая четко сформулирована в следующем абзаце, но надо помнить, что соударяющиеся тела на Земле в действительности не изолированы. Можно, например, двигать яйцо с такой скоростью, что давление воздуха окажется для него более разрушительным, чем соударение. — *Примеч. И. Я. Штаермана.*

щей обстановки. Сказать «тело движется с постоянной скоростью» и «тело находится в покое, но все окружающее равномерно движется в обратную сторону» — значит утверждать одно и то же. Строго говоря, мы не должны говорить ни так, ни этак, а должны говорить, что тело и обстановка движутся одно относительно другой. Мысль эта еще и в наши дни усвоена далеко не всеми, кто имеет дело с механикой и физикой. А между тем она не чужда была уже автору «Дон Кихота», жившему три столетия назад и не читавшему Галилея. Ею проникнута одна из забавных сцен произведения Сервантеса — описание путешествия прославленного рыцаря и его оруженосца на деревянном коне.

«— Садитесь на круп лошади, — объяснили Дон Кихоту. — Требуется лишь одно: повернуть втулку, вделанную у коня на шее, и он унесет вас по воздуху туда, где ожидает вас Маламбумо. Но чтобы высота не вызвала головокружения, надо ехать с завязанными глазами.

Обоим завязали глаза, и Дон Кихот дотронулся до втулки».

Окружающие стали уверять рыцаря, что он уже несется по воздуху «быстрее стрелы».

«— Готов клясться, — заявил Дон Кихот оруженосцу, — что во всю жизнь мою не ездил я на коне с более спокойной поступью. Все идет, как должно идти, и ветер дует.

— Это верно, — сказал Санчо, — я чувствую такой свежий воздух, точно на меня дуют из тысячи мехов.

Так на самом деле и было, потому что на них дули из нескольких больших мехов».

Деревянный конь Сервантеса — прообраз многочисленных аттракционов, придуманных в наше время для развлечения публики на выставках и в парках. То и другое основано на полной невозможности отличить по механическому эффекту состояние покоя от состояния равномерного движения.

Здравый смысл и механика

Многие привыкли противополагать покой движению, как небо — земле и огонь — воде. Это не мешает им, впрочем, устраиваться в вагоне на ночлег, нимало не заботясь о том, стоит ли поезд или мчится. Но в теории те же люди зачастую убежденно оспаривают право считать мчащийся поезд неподвижным, а рельсы, землю под ними

и всю окрестность — движущимися в противоположном направлении.

«Допускается ли такое толкование здравым смыслом машиниста? — спрашивает Эйнштейн, излагая эту точку зрения. — Машинист возразит, что он топит и смазывает не окрестность, а паровоз; следовательно, на паровозе должен сказаться и результат его работы, т. е. движение».

Довод представляется на первый взгляд очень сильным, едва ли не решающим. Однако вообразите, что рельсовый путь проложен вдоль экватора и поезд мчится на запад, против направления вращения земного шара. Тогда окрестность будет бежать навстречу поезду, и топливо будет расходоваться лишь на то, чтобы мешать паровозу быть увлекаемым назад, — вернее, чтобы помогать ему хоть немного отставать от движения окрестности на восток. Пожелай машинист удержать поезд совсем от участия во вращении Земли, он должен был бы топить и смазывать паровоз так, как нужно для скорости примерно две тысячи километров в час.

Впрочем, он бы и не нашел паровоза, подходящего для этой цели: только реактивные самолеты в недалеком будущем смогут развивать такую скорость.

Пока движение поезда остается вполне равномерным, собственно, нет возможности определить, что именно находится в движении и что в покое: поезд или окрестность. Устройство материального мира таково, что всегда во всякий данный момент исключает возможность абсолютного решения вопроса о наличии равномерного движения или покоя и оставляет место только для изучения равномерного движения тел *относительно* друг друга, так как участие наблюдателя в равномерном движении не отражается на наблюдаемых явлениях и их законах.

Поединок на корабле

Можно представить себе такую обстановку, к которой иные, пожалуй, затруднятся практически применить принцип относительности. Вообразите, например, на палубе движущегося судна двух стрелков, направивших друг в друга свое оружие (рис. 2). Поставлены ли оба противника в строго одинаковые условия? Не вправе ли стрелок, стоящий спиной к носу корабля, жаловаться на то, что пущенная им пуля летит медленнее, чем пуля противника?

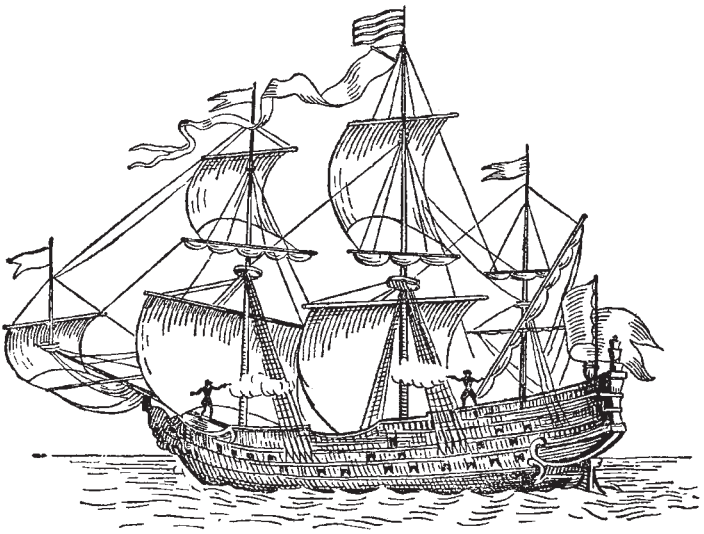


Рис. 2. Чья пуля раньше достигнет противника?

Конечно, по отношению к поверхности моря пуля, пущенная против движения корабля, летит медленнее, чем на неподвижном судне, а пуля, направленная к носу, летит быстрее. Но это нисколько не нарушает условий поединка: пуля, направленная к корме, летит к мишени, которая *движется ей навстречу*, так что при равномерном движении судна недостаток скорости пули как раз восполняется встречной скоростью мишени; пуля же, направленная к носу, *догоняет свою мишень*, которая удаляется от пули со скоростью, равной избытку скорости пули.

В конечном итоге обе пули по *отношению к своим мишеням* движутся совершенно так же, как и на корабле неподвижном.

Не мешает прибавить, что все сказанное относится только к такому судну, которое идет по прямой линии, и притом с постоянной скоростью.

Здесь уместно будет привести отрывок из той книги Галилея, где был впервые высказан классический принцип относительности (книга эта, к слову сказать, едва не привела ее автора на костер инквизиции).

«Заключите себя с приятелем в просторное помещение под палубой большого корабля. Если движение корабля будет равномерным, то вы ни по одному действию не в состоянии будете судить, движется ли корабль

или стоит на месте. Прыгая, вы будете покрывать по полу те же самые расстояния, как и на неподвижном корабле. Вы не сделаете вследствие быстрого движения корабля бóльших прыжков к корме, чем к носу корабля, — хотя, пока вы находитесь в воздухе, пол под вами бежит к части, противоположной прыжку. Бросая вещь товарищу, вам не нужно с большей силой кидать ее от кормы к носу, чем наоборот... Мухи будут летать во все стороны, не держась преимущественно той стороны, которая ближе к корме» и т. д.

Теперь понятна та форма, в которой обычно высказывается классический принцип относительности: «Характер движения, совершающегося в какой-либо системе, не зависит от того, находится ли система в покое или перемещается прямолинейно и равномерно относительно земной поверхности».

Аэродинамическая труба

На практике иной раз оказывается чрезвычайно полезным заменять движение покоем и покой движением, опираясь на классический принцип относительности. Чтобы изучить, как действует на самолет или на автомобиль сопротивление воздуха, сквозь который они движутся, обычно исследуют «обращенное» явление: действие движущегося потока воздуха на покоящийся самолет. В лаборатории устанавливают широкую аэродинамическую трубу (рис. 3), устраивают в ней ток воздуха и изучают его действие на неподвижно подвешенную модель аэроплана или автомобиля. Добытые результаты

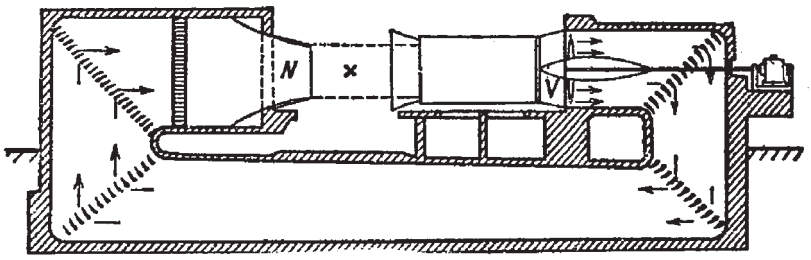


Рис. 3. Продольный разрез через аэродинамическую трубу. Модель крыла или самолета подвешивается в рабочем пространстве, отмеченном крестиком (×). Воздух, засасываемый вентилятором *V*, движется в направлении, указанном стрелками, и выбрасывается в рабочее пространство через суживающийся насадок и затем опять засасывается в трубу

с успехом прилагают к практике, хотя в действительности явление протекает как раз наоборот: воздух неподвижен, а аэроплан или автомобиль прорезают его с большой скоростью.

В настоящее время существуют аэродинамические трубы настолько большого размера, что в них помещается не уменьшенная модель, а корпус самолета с пропеллером или автомобиль обычной величины. Скорость воздуха в трубе можно довести до скорости звука.

На полном ходу поезда

Другой пример плодотворного применения классического принципа относительности возьмем из железнодорожной практики. Тендер иногда пополняется водой на полном ходу поезда. Достигается это остроумным «обращением» одного общеизвестного механического явления, а именно: если в поток воды погрузить отвесно трубку, нижний конец которой загнут против течения (рис. 4), то текущая вода проникает в эту так называемую трубку Пито и устанавливается

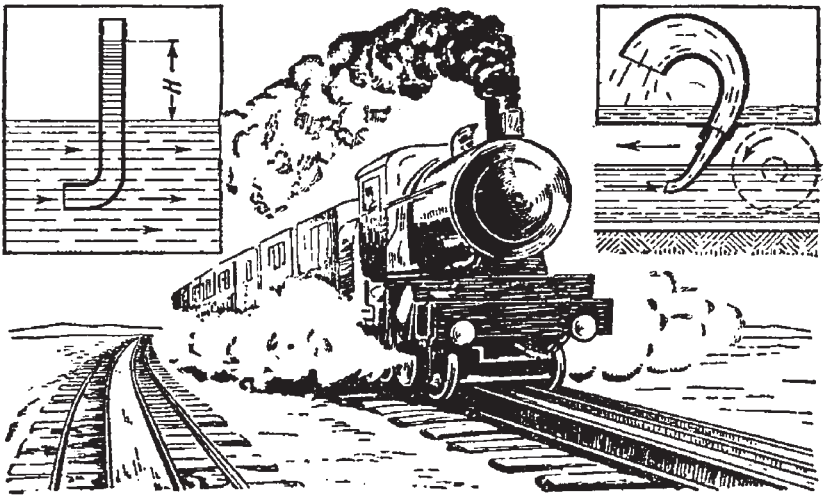


Рис. 4. Как паровозы на полном ходу набирают воду. Между рельсами устроен длинный водоем, в который погружается из тендера труба. Вверху слева — трубка Пито. При погружении ее в текущую воду уровень в трубе поднимается выше, чем в водоеме. Вверху справа — применение трубки Пито для набора воды в тендер движущегося поезда

в ней выше уровня реки на определенную величину H, зависящую от скорости течения. Железнодорожные инженеры «обратили» это явление: они двигают загнутую трубку в *стоячей* воде — и вода в трубке поднимается выше уровня водоема. Движение заменяют покоем, а покой движением.

На станции, где тендер паровоза должен, не останавливаясь, запастись водой, устраивают между рельсами длинный водоем в виде канавы (рис. 4). С тендера спускают изогнутую трубу, обращенную отверстием в сторону движения. Вода, поднимаясь в трубе, подается в тендер быстро мчащегося поезда (рис. 4, вверху справа).

Как высоко может быть поднята вода этим оригинальным способом? По законам того отдела механики, который носит название гидромеханики и занимается движением жидкостей, вода в трубке Пито должна подняться на такую же высоту, на какую взлетело бы вверх тело, подброшенное отвесно со скоростью течения воды; если пренебречь потерей энергии на трение, взвихрения и т. д., то эта высота H определяется формулой

$$H = \frac{V^2}{2g},$$

где V — скорость воды, а g — ускорение силы тяжести, равное 9,8 м/с^2. В нашем случае скорость воды по отношению к трубе равна скорости поезда; взяв скромную скорость 36 км/ч, имеем $V = 10$ м/с; следовательно, высота поднятия воды

$$H = \frac{V^2}{2 \times 9{,}8} = \frac{100}{2 \times 9{,}8} \approx 5 \text{ м}.$$

Ясно, что, каковы бы ни были потери, вызванные трением и другими, не принятыми во внимание обстоятельствами, высота поднятия достаточна для успешного наполнения тендера.

Коперник и Птолемей

Возможно, у читателя возникнет вопрос: какое отношение имеет классический принцип относительности к старому спору между Коперником и Птолемеем о том, движется ли Земля вокруг Солнца или, наоборот, Солнце вокруг Земли. Не следует ли из классического принципа относительности, что этот спор не имеет никакого смысла? Так же как и во времена Коперника и Галилея, наука отвечает на

этот вопрос отрицательно и по-прежнему стоит на стороне Коперника и Галилея.

Классический принцип относительности применим только к прямолинейному и равномерному движению. Но движение Земли является криволинейным, и, следовательно, к нему классический принцип относительности неприменим. Однако некоторые зарубежные ученые-идеалисты, основываясь на общей теории относительности, пытались распространить классический принцип относительности на любое движение, даже криволинейное. Они стали утверждать, что спор между Коперником и Птолемеем, уже решенный наукой, необходимо пересмотреть, так как согласно новым достижениям науки якобы не имеет смысла различать, что вокруг чего обращается: Земля вокруг Солнца или Солнце вокруг Земли. Этой идеей сейчас же воспользовались реакционеры и мракобесы, пытавшиеся оправдать преследования Галилея инквизицией.

Конечно, нам, жителям Земли, кажется, что Земля неподвижна, а Солнце движется вокруг Земли. Точно так же наблюдателю, который находился бы на Солнце, казалось бы, что Солнце неподвижно, а Земля движется. Однако существует разница между тем, что нам при известных условиях «кажется», и тем, что является истинным. Нельзя ограничиваться поверхностным «кажется», надо изучать явление по существу. Открытие гениального польского ученого Николая Коперника, установившего, что Земля обращается вокруг Солнца, оказалось в согласии со всем многообразием физических явлений и стало краеугольным камнем современной астрономии. Коперник рассматривал только кинематику Солнечной системы, т. е. только движение составляющих его тел, не касаясь вызывающих его сил. Ньютон, идя по пути Галилея, занялся вопросом о передаче движения с одного тела на другое, вопросом о силах и применил свои исследования к динамике Солнечной системы; таким образом было найдено новое подтверждение и объяснение теории Коперника (см. мою книгу «Занимательная астрономия»). Эта теория по мере развития астрономии находила все новые подтверждения.

Что касается теории относительности, то, как показал советский ученый академик В. А. Фок, «теория тяготения Эйнштейна (так академик В. А. Фок предложил называть общую теорию относительности. — *Я. П.*) не внесла никакого принципиального изменения в интересующий нас вопрос; как и до нее, спор между сторонниками системы Коперника и сторонниками системы Птолемея следует считать однозначно решенным в пользу Коперника».

Как надо понимать закон инерции

Теперь, после того как мы так подробно побеседовали об относительности движения, необходимо сказать несколько слов о тех причинах, которые вызывают движение, — о силах. Прежде всего нужно указать на закон независимости действия сил; он формулируется так: *действие силы на тело не зависит от того, находится ли тело в покое или движется по инерции либо под влиянием других сил.*

Это следствие так называемого второго из тех трех законов, которые положены Ньютоном в основу классической механики. Первый — закон инерции; третий — закон равенства действия и противодействия.

Второму закону Ньютона будет посвящена вся следующая глава, поэтому здесь мы скажем о нем всего лишь несколько слов. Смысл этого закона состоит в том, что изменение скорости, мерой которого служит ускорение, пропорционально действующей силе и имеет одинаковое с ней направление. Этот закон можно выразить формулой

$$F = m \times a,$$

где F — сила, действующая на тело; m — его масса и a — ускорение тела. Из трех величин, входящих в эту формулу, труднее всего понять, что такое масса. Нередко смешивают ее с весом, но в действительности масса и вес — совсем не одно и то же. Массы тел можно сравнивать по тем ускорениям, которые они получают под влиянием одной и той же силы. Как видно из только что написанной формулы, масса при этом должна быть тем больше, чем меньше ускорение, приобретенное телом под влиянием этой силы.

Закон *инерции*, хотя и противоречит привычным представлениям человека, не изучавшего физики, наиболее понятен из всех трех законов*. Однако иные понимают его совершенно превратно. Именно инерцию определяют нередко как свойство тел «сохранять свое *состояние*, пока внешняя причина не нарушит этого состояния». Такое распространенное толкование подменяет закон инерции законом причинности, утверждающим, что ничто не происходит (т. е. никакое тело не изменяет своего состояния) без причины. Подлинный за-

* Противоречит он обыденным представлениям в той своей части, которая утверждает, что тело, движущееся равномерно и прямолинейно, не побуждается к этому никакой силой; ошибочный же взгляд тот, что, раз тело движется, оно поддерживается в этом состоянии силой, а при отнятии силы движение должно прекратиться.

кон инерции относится не ко всякому физическому состоянию тел, а исключительно к состояниям *покоя* и *движения*. Он гласит:

Всякое тело сохраняет свое состояние покоя или прямолинейного и равномерного движения до тех пор, пока действие сил не выведет его из такого состояния.

Значит, каждый раз, когда тело

1) приходит в движение;

2) меняет свое прямолинейное движение на непрямолинейное или вообще совершает криволинейное движение;

3) прекращает, замедляет или ускоряет свое движение, — мы должны заключить, что на тело действует *сила*.

Если же ни одной из этих перемен в движении не наблюдается, то на тело никакая сила не действует, как бы стремительно оно ни двигалось. Надо твердо помнить, что тело, движущееся равномерно и прямолинейно, не находится вовсе под действием сил (или же все действующие на него силы уравновешиваются). В этом существенное отличие современных механических представлений от взглядов мыслителей древности и Средних веков (до Галилея). Здесь обыденное мышление и мышление научное резко расходятся.

Сказанное объясняет нам, между прочим, почему *трение* о неподвижное тело рассматривается в механике как *сила*, хотя как будто никакого движения оно вызвать не может. Трение есть сила потому, что оно замедляет движение.

Подчеркнем же еще раз, что тела не *стремятся* оставаться в покое, а просто *остаются* в покое. Разница тут та же, что между упорным домоседом, которого трудно извлечь из квартиры, и человеком, случайно находящимся дома, но готовым по малейшему поводу покинуть квартиру. Физические тела по природе своей вовсе не «домоседы»; напротив, они в высшей степени подвижны, так как достаточно приложить к свободному телу хотя бы самую ничтожную силу — и оно приходит в движение. Выражение «тело *стремится* сохранять покой» еще и потому неуместно, что выведенное из состояния покоя тело само собой к нему не возвращается, а напротив, сохраняет навсегда сообщенное ему движение (при отсутствии, конечно, сил, мешающих движению).

Неудачным также является часто встречающийся термин «тело противодействует приложенной силе». Ведь с одинаковым основанием можно было бы сказать, что чай в стакане противодействует тому, чтобы стать сладким, когда в нем размешивают сахар.

Немалая доля тех недоразумений, которые связаны с законом инерции, обусловлена этим неосторожным словом «стремится», вкравшимся в большинство учебников физики и механики. Не меньше трудностей для правильного понимания представляет *третий* закон Ньютона, к рассмотрению которого мы сейчас и переходим.

Действие и противодействие

Желая открыть дверь, вы тянете ее за ручку к себе. Мышца вашей руки, сокращаясь, сближает свои концы: она с одинаковой силой влечет дверь и ваше туловище одно к другому. В этом случае совершенно ясно, что между вашим телом и дверью действуют две силы, приложенные одна к двери, другая — к вашему телу. То же самое, разумеется, происходит и в случае, когда дверь открывается не на вас, а от вас: силы расталкивают дверь и ваше тело.

То, что мы наблюдаем здесь для силы мускульной, верно для всякой силы вообще, независимо от того, какой она природы. Каждое усилие действует в две противоположные стороны; оно имеет, выражаясь образно, два конца (две силы): один приложен к телу, на которое, как мы говорим, *сила действует*; другой приложен к телу, которое мы называем *действующим*. Сказанное принято выражать в механике коротко — слишком коротко для ясного понимания — так: *«Действие равно противодействию»*.

Смысл этого закона состоит в том, что все силы природы — силы двойные. В каждом случае проявления действия силы вы должны представлять себе, что где-то в ином месте имеется другая сила, равная этой, но направленная в противоположную сторону. Эти две силы действуют непременно между двумя точками, стремясь их сблизить или растолкнуть.

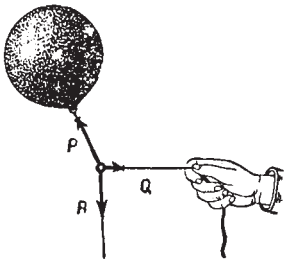


Рис. 5. Силы (*P, Q, R*), действующие на грузик детского воздушного шара. Где силы противодействующие?

Пусть вы рассматриваете (рис. 5) силы *P, Q* и *R*, которые действуют на грузик, подвешенный к детскому воздушному шарику. Тяга *P* шара, тяга *Q* веревочки и вес *R* грузика — силы как будто одиночные. Но это лишь отвлечение от действительности;

на самом деле для каждой из трех сил имеется равная ей, но противоположная по направлению сила. А именно сила, противоположная силе *P*, приложена к нити, через которую она передается воздушному шарику (рис. 6, сила P_1); сила, противоположная силе *Q*, действует на руку (Q_1); сила, противоположная силе *R*, приложена к Земле (рис. 6, сила R_1), потому что грузик не только притягивается Землей, но и сам ее притягивает.

Еще одно существенное замечание. Когда мы спрашиваем о величине натяжения веревки, которая растягивается двумя силами в 1 кг, приложенными к концам веревки, мы спрашиваем, в сущности, о цене 10-копеечной почтовой марки. Ответ содержится в самом вопросе: веревка натянута с силой 1 кг. Сказать «веревка растягивается двумя силами в 1 кг» или «веревка подвержена натяжению в 1 кг» — значит выразить буквально одну и ту же мысль. Ведь другого натяжения в 1 кг быть не может, кроме такого, которое состоит из двух сил, направленных в противоположные стороны. Забывая об этом, впадают нередко в грубые ошибки, примеры которых мы сейчас приведем.

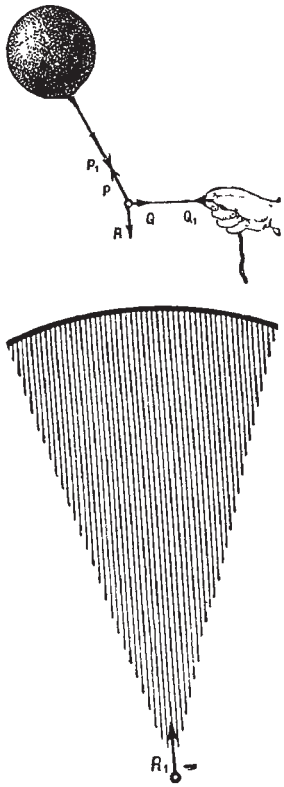


Рис. 6. Ответ на вопрос предыдущего рисунка: силы противодействующие: P_1, Q_1, R_1

Задача о двух лошадях

Две лошади растягивают пружинные весы с силой 100 кг каждая. Что показывает стрелка весов?

РЕШЕНИЕ

Многие отвечают: 100 + 100 = 200 кг. Ответ неверен. Силы по 100 кг, с которыми тянут лошади, вызывают, как мы только что видели, натяжение не в 200, а только в 100 кг.

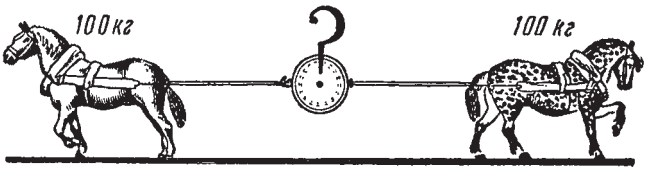


Рис. 7. Каждая лошадь тянет с силой 100 кг. Сколько показывают пружинные весы?

Поэтому, между прочим, когда магдебургские полушария растягивались восемью лошадьми, которые тянули в одну сторону, и восемью — в противоположную, то не следует думать, что они растягивались силой шестнадцати лошадей. При отсутствии противодействующих восьми лошадей остальные восемь не произвели бы на полушария ровно никакого действия. Одну восьмерку лошадей можно было бы заменить просто достаточно устойчивой стеной.

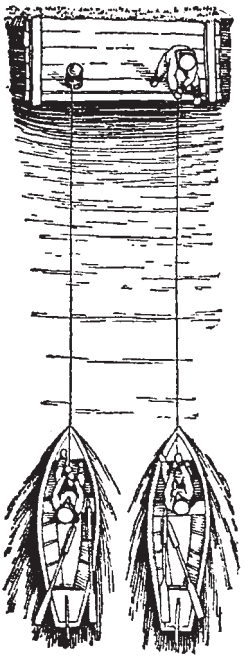


Рис. 8. Которая из лодок причалит раньше?

Задача о двух лодках

К пристани на озере приближаются две одинаковые лодки (рис. 8). Оба лодочника подтягиваются с помощью веревки. Противоположный конец веревки первой лодки привязан к тумбе на пристани; противоположный же конец веревки второй лодки находится в руках матроса на пристани, который также тянет веревку к себе.

Все трое прилагают одинаковые усилия.

Какая лодка причалит раньше?

РЕШЕНИЕ

На первый взгляд может показаться, что причалит раньше та лодка, которую тянут двое: двойная сила порождает бóльшую скорость.

Но верно ли, что на эту лодку действует *двойная сила*?

Если и лодочник, и матрос оба тянут к себе веревку, то *натяжение* веревки равно силе

только *одного* из них — иначе говоря, оно такое же, как и для первой лодки. Обе лодки подтягиваются с равной силой и причалят *одновременно**.

Загадка пешехода и паровоза

Бывают случаи — в практике нередкие, — когда как действующая, так и противодействующая силы приложены в разных местах *одного и того же тела*. Мускульное напряжение или давление пара в цилиндре паровоза представляет примеры таких сил, называемых «внутренними». Особенность их та, что они могут изменять взаимное расположение частей тела, насколько это допускает связь частей, но никак не могут сообщить *всем* частям тела одно общее движение. При выстреле из ружья пороховые газы, действуя в одну сторону, выбрасывают пулю вперед. В то же время давление пороховых газов, направленное в противоположную сторону, сообщает ружью движение назад. Двигать вперед и пулю, и ружье давление пороховых газов, как сила внутренняя, не может.

Но если внутренние силы не способны перемещать *все* тело, то как же движется пешеход? Как движется паровоз? Сказать, что пешеходу помогает трение ног о землю, а паровозу трение колес о рельсы, не значит еще разрешить загадку. Трение, конечно, совершенно необходимо для движения пешехода и паровоза: известно, что нельзя ходить по очень скользкому льду («как корова на льду», говорит распространенная поговорка) и что паровоз, находясь на скользких рельсах (например, при обледенении), «буксует»; это значит, что колеса паровоза вертятся, но паровоз с места не двигается. Каким же

* С таким решением не согласился один из читателей, высказавший соображение, которое, возможно, возникнет и у других при чтении этой книги:

«Чтобы лодки причалили, — писал он, — надо, чтобы люди *выбирали* веревки. А двое, конечно, за то же время выберут веревки больше, и потому правая лодка причалит скорее».

Этот простой довод, кажущийся на первый взгляд бесспорным, на самом деле ошибочен. Чтобы сообщить лодке двойную скорость (иначе лодка не пристанет вдвое скорее), *каждый* из двоих тянущих должен тянуть лодку с надлежащим образом увеличенной силой. Только при таком условии удастся им выбрать вдвое больше веревки, чем одинокому (в противном случае — откуда возьмется у них для этого свободная веревка?). Но в условии задачи оговорено, что «все трое прилагают одинаковые усилия». Сколько бы двое ни старались, им не выбрать веревки больше, чем одинокому, раз сила натяжения веревок одинакова.

образом трение, которое, как мы видели (с. 491), замедляет существующее движение, может помочь пешеходу или паровозу сдвинуться с места?

Загадка разрешается довольно просто. Две внутренние силы, действуя одновременно, не могут сообщить телу движения, так как эти силы лишь сближают или раздвигают отдельные части тела. Но что будет, если некоторая третья сила уравновесит или ослабит действие одной из двух внутренних сил? Тогда ничто не помешает другой внутренней силе двигать тело. Трение и есть та третья сила, которая ослабляет действие одной из внутренних сил и тем дает возможность другой силе двигать тело.

Представьте себе, что вы стоите на очень гладкой поверхности, например на льду, и хотите сдвинуться с места. Вы делаете усилие, чтобы занести правую ногу вперед. Между отдельными частями вашего тела начинают действовать внутренние силы, подчиняющиеся закону равенства действия и противодействия. Этих сил много, но действие их будет приблизительно такое же, как если бы на ваши ноги действовали только две силы, из которых одна F_1 толкает правую ногу вперед, а другая F_2, равная и противоположная первой, толкает левую ногу назад. Результатом действия этих сил будет только то, что обе ваши ноги подвинутся: одна вперед, другая назад; ваше же тело или, лучше сказать, его центр тяжести останется на месте. Иначе будет обстоять дело, если левая нога опирается на шероховатую поверхность (лед под ногой посыпан песком). Тогда сила F_2, действующая на левую ногу, уравновесится (полностью или частично) силой трения F_3, действующей на подошву левой ноги, а сила F_1, приложенная к правой ноге, подвинет ее вперед, и центр тяжести всего тела также переместится вперед. Практически при ходьбе мы, занося одну ногу вперед, приподнимаем ее и тем устраняем трение между этой ногой и полом, в то время как на вторую ногу действует сила трения, которая препятствует скольжению этой ноги назад.

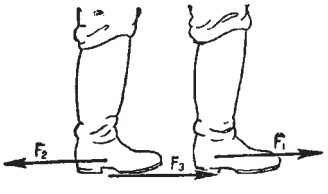


Рис. 9. Сила трения F_3 делает возможной ходьбу

С паровозом дело обстоит несколько сложнее, но и тут вопрос сводится к тому, что сила трения, приложенная к ведущим колесам паровоза, уравновешивает одну из внутренних сил, давая тем самым возможность другой силе двигать паровоз.

Странный карандаш

Возьмите длинный карандаш и положите его на вытянутые горизонтально указательные пальцы обеих рук. Приближайте теперь пальцы друг к другу так, чтобы карандаш оставался горизонтальным. Вы тотчас заметите, что карандаш станет скользить сначала по одному пальцу, а затем по другому и т. д. Если вместо карандаша взять длинную прямую палку, то это повторяется довольно много раз.

Чем же объясняется это странное явление?

Разгадать его нам помогут так называемый закон Кулона — Амонтона и закон, гласящий, что сила трения при скольжении меньше, чем сила трения покоя. Закон Кулона — Амонтона утверждает, что сила трения T в тот момент, когда начинается скольжение, равна некоторой числовой величине f, характерной для данных трущихся тел, умноженной на то давление N, которое оказывает тело на опору. Математически этот закон может быть записан в следующем виде:

$$T = f \times N.$$

Попробуем теперь объяснить странное поведение карандаша, пользуясь этими двумя законами. Если в самом начале карандаш расположен так, что на один палец он давит больше, чем на другой, а это почти всегда так случится, то и сила трения на первом пальце будет больше, чем на втором. Это непосредственно видно из формулы Амонтона. Эта сила трения и не позволит карандашу скользить по той опоре, давление на которую больше. Когда пальцы сближаются, центр тяжести карандаша приближается к скользящей опоре, и давление на нее возрастает. Но сила трения при скольжении меньше, чем при покое, поэтому скольжение будет еще долго продолжаться. В тот момент, когда давление на скользящей опоре значительно увеличится, скольжение на ней прекратится: его остановит увеличившаяся сила трения. Скользящей опорой станет другой палец. Далее явление повторится, и обе опоры станут чередоваться.

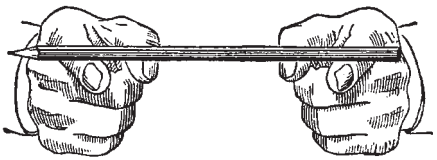


Рис. 10. При сближении пальцев карандаш двигается попеременно то в одну, то в другую сторону

Что значит «преодолеть инерцию»

Закончим главу рассмотрением еще одного вопроса, также зачастую порождающего превратные представления. Приходится нередко читать и слышать, что для приведения покоящегося тела в движение надо прежде всего «преодолеть инерцию» этого тела. Мы знаем, однако, что свободное тело нисколько не сопротивляется стремлению силы привести его в движение. Что же тут надо «преодолевать»?

«Преодоление инерции» — не более как условное выражение той мысли, что для приведения в движение какого-либо тела с определенной скоростью требуется определенный промежуток времени. Никакая сила, даже самая большая, не может мгновенно сообщить телу заданную скорость, как бы ни была ничтожна его масса. Мысль эта заключена в краткой формуле $Ft = mv$, о которой мы будем говорить в следующей главе, но которая, будем надеяться, знакома читателю из учебника физики. Ясно, что при $t = 0$ (время равно нулю) произведение mv массы на скорость равно нулю и, следовательно, равна нулю скорость, так как масса всегда отлична от нуля. Другими словами, если силе F не дать времени для проявления ее действия, она не сообщит телу никакой скорости, никакого движения. Если масса тела велика, потребуется сравнительно большой промежуток времени, чтобы сила сообщила телу заметное движение. Нам будет казаться, что тело начинает двигаться не сразу, что оно словно противится действию силы. Отсюда и сложилось ложное представление о том, что сила, прежде чем заставить тело двигаться, должна «преодолеть *его инерцию*», его косность (буквальный смысл слова *«инерция»*).

Железнодорожный вагон

Один из читателей просит разъяснить вопрос, который, в связи с сейчас сказанным, возник, вероятно, у многих: «Почему сдвинуть железнодорожный вагон с места труднее, чем поддерживать движение вагона, уже катящегося равномерно?»

Не только труднее, можно прибавить, но и вовсе невозможно, если прилагать небольшое усилие. Чтобы поддерживать равномерное движение пустого товарного вагона по горизонтальному пути, достаточно, при хорошей смазке, усилия килограммов в 15. Между тем

такой же неподвижный вагон не удается сдвинуть с места силой, меньшей 60 килограммов.

Причина не только в том, что приходится в течение первых секунд прилагать добавочную силу для приведения вагона в движение с заданной скоростью (сила эта сравнительно невелика); причина кроется главным образом в условиях смазки стоящего вагона. В начале движения смазка еще не распределена равномерно по всему подшипнику, и оттого заставить вагон двигаться тогда очень трудно. Но едва колесо сделает первый оборот, условия смазки сразу значительно улучшаются, и поддерживать дальнейшее движение становится несравненно легче.



ГЛАВА ВТОРАЯ

СИЛА И ДВИЖЕНИЕ

Справочная таблица по механике

В настоящей книге нам не раз придется обращаться к формулам из механики. Для читателей, хотя и проходивших механику, но забывших эти соотношения, дана на следующей странице небольшая табличка-справочник, помогающая восстановить в памяти важнейшие формулы. Она составлена по образцу Пифагоровой таблицы умножения: на пересечении двух граф отыскивается то, что получается от умножения величин, написанных по краям. (Обоснование этих формул читатель найдет в учебниках механики.)

	Скорость v	Время t	Масса m	Ускорение a	Сила F
Путь S	—	—	—	$\frac{v^2}{2}$ (равноперем. движ.)	Работа $A = \frac{mv^2}{2}$
Скорость v	$2aS$ (равноперем. движ.)	Путь S (равномерн. движ.)	Импульс Ft	—	Мощность $W = \frac{A}{t}$
Время t	Путь S (равномерн. движ.)	—	—	Скорость v (равноперем. движ.)	Количество движения mv
Масса m	Импульс Ft	—	—	Сила F	—

Покажем на нескольких примерах, как пользоваться табличкой.

Умножая скорость v равномерного движения на время t, получаем путь S (формула $S = vt$).

Умножая постоянную силу F на путь S, получаем работу A, которая в то же время равна и полупроизведению массы m на квадрат конечной скорости v:

$$A = FS = \frac{mv^2}{2}*.$$

Подобно тому как, пользуясь таблицей умножения, можно узнавать результаты *деления*, так и из нашей таблички можно извлечь, например, следующие соотношения:

Скорость v равнопеременного движения, деленная на время t, равна ускорению a (формула $a = \frac{v}{t}$).

Сила F, деленная на массу m, равна ускорению a; деленная же на ускорение a, равна массе m:

$$a = \frac{F}{m} \text{ и } m = \frac{F}{a}.$$

Пусть для решения механической задачи потребовалось вычислить *ускорение*. Вы составляете по табличке все формулы, содержащие ускорение, прежде всего формулы

$$aS = \frac{v^2}{2},\ v = at,\ F = ma,$$

а из этих формул получаете:

$$t^2 = \frac{2S}{a},\ \text{или}\ S = \frac{at^2}{2}.$$

Среди написанных формул ищете ту, которая отвечает условиям задачи.

Если пожелаете иметь все уравнения, с помощью которых может быть определена *сила*, табличка предложит вам на выбор:

$$FS = A \quad \text{(работа)},$$
$$Fv = W \quad \text{(мощность)},$$
$$Ft = mv \quad \text{(количество движения)},$$
$$F = ma.$$

Не надо упускать из виду, что вес P есть тоже сила, поэтому наряду с формулой $F = ma$ в нашем распоряжении имеется и формула $P = mg$, где g — ускорение силы тяжести близ земной поверхности. Точно так же из формулы $FS = A$ следует, что $Ph = A$ для тела весом P, поднятого на высоту h.

---

* Формула $A = FS$ верна лишь в том случае, когда направление силы совпадает с направлением пути. Вообще же имеет место более сложная формула $A = FS \cos \alpha$, в которой α обозначает угол между направлениями силы и пути. Также и формула $A = \frac{mv^2}{2}$ верна только в простейшем случае, когда начальная скорость тела равна нулю; если же начальная скорость равна v_0, а конечная скорость v, то работа, которую нужно затратить, чтобы вызвать такое изменение скорости, выражается формулой $A = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$.

Пустые клетки таблицы показывают, что произведения соответствующих величин не имеют смысла.

Еще важное замечание. Формулы механики полезны только в руках того вычислителя, который твердо знает, *в каких мерах* надо выразить входящие в них величины. Если, вычисляя работу по формуле $A = FS$, вы выразите силу F в килограммах, а путь S — в сантиметрах, то получите величину работы в редко употребляемых единицах — в килограмм-сантиметрах и, конечно, легко можете запутаться. Чтобы получился надлежащий результат, сила должна быть выражена в *килограммах*, а путь в *метрах*; тогда работа получится в *килограммметрах*. Но вы можете выразить силу в *динах*, а путь в *сантиметрах*, тогда результат покажет число эргов работы (дина — сила, равная 1/980 г, т. е. приблизительно 1 мг) — дина-сантиметров.

Точно так же равенство $F = ma$ даст силу в динах только тогда, когда масса выражена в граммах, а ускорение в сантиметрах в секунду за секунду.

Умению выбирать единицы мер и безошибочно определять, в каких мерах получился результат, нельзя научиться в четверть часа. Кто этим умением еще не обладает, тому следует во всех случаях пользоваться мерами системы «сантиметр-грамм-секунда» (CGS), а полученный результат, если нужно, переводить в другие меры.

Эти практические мелочи очень существенны; незнание их зачастую приводит к самым нелепым ошибкам.

Отдача огнестрельного оружия

В качестве примера применения нашей таблицы рассмотрим отдачу ружья. Пороховые газы, выбрасывающие своим напором пулю в одну сторону, в то же время отбрасывают ружье в обратную сторону, порождая всем известную отдачу. С какой скоростью движется отдающее ружье? Вспомним закон равенства действия и противодействия. По этому закону давление пороховых газов на ружье (рис. 11) должно быть равно давлению пороховых газов на пулю. При этом обе силы действуют одинаковое время. Заглянув в таблицу, находим, что произведение силы F на время t равно «количеству движения» mv, т. е. произведению массы m на ее скорость v:

$$Ft = mv.$$

Это равенство является математическим выражением закона количества движения для случая, когда тело начинает двигаться из со-

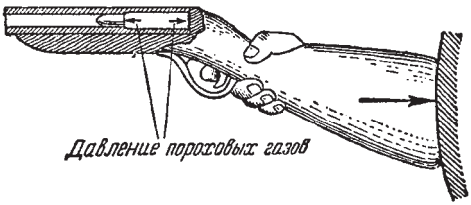


Рис. 11. Почему ружье при выстреле отдает?

стояния покоя. В более общем виде этот закон формулируется так: изменение количества движения тела за некоторое время равно импульсу силы, приложенной к телу за то же время:

$$mv - mv_0 = Ft,$$

где v_0 — начальная скорость, а F — постоянная сила.

Так как Ft для пули и для ружья одинаково, то должны быть одинаковы и количества движения. Если m — масса пули, v — ее скорость, M — масса ружья, w — его скорость, то согласно сейчас сказанному

$$mv = Mw,$$

откуда

$$\frac{w}{v} = \frac{m}{M}.$$

Подставим в эту пропорцию числовые значения ее членов. Масса пули военной винтовки — 9,6 г, скорость ее при вылете — 880 м/с; масса винтовки — 4500 г. Значит,

$$\frac{w}{880} = \frac{9{,}6}{4500}.$$

Следовательно, скорость ружья w = 1,9 м/с. Нетрудно вычислить, что отдающее ружье несет с собой примерно в 470 раз меньшую «живую силу», нежели пуля; это значит, что разрушительная энергия ружья при отдаче в 470 раз меньше, нежели пули, хотя — заметим это! — количество движения для обоих тел одинаково. Неумелого стрелка отдача может все же сильно ударить и даже поранить.

Для полевой скорострельной пушки, весящей 2000 кг и выбрасывающей 6-килограммовые снаряды со скоростью 600 м/с, скорость отдачи примерно такая же, как и у винтовки, — 1,9 м/с. Но при значительной массе орудия энергия этого движения в 450 раз больше, чем для винтовки, и почти равна энергии ружейной пули в момент ее вылета. Старинные пушки при выстреле откатывались назад. В современных орудиях скользит назад только ствол, лафет

же остается неподвижным, удерживаемый упором (сошником) на конце хобота. Морские орудия (не вся орудийная установка) при выстреле откатываются назад, но благодаря особому приспособлению сами после отката возвращаются на прежнее место.

Читатель заметил, вероятно, что в наших примерах тела, наделенные равными *количествами движения*, обладают далеко не одинаковой *кинетической энергией*. В этом, разумеется, нет ничего неожиданного; из равенства

$$mv = Mw$$

вовсе не следует, что

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{Mw^2}{2}.$$

Второе равенство верно лишь в том случае, когда $v = w$ (в этом легко убедиться, разделив второе равенство на первое). Между тем люди, мало знакомые с механикой, думают иногда, что равенство количеств движения (а значит, и равенство импульсов) обусловливает собой равенство кинетической энергии. Известны случаи, когда изобретатели, исходя из ошибочного предположения, что равным импульсам соответствуют равные количества работы, пытались придумать машину, которая давала бы работу без соответствующей затраты энергии. Это лишний раз доказывает необходимость для изобретателя хорошо усвоить основы теоретической механики.

Повседневный опыт и научное знание

При изучении механики поражает то, что во многих весьма простых случаях наука эта резко расходится с обыденными представлениями. Вот показательный пример. Как должно двигаться тело, на которое неизменно действует одна и та же сила? «Здравый смысл» подсказывает, что такое тело должно двигаться все время с одинаковой скоростью, т. е. равномерно. И наоборот, если тело движется равномерно, то это в обиходе считается признаком того, что на тело действует все время одинаковая сила. Движение телеги, паровоза и т. п. как будто подтверждает это.

Механика говорит, однако, совершенно другое. Она учит, что постоянная сила порождает движение не равномерное, а *ускоренное*, так как к скорости, ранее накопленной, сила непрерывно добавляет новую скорость. При равномерном же движении тело *вовсе не находится под действием силы*, иначе оно двигалось бы неравномерно (см. с. 490–491).



Рис. 12. При равномерном движении поезда сила тяги преодолевает сопротивления движению

Неужели же обыденные наблюдения так грубо ошибочны?

Нет, они не вполне ошибочны, но относятся к весьма ограниченному кругу явлений. Обыденные наблюдения делаются над телами, перемещающимися при наличии трения и сопротивления среды. Законы же механики имеют в виду тела, движущиеся свободно. Чтобы тело, движущееся с трением, обладало постоянной скоростью, к нему действительно надо приложить постоянную силу. Но сила нужна здесь не для того, чтобы двигать тело, а для того, чтобы преодолевать сопротивление движению, т. е. создать для тела условия свободного движения. Вполне возможны поэтому случаи, когда тело, движущееся с трением *равномерно*, находится под действием *постоянной силы*.

Мы видим, в чем грешит обыденная «механика»: ее утверждения почерпнуты из *недостаточно полного* материала. Научные обобщения имеют более широкую базу. Законы научной механики выведены из движения не только телег и паровозов, но также планет и комет. Чтобы делать правильные обобщения, надо расширить поле наблюдений и очистить факты от случайных обстоятельств. Только добытое таким путем знание раскрывает глубокие корни явлений и может быть плодотворно применено на практике.

В дальнейшем мы рассмотрим ряд явлений, где отчетливо выступает связь между величиной *силы*, двигающей свободное тело, и величиной приобретаемого им *ускорения*, — связь, которая устанавливается уже упоминавшимся вторым законом Ньютона. Это важное соотношение, к сожалению, смутно усваивается при школьном прохождении механики. Примеры взяты в обстановке фантастической, но сущность явления выступает от этого еще отчетливее.

Пушка на Луне

ЗАДАЧА

Артиллерийское орудие сообщает снаряду на Земле начальную скорость 900 м/с. Перенесите его мысленно на Луну, где все тела становятся в шесть раз легче. С какой скоростью снаряд покинет там

это орудие? (Различие, обусловленное отсутствием на Луне атмосферы, оставим без внимания.)

РЕШЕНИЕ

На вопрос этой задачи часто отвечают, что так как сила взрыва на Земле и на Луне одинакова, а действовать на Луне приходится ей на вшестеро более легкий снаряд, то сообщенная скорость должна быть там в шесть раз больше, чем на Земле: 900 × 6 = 5400 м/с. Снаряд вылетит на Луне со скоростью 5,4 км/с.

Подобный ответ при кажущемся его правдоподобии совершенно неверен.

Между силой, ускорением и весом вовсе не существует той связи, из какой исходит приведенное рассуждение. Формула механики, являющаяся математическим выражением второго закона Ньютона, связывает силу и ускорение *не с весом*, а с *массой*: $F = ma$. Но масса снаряда на Луне нисколько не изменилась: она там та же, что и на Земле; значит, и ускорение, сообщаемое снаряду силой взрыва, должно быть на Луне такое же, как и на Земле; а при одинаковых ускорениях и путях одинаковы и скорости (согласно формуле $v = \sqrt{2aS}$, где S обозначает путь снаряда внутри дула орудия).

Итак, пушка на Луне выбросила бы снаряд точно с такой же начальной скоростью, как и на Земле. Другое дело, как *далеко* или как *высоко* залетел бы на Луне этот снаряд. В этом случае уменьшение тяжести имеет уже существенное значение.

Например, высота отвесного подъема снаряда, покинувшего на Луне пушку со скоростью 900 м/с, определится из формулы

$$aS = \frac{v^2}{2},$$

которую мы находим в справочной табличке (с. 500). Так как ускорение силы тяжести на Луне в шесть раз меньше, чем на Земле, т. е. $a = \frac{g}{6}$, то формула получает вид:

$$\frac{gS}{6} = \frac{v^2}{2}.$$

Отсюда пройденный снарядом отвесный путь

$$S = 6 \times \frac{v^2}{2g}.$$

На Земле же (при отсутствии атмосферы):

$$S = \frac{v^2}{2g}.$$

Значит, на Луне пушка закинула бы ядро в шесть раз выше, чем на Земле (сопротивление воздуха мы не принимали во внимание), несмотря на то что начальная скорость снаряда в обоих случаях одинакова.

Выстрел на дне океана

Одно из наиболее глубоких мест океана находится близ острова Минданао в группе Филиппинских островов. Его глубина составляет приблизительно 11 км.

Пусть на этой глубине очутился заряженный духовой пистолет; в его цилиндре находится воздух под большим давлением.

Спрашивается, вылетит ли пуля из пистолета, если нажать на собачку, считая, что в обычных условиях пуля вылетает из него с той же скоростью, что и из нагана, т. е. 270 м/с.

РЕШЕНИЕ

Пуля находится в момент «выстрела» под действием двух противоположных давлений: давления воды и давления сжатого воздуха. Если первое давление больше второго, то пуля не вылетит, в обратном случае она вылетит. Следовательно, нужно подсчитать оба давления и сравнить их. Давление воды на пулю подсчитываем так. Каждые 10 м водяного столба оказывают давление в одну техническую атмосферу, т. е. 1 кг на 1 кв. см. Следовательно, 11 000 м водяного столба окажут давление в 1100 кг на 1 кв. см.

Положим, что калибр (диаметр отверстия ствола) пистолета тот же, что и у обычного нагана, т. е. 0,7 см. Площадь поперечного сечения канала ствола равна:

$$\frac{1}{4} \times 3{,}14 \times 0{,}7^2 = 0{,}38 \text{ кв. см.}$$

На эту площадь приходится сила давления воды, равная

$$1100 \times 0{,}38 = 418 \text{ кг.}$$

Подсчитываем теперь, с какой силой давит сжатый воздух. Для этого найдем среднее ускорение пули в стволе (для обычных условий),

принимая ее движение за равноускоренное. Фактически движение не будет равноускоренным, но мы вводим это допущение для упрощения задачи.

Находим в табличке на с. 500 соотношение

$$v^2 = 2aS,$$

где v — скорость пули у дульного обреза, a — искомое ускорение, S — длина пути, пройденного пулей под давлением воздуха, т. е. длина ствола. Подставив $v = 270$ м/с $= 27\,000$ см/с и $S = 22$ см, получим:

$$27\,000^2 = 2a \times 22,$$

откуда

$$a = 16\,500\,000 \text{ см/с}^2.$$

Это огромное ускорение нас не должно удивлять, ведь в обычных условиях пуля проходит по каналу пистолета за очень малое время. Зная ускорение пули и положив ее массу равной 7 г, вычислим ту силу, которая это ускорение вызывает, по формуле $F = ma$:

$$F = 7 \times 16\,500\,000 = 115\,500\,000 \text{ дин.}$$

Сила в один килограмм круглым счетом равна миллиону дин, значит воздух давит на пулю с силой, приблизительно равной 115 кг.

Итак, в момент выстрела пулю толкает сила в 115 кг, противодействует же сила давления воды, равная 418 кг. Отсюда видно, что пуля не только не вылетит, а наоборот, давление воды загонит ее глубже в дуло. Такое давление, конечно, не возникает в духовых пистолетах, но такой пистолет, который «конкурировал» бы с наганом, в условиях современной техники изготовить можно.

Сдвинуть земной шар

Среди людей, недостаточно изучавших механику, распространено убеждение, что малой силой нельзя сдвинуть свободное тело, если оно обладает весьма большой массой. Это одно из заблуждений «здравого смысла». Механика утверждает совершенно иное: всякая сила, даже самая незначительная, должна сообщить движение каждому телу, даже чудовищно грузному, если тело это *свободно*. Мы не раз пользовались уже формулой, в которой выражена эта мысль:

$$F = ma, \text{ откуда } a = \frac{F}{m}.$$

Последнее выражение говорит нам, что ускорение может быть равно нулю только в том случае, когда сила F равна нулю. Поэтому *всякая сила должна заставить двигаться любое свободное тело*.

В окружающих нас условиях мы не всегда видим подтверждение этого закона. Причина — трение, вообще сопротивление движению. Другими словами, причина та, что мы очень редко имеем дело со *свободным* телом; движение почти всех наблюдаемых нами тел не свободно. Чтобы в условиях трения заставить тело двигаться, необходимо приложить силу, которая больше силы трения. Дубовый шкаф на сухом дубовом полу только в том случае придет в движение под напором наших рук, если мы разовьем силу не меньше $^1/_3$ веса шкафа, потому что сила трения дуба по дубу (насухо) составляет приблизительно 34% веса тела. Но если бы никакого трения не было, то даже ребенок привел бы в движение тяжелый шкаф прикосновением пальца.

К тем немногим телам природы, которые совершенно свободны, т. е. движутся, не испытывая ни трения, ни сопротивления среды, принадлежат небесные тела: Солнце, Луна, планеты, в их числе и наша Земля. Значит ли это, что человек мог бы сдвинуть с места земной шар силой своих мускулов? Безусловно, так: двигаясь сами, вы приведете его в движение!

Например, когда мы подпрыгиваем, отталкиваясь ногами от земного шара, мы, сообщая скорость своему телу, вместе с тем приводим в движение в противоположном направлении и земной шар. Но вот вопрос: какова скорость этого движения? По закону равенства действия и противодействия сила, с которой мы давим на Землю, равна силе, которая подбросила вверх наше тело. Поэтому и импульсы этих сил равны, а если так, то равны по величине и количества движения, получаемые нашим телом и земным шаром. Обозначая массу Земли через M, приобретенную ею скорость через w, массу человека через m, а его скорость через v, мы можем написать

$$Mw = mv,$$

откуда

$$w = \frac{m}{M} v.$$

Так как масса Земли неизмеримо больше массы человека, то скорость, которую мы сообщаем Земле, неизмеримо меньше скорости, с которой отделяется от Земли человек. Мы говорим «неизмеримо больше», «неизмеримо меньше», конечно, не в буквальном смысле.

Измерить массу земного шара возможно*, а следовательно, возможно определить и скорость его в данных условиях.

Масса M Земли равна приблизительно 6×10^{27} г, массу m человека возьмем равной 60 кг = 6×10^4 г. Тогда отношение $\frac{m}{M}$ равно $\frac{1}{10^{23}}$. Это значит, что скорость земного шара в 10^{23} раз меньше скорости прыжка человека! Пусть человек подпрыгнул на высоту $h = 1$ м, тогда его начальная скорость может быть определена по формуле

$$v = \sqrt{2gh},$$

т. е.

$$v = \sqrt{2 \times 981 \times 100} \approx 440 \text{ см/с},$$

и скорость Земли равна:

$$w = \frac{440}{10^{23}} = \frac{4{,}4}{10^{21}} \text{ см/с}.$$

Это настолько маленькая величина, что невозможно себе ее представить, но все же величина, отличная от нуля. Чтобы получить хотя бы косвенно представление об этой величине, предположим, что Земля, приобретя такую скорость, сохраняет ее в течение очень большого промежутка времени, например одного миллиарда лет (по некоторым данным можно предполагать, что возраст Земли, во всяком случае, не меньше этого). На какое расстояние переместится она за это время? Это расстояние найдем по формуле

$$S = vt.$$

Взяв

$$t = 10^9 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60 \approx 31 \times 10^{14} \text{ с},$$

получим:

$$S = \frac{4{,}4}{10^{21}} \times 31 \times 10^{14} = \frac{14}{10^6} \text{ см}.$$

Выразив это расстояние в микронах (тысячных долях миллиметра), получим:

$$S = \frac{14}{10^2} \text{ микрона}.$$

Итак, найденная нами скорость настолько мала, что, если бы Земля двигалась с этой скоростью равномерно в течение 1 миллиарда лет, она сдвинулась бы меньше чем на одну шестую микрона, т. е. рас-

* См. об этом в моей книге «Занимательная астрономия» статью «Как взвесили Землю?».

стояние, неразличимое невооруженным глазом.



Рис. 13

На самом деле скорость, полученная Землей в результате толчка, произведенного ногами человека, не сохраняется.

Как только ноги человека отделятся от Земли, движение его начинает замедляться под действием притяжения Земли. Но если Земля притягивает человека с силой в 60 кг, то с такой же силой притягивает и человек Землю, а следовательно, одновременно с уменьшением скорости человека убывает и скорость, приобретенная Землей, и обе одновременно обращаются в нуль.

Таким образом, на короткий срок человек может сообщить Земле скорость, хотя и ничтожно малую, но не может вызвать перемещения ее. Человек мог бы сдвинуть земной шар силой своих мускулов, но только в том случае, если бы он мог найти опору, не связанную с Землей, как это показано на фантастическом рис. 13. Но при всем богатом воображении художника он, конечно, не мог показать, на что опираются ноги человека.

Ложный путь изобретательства

В поисках новых технических возможностей изобретатель должен неизменно держать свою мысль под контролем строгих законов механики, если не хочет вступить на путь бесплодного фантазерства. Не следует думать, что единственный общий принцип, которого не должна нарушать изобретательская мысль, есть закон сохранения энергии. Существует и другое важное положение, пренебрежение которым нередко заводит изобретателей в тупик и заставляет их бесплодно растрачивать свои силы. Это — закон движения центра тяжести.

Упомянутый закон утверждает, что движение центра тяжести тела (или системы тел) не может быть изменено действием одних лишь внутренних сил. Если летящая бомба разрывается, то, пока образовавшиеся осколки не достигли земли, общий центр их тяжести продолжает двигаться по тому же пути, по какому двигался центр тяжести целой бомбы (если пренебречь сопротивлением воздуха). В частном

случае, если центр тяжести тела был первоначально в покое (т. е. если тело было неподвижно), то никакие внутренние силы не могут переместить центра тяжести.

В предыдущей статье мы говорили о том, что человек, находящийся на земной поверхности, не может своими усилиями вызвать хотя бы самое малое перемещение Земли. Это объясняется законом движения центра тяжести. Силы, которыми действует человек на Землю и Земля на человека, суть силы внутренние, а следовательно, они не могут вызвать перемещения общего центра тяжести Земли и человека. Когда человек возвращается к своему прежнему положению на земной поверхности, возвращается к прежнему положению и Земля.

К какого рода заблуждениям приводит изобретателей пренебрежение рассматриваемым законом, показывает следующий поучительный пример — проект летательной машины совершенно нового типа. Представим себе, — говорит изобретатель, — замкнутую трубу (рис. 14), состоящую из двух частей: горизонтальной прямой *AB* и дугообразной части *ACB* — над ней. В трубах находится жидкость, которая непрерывно течет в одном направлении (течение поддерживается вращением винтов, размещенных в трубах). Течение жидкости в дугообразной части *ACB* трубы сопровождается центробежным давлением на наружную стенку. Получается некоторое усилие *P* (рис. 15), направленное вверх, — усилие, которому никакая другая сила не противодействует, так как движение жидкости по прямому пути *AB* не сопровождается центробежным давлением. Изобретатель делает отсюда тот вывод, что при достаточной скорости течения сила *P* должна увлечь весь аппарат вверх.

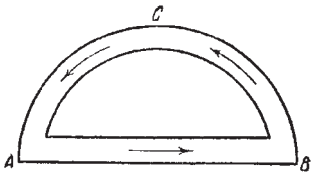


Рис. 14. Проект летательного аппарата нового типа

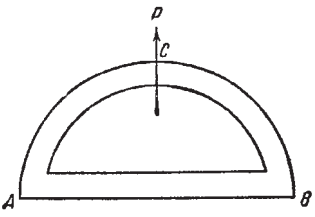


Рис. 15. Сила *P* должна увлекать аппарат вверх

Верна ли мысль изобретателя? Даже не входя в подробности механизма, можно заранее утверждать, что аппарат не сдвинется с места. В самом деле, так как действующие здесь силы — внутренние, то переместить центр тяжести всей системы (т. е. трубы вместе с наполняющей ее водой и механизмом, поддерживающим течение) они не могут. Машина, следовательно, не может получить

общего поступательного движения. В рассуждении изобретателя кроется какая-то ошибка, какое-то существенное упущение.

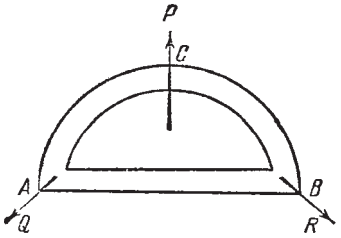


Рис. 16. Почему аппарат не взлетает

Нетрудно указать, в чем именно заключается ошибка. Автор проекта не принял во внимание, что центробежное давление должно возникать не только в кривой части *ACB* пути жидкости, но и в точках *A* и *B* поворота течения (рис. 16). Хотя кривой путь там и не длинен, зато повороты очень круты (радиус кривизны мал). А известно, что чем круче поворот (чем меньше радиус кривизны), тем центробежный эффект сильнее. Вследствие этого на поворотах должны действовать еще две силы *Q* и *R*, направленные наружу; равнодействующая этих сил направлена *вниз* и уравновешивает силу *P*. Изобретатель проглядел эти силы. Но и не зная о них, он мог бы понять непригодность своего проекта, если бы ему был известен закон движения центра тяжести.

Правильно писал еще четыре столетия назад великий Леонардо да Винчи, что законы механики «держат в узде инженеров и изобретателей для того, чтобы они не обещали себе или другим невозможные вещи».

Где центр тяжести летящей ракеты?

Может показаться, что молодое и многообещающее детище новейшей техники — ракетный двигатель — нарушает закон движения центра тяжести. Звездоплаватели хотят заставить ракету долететь до Луны — долететь под действием одних только внутренних сил. Но ведь ясно, что ракета унесет с собой на Луну свой центр тяжести. Что же станется в таком случае с нашим законом? Центр тяжести ракеты до ее пуска был на Земле, теперь он очутился на Луне. Более явного нарушения закона и быть не может!

Что можно возразить против такого довода? То, что он основан на недоразумении. Если бы газы, вытекающие из ракеты, не встречали земной поверхности, было бы ясно, что ракета вовсе не уносит с собой на Луну свой центр тяжести. Летит на Луну только *часть* ракеты: остальная же часть — продукты горения — движется в противопо-

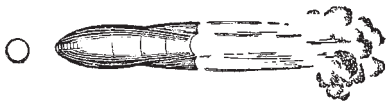
ложном направлении; поэтому центр инерции* всей системы остается там, где он был до вылета ракеты.

Теперь примем во внимание то обстоятельство, что вытекающие газы движутся не беспрепятственно, а ударяются о Землю. Тем самым в систему ракеты включается весь земной шар, и речь должна идти о сохранении центра инерции огромной системы «Земля — ракета». Вследствие удара газовой струи о Землю (или об ее атмосферу) наша планета несколько смещается, центр инерции ее отодвигается в сторону, противоположную движению ракеты. Масса земного шара настолько велика по сравнению с массой ракеты, что самого ничтожного, практически неуловимого его перемещения оказывается достаточно для уравновешения того смещения центра тяжести системы «Земля — ракета», которое обусловлено перелетом ракеты на Луну. Передвижение земного шара меньше расстояния до Луны во столько же раз, во сколько раз масса Земли больше массы ракеты (т. е. в сотни триллионов раз!).

Мы видим, что даже и в такой исключительной обстановке закон движения центра инерции не теряет своего смысла.

---

* Если речь идет о системе, состоящей из нескольких тел или многих частиц, то в механике часто говорят не о центре тяжести, а о центре инерции системы. Для систем, небольших по сравнению с Землей, можно считать, что центр инерции совпадает с центром тяжести.



ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ТЯЖЕСТЬ

Свидетельства отвеса и маятника

Отвес и маятник, без сомнения, простейшие (по крайней мере в идее) из всех приборов, какими пользуется наука. Тем удивительнее, что столь примитивными орудиями добыты поистине сказочные результаты: человеку удалось благодаря им проникнуть мысленно в недра Земли, узнать, что делается в десятках километров под нашими ногами. Мы вполне оценим этот подвиг науки, если вспомним, что глубочайшая буровая скважина мира не длиннее $3^1/_4$ км, т. е. далеко не достигает тех глубин, о которых дают нам показания находящиеся на поверхности земли отвес и маятник.

Механический принцип, лежащий в основе такого применения отвеса, нетрудно понять. Если бы земной шар был совершенно однороден, направление отвеса в любом пункте можно было бы определить расчетом. Неравномерное распределение масс близ поверхности или в глубине Земли изменяет это теоретическое направление. Близость горы, например, заставляет отвес несколько отклоняться в ее сторону — тем значительнее, чем ближе находится гора и чем больше ее масса. Возле обсерватории в Симеизе отвес испытывает заметное отклоняющее действие соседней стены Крымских гор; угол отклонения достигает полминуты. Еще сильнее отклоняют к себе отвес Кавказские горы: в Орджоникидзе на 37″, в Батуми на 39″. Наоборот, пустота в толще Земли оказывает на отвес как бы отталкивающее действие: он оттягивается в противоположную сторону окружающими массами. (При этом величина кажущегося отталкивания равна тому притяжению, которое должна была производить на отвес масса

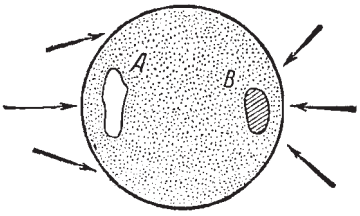


Рис. 17. Пустоты *(A)* и уплотнения *(B)* в толще земного шара отклоняют отвес

вещества, если бы полость была заполнена им.) Отвес отталкивается не только полостями, но — соответственно слабее — также и скоплениями веществ, менее плотных, чем основная толща Земли. Вот почему в Москве, вдали от всяких гор, отвес все же отклоняется к северу на 10″. Как мы видим, отвес может служить инструментом, помогающим судить о строении земных недр.

Еще больше в этом отношении может дать маятник. Этот прибор обладает следующим свойством: если размах его качаний не превышает нескольких градусов, то *продолжительность* одного качания почти не зависит от величины размаха: и большие, и малые качания длятся одинаково. Продолжительность качания зависит от других обстоятельств: от *длины* маятника и от *ускорения силы тяжести* в этом месте земного шара. Формула, связывающая продолжительность T одного полного (туда и назад) качания с длиною l маятника и с ускорением g силы тяжести, при малых колебаниях такова:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

При этом если длина l маятника берется в метрах, то ускорение g силы тяжести следует брать в метрах в секунду за секунду.

Если для исследования строения толщи Земли пользоваться «секундным» маятником, т. е. делающим одно (в одну сторону) колебание в секунду, то должно быть:

$$\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 1 \quad \text{и} \quad l = \frac{g}{\pi^2}.$$

Ясно, что всякое изменение силы тяжести должно отразиться на длине такого маятника: его придется либо удлинить, либо укоротить, чтобы он в точности отбивал секунды. Таким путем удается улавливать изменения силы тяжести в 0,0001 ее величины.

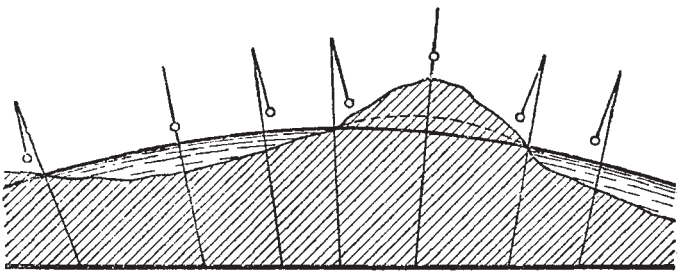


Рис. 18. Схема профиля земной поверхности и направления отвесов



Рис. 19. Вверху справа — вариометр. Вверху слева — схема устройства прибора

Не буду описывать техники выполнения подобных исследований с отвесом и маятником (она гораздо сложнее, чем можно думать). Укажу лишь на некоторые, наиболее интересные результаты.

Казалось бы, близ берегов океана отвес должен отклоняться всегда в сторону материка, как отклоняется он по направлению к горным массивам. Опыт не оправдывает этого ожидания. Маятник же свидетельствует, что на океане и на его островах напряжение силы тяжести больше, чем близ берегов, а возле берегов — больше, чем вдали от них, на материке. О чем это говорит? О том, очевидно, что толща Земли под материками составлена из более легких веществ, чем под дном океанов. Из таких физических фактов геологи черпают ценные указания для суждения о породах, слагающих кору нашей планеты.

Незаменимые услуги оказал подобный способ исследования при выявлении причин так называемой Курской магнитной аномалии. Приведу несколько строк отчета одного из ее исследователей*.

«...Можно с полной определенностью утверждать о наличии под земною поверхностью значительных притягивающих масс, причем граница этих масс

* Исследования в районе Курской аномалии производились не с отвесом, а с особыми крутильными весами (так называемым вариометром»). Нить прибора закручивается под действием притяжения подземных масс. Точность показаний этого удивительного прибора равна одной триллионной (10^{-12}) доле грамма! Притяжение больших гор вариометр «чувствует» на расстоянии 300 км. Вот краткое описание прибора (из статьи проф. П. М. Никифорова о Курской аномалии):

«Главную часть прибора составляют крутильные весы, изображенные схематически на рис. 19. Коромысло M_1E из тонкой алюминиевой трубки имеет длину около 40 см: к одному концу коромысла прикреплен золотой груз M_1 цилиндрической формы весом в 30 г, к другому подвешивается на проволоке EM_2 золотой подвесок M_2 также весом в 30 г. Коромысло подвешено на весьма тонкой платиново-иридиевой нити AO длиной 60–70 см. Для защиты от конвекционных токов воздуха крутильные весы окружаются оболочкой с тройными металлическими стенками. В приборе имеются две пары крутильных весов, повернутых на 180° относительно друг друга. S — плоское зеркало».

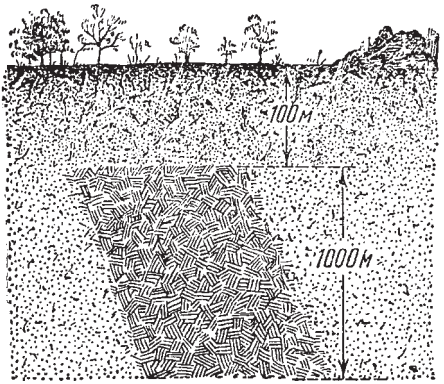


Рис. 20. Причина Курской аномалии: шток железной руды мощностью около тысячи метров на глубине ста метров

с западной стороны... устанавливается с совершенной отчетливостью. Вместе с тем представляется вероятным, что эти массы простираются преимущественно в восточном направлении, имея восточный скат более пологим, чем западный».

Известно, какое важное промышленное значение придается тем огромным запасам железной руды, которые обнаружены в районе Курской аномалии и которые исчисляются десятками миллиардов тонн, составляя половину мирового запаса. Приведу также некоторые результаты исследования аномалий (отклонений от нормы) силы тяжести на восточных склонах Урала (выполнено в 1930 г. ленинградскими астрономами):

> «Около Златоуста мы имеем наибольший максимум в силе тяжести, соответствующий подъему кристаллического массива Уральского хребта.
>
> Второй максимум к востоку от Козырево характеризует приближение к поверхности земли погруженного хребта.
>
> Третий максимум к востоку от Мишкино вновь дает указание о приближении древних пород к земной поверхности.
>
> И наконец, четвертый максимум к западу от Петропавловска вновь указывает на приближение тяжелых пород».

Перед нами два из многочисленных примеров практического применения физики в других, казалось бы, далеких от нее областях.

Маятник в воде

ЗАДАЧА

Вообразите, что маятник стенных часов качается в воде. Чечевица его имеет «обтекаемую» форму, которая сводит почти к нулю сопротивление воды движению чечевицы. Какова окажется продолжительность качания такого маятника: больше, чем вне воды, или меньше? Проще говоря: будет ли маятник качаться в воде быстрее, чем в воздухе, или медленнее?

РЕШЕНИЕ

Так как маятник качается в малосопротивляющейся среде, то, казалось бы, нет причины, которая могла бы заметно изменить скорость его качания. Между тем опыт показывает, что маятник в таких условиях качается медленнее, чем это может быть объяснено сопротивлением среды.

Это загадочное на первый взгляд явление объясняется выталкивающим действием воды на погруженные в нее тела. Оно как бы уменьшает вес маятника, не изменяя его массы. Значит, маятник в воде находится совершенно в таких же условиях, как если бы он был перенесен на другую планету, где ускорение силы тяжести слабее. Из формулы, приведенной в предыдущей статье, $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, следует, что с уменьшением ускорения силы тяжести g время колебания T должно возрасти: маятник будет колебаться медленнее.

На наклонной плоскости

ЗАДАЧА

Сосуд с водой стоит на наклонной плоскости (рис. 21). Пока он неподвижен, уровень AB воды в нем, конечно, горизонтален. Но вот сосуд начинает скользить по хорошо смазанной плоскости CD. Останется ли уровень воды в сосуде горизонтальным, пока сосуд скользит по плоскости?

РЕШЕНИЕ

Опыт показывает, что в сосуде, движущемся *без трения* по наклонной плоскости, уровень воды устанавливается параллельно этой плоскости. Объясним почему.

Вес P каждой частицы (рис. 22) можно представить себе разложенным на две составляющие силы: Q и R. Сила R увлекает частицы воды и сосуда в движение вдоль наклонной плоскости CD; при этом частицы воды будут оказывать на стенки сосуда такое же давление, как и в случае покоя (вследствие равенства скоростей движения сосуда

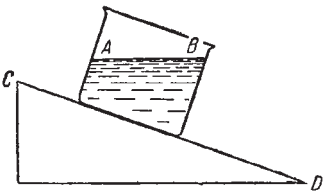


Рис. 21. Сосуд с водой скользит под уклон. Как расположится уровень воды?

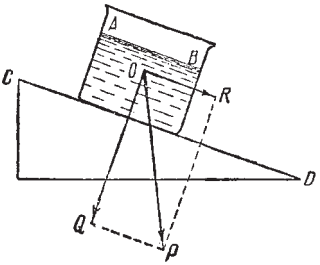


Рис. 22. Решение задач на рис. 21

и воды). Сила же Q придавливает частицы воды ко дну сосуда. Действие всех отдельных сил Q на воду будет такое же, как и действие силы тяжести на частицы всякой покоящейся жидкости: уровень воды установится перпендикулярно к направлению силы Q, т. е. параллельно длине наклонной плоскости.

А как установится уровень воды в баке, который (например, вследствие трения) скользит вниз по уклону *равномерным* движением?

Легко видеть, что в таком баке уровень должен стоять не наклонно, а *горизонтально*. Это следует уже из того, что равномерное движение не может внести в ход механических явлений никаких изменений по сравнению с состоянием покоя (классический принцип относительности).

Но следует ли это также из приведенного ранее объяснения? Конечно. Ведь в случае *равномерного* движения сосуда по наклонной плоскости частицы стенок сосуда не получают никакого ускорения; частицы же жидкости в сосуде, находясь под действием силы R, будут силой R придавливаться к передней стенке сосуда. Следовательно, каждая частица воды будет находиться под действием двух придавливающих сил R и Q, равнодействующая которых и есть вес P частицы, направленный вертикально. Вот почему уровень воды должен в этом случае установиться горизонтально. Только в самом начале движения, когда сосуд до получения постоянной скорости еще движется *ускоренно**, уровень воды принимает на короткое время наклонное положение.

Когда «горизонтальная» линия не горизонтальна

Если бы в сосуде или в баке, скользящем вниз *без трения*, находился вместо воды человек с плотничьим уровнем, он наблюдал бы странные явления. Тело его прижималось бы к наклонному дну сосуда совершенно так же, как в случае покоя прижимается к горизон-

* Надо помнить, что тело не может прийти в равномерное движение мгновенно: переходя от покоя к равномерному движению, тело не может миновать состояния *ускоренного* движения — состояния хотя бы весьма кратковременного.

тальному дну (только с меньшей силой). Значит, для такого человека наклонная плоскость дна сосуда становится словно горизонтальной. Соответственно этому те направления, которые он до начала движения считал горизонтальными, принимают для него наклонное положение. Перед ним была бы необычайная картина: дома, деревья стояли бы косо, поверхность пруда расстилалась бы наклонно, весь ландшафт повернулся бы «набекрень». Если бы удивленный «пассажир» не поверил своим глазам и приложил ко дну бака уровень, инструмент показал бы ему, что оно горизонтально. Словом, для такого человека «горизонтальное» направление не было бы горизонтально в обычном смысле слова.

Надо заметить, что вообще всякий раз, когда мы не сознаем уклонения нашего собственного тела от отвесного положения, мы приписываем наклон окружающим предметам. Летчику на вираже и человеку, катающемуся на карусели, кажется, что наклоняется вся окрестность.

Горизонтальный пол может утратить для вас свое горизонтальное положение даже и в том случае, когда вы движетесь не по наклонному, а по строго горизонтальному пути. Это бывает, например, при подходе поезда к станции или при отходе от нее — вообще в таких частях пути, где вагон идет *замедленно* или *ускоренно*.

Когда поезд начинает замедлять свой ход, мы можем сделать удивительное наблюдение: нам кажется, что пол понижается в направлении движения поезда, что идем вниз, когда шагаем вдоль вагона в направлении движения, и всходим вверх, когда идем в обратном направлении. А при отправлении поезда со станции пол как бы наклоняется в сторону, противоположную движению.

Мы можем устроить опыт, выясняющий причину кажущегося отклонения плоскости пола от горизонтального положения. Для этого достаточно иметь в вагоне чашку с вязкой жидкостью, например глицерином: во время ускорений движения поверхность жидкости принимает наклонное положение. Вам не раз случалось, без сомнения, наблюдать нечто подобное на водосточных желобах вагонов: когда поезд в дождь подходит к станции, вода из желобов на вагонных крышах стекает вперед, а при отходе поезда — назад. Происходит это оттого, что поверхность воды поднимается у края, противоположного направлению ускорения поезда.

Разберемся в причине этих любопытных явлений, причем будем рассматривать их не с точки зрения покоящегося наблюдателя, находящегося вне вагона, а с точки зрения такого наблюдателя, кото-

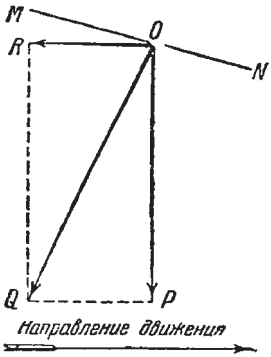


Рис. 23. Какие силы действуют на предметы в вагоне трогающегося поезда?

рый, помещаясь внутри вагона, сам участвует в ускоренном движении и, следовательно, относит все наблюдаемые явления к себе, словно считая себя неподвижным. Когда вагон движется ускоренно, а мы считаем себя покоящимися, то напор задней стенки вагона на наше тело (или увлекающее действие сиденья) воспринимается нами так, словно мы сами напираем на стенку (или увлекаем сиденье) с равной силой. Мы как бы подвержены действию двух сил: силы *R* (рис. 23), *направленной противоположно движению вагона*, и силы веса *P*, *прижимающей* нас *к полу*. Равнодействующая *Q* изобразит то направление, которое мы в таком состоянии будем считать отвесным. Направление *MN*, перпендикулярное к новому отвесу, станет для нас горизонтальным. Следовательно, прежнее горизонтальное направление *OR* будет казаться поднимающимся в сторону движения поезда и имеющим уклон в обратном направлении (рис. 24).

Что произойдет при таких условиях с жидкостью в тарелке? Ведь новое «горизонтальное» направление не совпадает с первоначальным уровнем жидкости, а следует (рис. 25, *а*) по линии *MN*. Это наглядно видно на рисунке, где стрелка указывает направление движения вагона. Картину всех явлений, происходящих в вагоне в момент отправления, легко представить себе, если вообразить, что вагон наклонился соответственно новому положению «горизонтальной» линии (рис. 25, *б*). Теперь ясно, почему вода должна вылиться через задний край тарелки (или дождевого желоба). Вы поймете также, почему

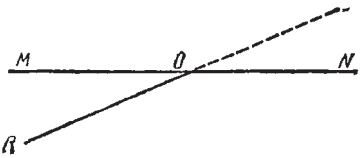


Рис. 24. Почему пол трогающегося вагона кажется наклонным?

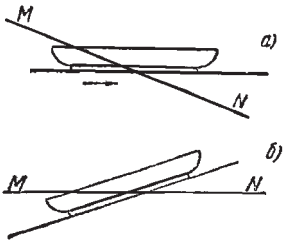


Рис. 25. Почему в трогающемся вагоне жидкость переливается через задний край блюдца?



Рис. 26

стоящие в вагоне люди должны при этом упасть назад (рис. 26). Этот всем известный факт обычно объясняют тем, что ноги увлекаются полом вагона в движение, в то время как туловище и голова еще находятся в покое.

Сходного объяснения придерживался и Галилей, как видно из следующего отрывка:

> «Пусть сосуд с водою имеет поступательное, но неравномерное движение, меняющее скорость и то ускоренное, то замедленное. Вот какие будут последствия неравномерности. Вода не вынуждена разделять движения сосуда. При уменьшении скорости сосуда она сохраняет приобретенное стремление и притечет к переднему концу, где и образуется поднятие. Если, напротив того, скорость сосуда увеличивается, вода сохранит более медленное движение, отстанет и при заднем конце заметно поднимется».

Такое объяснение, в общем, не хуже согласуется с фактами, чем приведенное ранее. Для науки представляет ценность то объяснение, которое не только согласуется с фактами, но и дает возможность учитывать их *количественно*. В данном случае мы должны предпочесть поэтому объяснение, которое было изложено раньше, — именно, что пол под ногами перестает быть горизонтальным. Оно дает возможность учесть явление количественно, чего нельзя сделать, придерживаясь обычной точки зрения. Если, например, ускорение поезда при отходе со станции равно 1 м/с^2, то угол QOP (рис. 23) между новым и старым отвесным направлением легко вычислить из треугольника QOP, где $QP : OP = 1 : 9{,}8 \approx 0{,}1$ (сила пропорциональна ускорению):

$$\operatorname{tg} QOP = 0{,}1; \quad \angle QOP \approx 6^\circ.$$

Значит, отвес, подвешенный в вагоне, должен в момент отхода отклониться на 6°. Пол под ногами словно наклонится на 6°, и, идя вдоль вагона, мы будем испытывать такое же ощущение, как и при ходьбе по дороге с уклоном в 6°. Обычный способ рассмотрения этих явлений не помог бы нам установить такие подробности.

Читатель заметил, без сомнения, что расхождение двух объяснений обусловлено лишь различием точек зрения: обыденное объяснение относит явления к неподвижному наблюдателю вне вагона, второе же объяснение относит те же явления к наблюдателю, участвующему в ускоренном движении.

Магнитная гора

В Калифорнии есть гора, о которой местные автомобилисты утверждают, что она обладает магнитными свойствами. Дело в том, что на небольшом участке дороги длиной 60 м у подножия этой горы наблюдаются необыкновенные явления. Участок этот идет наклонно. Если у автомобиля, едущего вниз по наклону, выключить мотор, то машина катится назад, т. е. вверх по уклону, как бы подчиняясь «магнитному притяжению» горы.

Это поразительное свойство горы считалось установленным настолько достоверно, что в соответствующем месте дороги красуется даже доска с описанием феномена.

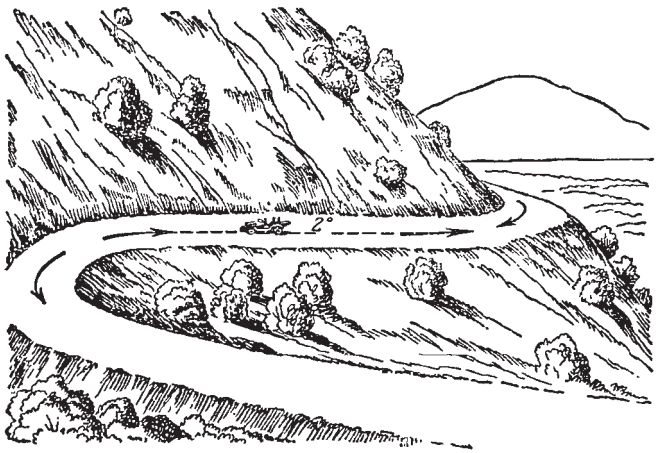


Рис. 27. Мнимая магнитная гора в Калифорнии

Нашлись, однако, люди, которым показалось сомнительным, чтобы гора могла притягивать автомобили. Для проверки произвели нивелировку этого участка дороги. Результат получился неожиданный: то, что все принимали за подъем, оказалось *спуском* с уклоном в 2°. Такой уклон может заставить автомобиль катиться без мотора на очень хорошем шоссе.

В горных местностях подобные обманы зрения довольно обычны и порождают немало легендарных рассказов.

Реки, текущие в гору

Иллюзией зрения объясняются также рассказы путешественников о реках, вода которых течет вверх по уклону. Привожу выписку об этом из книги одного физиолога, проф. Бернштейна «Внешние чувства»:

> «Во многих случаях мы склонны ошибаться при суждении о том, горизонтально ли данное направление, наклонено ли оно вверх или вниз. Идя, например, по слабо наклоненной дороге и видя в некотором расстоянии другую дорогу, встречающуюся с первой, мы представляем себе подъем второй дороги более крутым, чем на самом деле. С удивлением убеждаемся мы затем, что вторая дорога вовсе не так крута, как мы ожидали».

Объясняется эта иллюзия тем, что мы принимаем дорогу, по которой идем, за основную плоскость, к которой относим наклон других направлений. Мы бессознательно отождествляем ее с горизонтальной плоскостью и тогда, естественно, представляем себе преувеличенным наклон другого пути.

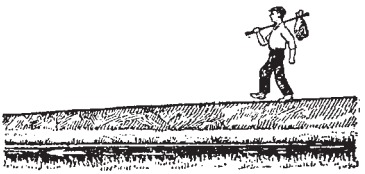


Рис. 28. Слабонаклонная дорога вдоль ручья

Этому способствует то, что мышечное наше чувство совсем не улавливает при ходьбе наклонов в 2–3°. На улицах Москвы, Киева и других холмистых городов часто приходится наблюдать иллюзию, о которой говорит ученый-физиолог. Еще любопытнее другой обман зрения, кото-



Рис. 29. Пешеходу на дороге кажется, что ручей течет вверх

рому случается поддаваться в неровных местностях: ручей кажется нам текущим в гору!

«При спуске по слабонаклонной дороге, идущей вдоль ручья (рис. 28), который имеет еще меньшее падение, т. е. течет почти горизонтально, нам часто кажется, что ручей течет вверх по уклону (рис. 29). В этом случае мы тоже считаем направление дороги горизонтальным, так как привыкли принимать ту плоскость, на которой мы стоим, за основу для суждения о наклоне других плоскостей» (Бернштейн).

Задача о железном пруте

Железный прут просверлен строго посередине. Через отверстие проходит тонкая прочная спица, вокруг которой, как вокруг горизонтальной оси, прут может вращаться (рис. 30). В каком положении остановится прут, если его завертеть?

Часто отвечают, что прут остановится в горизонтальном положении, «единственном, при котором он сохраняет равновесие». С трудом верят, что прут, подпертый в центре тяжести, должен сохранять равновесие в *любом* положении.

Почему же правильное решение столь простой задачи представляется многим невероятным? Потому, что обычно имеют перед глазами опыт с палкой, подвешенной за середину: такая палка устанавливается горизонтально. Отсюда делается поспешный вывод, что подпертый на оси прут тоже должен сохранять равновесие только в горизонтальном положении.

Однако подвешенная палка и подпертый прут находятся не в одинаковых условиях. Просверленный прут, опирающийся на ось, подперт строго в центре тяжести, а потому находится в так называемом безразличном равновесии. Палка же, подвешенная на нити, имеет

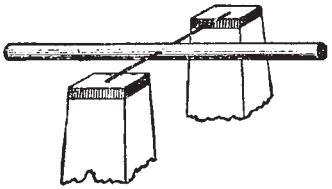


Рис. 30. Прут уравновешен на оси. Если его завертеть, в каком положении он остановится?

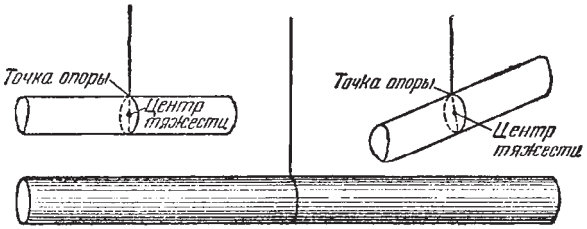
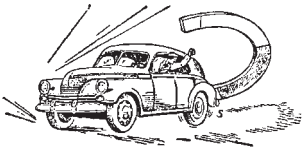


Рис. 31. Почему палка, подвешенная за середину, занимает горизонтальное положение?

точку привеса не в центре тяжести, а *выше* его (рис. 31). Тело, так подвешенное, будет находиться в покое только тогда, когда его центр тяжести лежит на одной отвесной линии с точкой привеса, т. е. при горизонтальном положении палки; при наклонении центр тяжести отходит от отвесной линии (рис. 31). Эта привычная картина и мешает многим согласиться с тем, что прут на горизонтальной оси может удержаться в равновесии в наклонном положении.



ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ПАДЕНИЕ И БРОСАНИЕ

Семимильные сапоги

Эти сказочные сапоги реально осуществляются теперь в своеобразной форме: в виде дорожного чемодана средних размеров, содержащего в себе оболочку маленького аэростата и прибор для добывания водорода. В любой момент спортсмен извлекает из небольшого чемодана оболочку, наполняет ее водородом и делается обладателем воздушного шара 5 м в диаметре. Подвязав себя к этому шару, человек может совершать огромные прыжки в высоту и в длину. Опасность быть совсем увлеченным ввысь не угрожает такому аэронавту, потому что подъемная сила шара все же немного меньше веса человека.

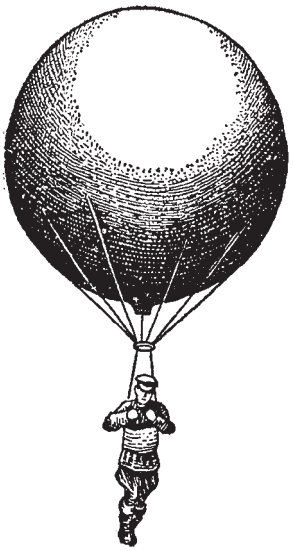


Рис. 32. Шар-прыгун

При старте первого советского стратостата «СССР», поставившего мировой рекорд высоты, такие шары (прыгуны) оказали существенную услугу команде: они помогли освободить запутавшиеся веревки стратостата.

Интересно рассчитать, какой высоты прыжки может совершать спортсмен, снабженный подобным шаром-прыгуном.

Пусть вес человека только на 1 кг превышает подъемную силу шара. Другими словами, человек, снабженный шаром, словно весит 1 кг — в 60 раз меньше нормального. Сможет ли он делать и прыжки в 60 раз большие?

Посмотрим.

Человек, привязанный к аэростату, увлекается вниз вместе с шаром силой в 1000 г или около 1 000 000 дин. Вес само-

го шара-прыгуна приблизительно 20 кг. Значит, сила в 1 000 000 дин действует на массу в 20 + + 60 = 80 кг. Ускорение a, приобретаемое массой в 80 кг от силы в 1 000 000 дин, равно:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{1\,000\,000}{80\,000} \approx 12 \text{ см/с}^2.$$

Человек при нормальных условиях может подпрыгнуть с места на высоту не выше 1 м. Соответствующую начальную скорость v получаем из формулы $v^2 = 2gh$:

$$v^2 = 2 \times 980 \times 100 \text{ см}^2/\text{с}^2,$$

откуда

$$v \approx 440 \text{ см/с}.$$

Подвязанный к шару человек при прыжке сообщает своему телу во столько раз меньшую скорость, во сколько раз масса человека вместе с шаром больше массы человека. (Это следует из формулы $Ft = mv$; сила F и продолжительность t ее действия в обоих случаях одинаковы; значит, одинаковы и количества движения mv; отсюда ясно, что скорость изменяется обратно пропорционально массе.) Итак, начальная скорость при прыжке с шаром равна:

$$440 \times \frac{60}{80} = 330 \text{ см/с}.$$

Теперь легко, пользуясь формулой $v^2 = 2ah$, вычислить высоту h прыжка:

$$330^2 = 2 \times 12h,$$

откуда

$$h \approx 4500 \text{ см} = 45 \text{ м}.$$

Итак, сделав наибольшее усилие, которое при обычных условиях подняло бы тело спортсмена на 1 м, человек с шаром подпрыгнет на высоту 45 м.

Интересно вычислить продолжительность подобных прыжков. Прыжок вверх на 45 м при ускорении в 12 см/с^2 должен длиться (формула $h = \frac{at^2}{2}$)

$$t = \sqrt{\frac{2h}{a}} = \sqrt{\frac{9000}{12}} \approx 27 \text{ с}.$$

Чтобы прыгнуть вверх и вернуться, надо затратить 54 с.

Такие медлительные, плавные прыжки обусловлены, конечно, незначительностью ускорения. Подобные ощущения при подпрыгивании мы могли бы без аэростата пережить только на каком-нибудь

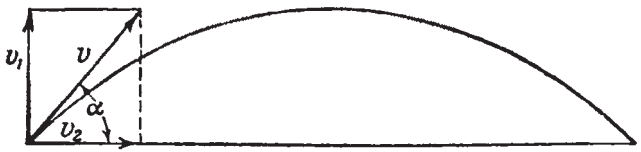


Рис. 33. Как летит тело, брошенное под углом к горизонту

крошечном астероиде, где ускорение тяжести значительно (в 60 раз) меньше, чем на нашей планете.

При только что проделанных расчетах, так же как и при следующих далее, мы совершенно пренебрегаем сопротивлением воздуха. В теоретической механике выводятся формулы, которые позволяют определить высоту и время наибольшего поднятия с учетом сопротивления воздуха. При движении в воздухе как высота, так и время наибольшего поднятия оказываются значительно меньше, чем при движении в пустоте.

Любопытно выполнить еще один расчет — определить длину наибольшего прыжка. Чтобы сделать прыжок в длину, спортсмен должен дать себе толчок под некоторым углом к горизонту. Пусть он сообщает при этом своему телу скорость v (рис. 33). Разложим ее на две составляющие: вертикальную v_1 и горизонтальную v_2. Они соответственно равны:

$$v_1 = v \sin \alpha; \quad v_2 = v \cos \alpha.$$

Через t секунд движение тела вверх прекратится, и в этот момент

$$v_1 = at,$$

откуда

$$t = \frac{v_1}{a}.$$

Значит, продолжительность подъема тела вместе со спуском равна:

$$2t = \frac{2v \sin \alpha}{a}.$$

Скорость v_2 будет относить тело равномерно в горизонтальном направлении в течение всего промежутка времени, пока оно будет двигаться вверх и вниз. За этот промежуток времени тело перенесется на расстояние

$$S = 2v_2 t = 2v \cos \alpha \times \frac{v \sin \alpha}{a} = \frac{2v^2}{a} \sin \alpha \cos \alpha = \frac{v^2 \sin 2\alpha}{a}.$$

Это и есть длина прыжка.

Наибольшей величины постигнет она при $\sin 2\alpha = 1$, так как синус не может быть больше единицы. Отсюда $2\alpha = 90^\circ$ и $\alpha = 45^\circ$. Значит, при отсутствии сопротивления атмосферы спортсмен сделает самый длинный прыжок тогда, когда оттолкнется от Земли под углом к ней, равным половине прямого. Величину этого наибольшего прыжка узнаем, если в формулу

$$S = \frac{v^2 \sin 2\alpha}{a}$$

подставим $v = 330$ см/с, $\sin 2\alpha = 1$; $a = 12$ см/с^2. Получим:

$$S = \frac{330^2}{12} \approx 90 \text{ м}.$$

Прыжки вертикальные — около 45 м и под углом в 45° на расстояние 90 м — дают возможность прыгать через многоэтажные дома*.

Вы можете проделать в миниатюре подобные опыты, если к детскому воздушному шарику подвяжете бумажного спортсмена, вес которого немного превышает подъемную силу шара. При легком толчке фигурка будет высоко подпрыгивать и затем опускаться вниз. Однако в этом случае сопротивление воздуха, несмотря на малую скорость, будет играть более заметную роль, чем при прыжках настоящего спортсмена.

Человек-бомба

Человек-бомба — поучительный номер цирковой программы. Состоит он в том, что артист помещается в канале пушки, выбрасывается оттуда выстрелом, описывает высокую дугу в воздухе и падает на сетку в 30 м от орудия (рис. 34). Аналогичный номер мы все видели в известном кинофильме «Цирк», в котором артистка совершает полет из пушки под купол цирка.

Слова «пушка» и «выстрел» нам следовало бы поставить в кавычках, потому что это не настоящая пушка и не настоящий выстрел. Хотя из жерла орудия и вырывается клуб дыма, но артист выбрасывается не силой порохового взрыва. Дым устраивается лишь для эффекта, чтобы поразить зрителей. На деле же движущей силой

* Полезно запомнить, что вообще наибольшая дальность падения тела, брошенного под углом в 45° к отвесной линии, равна двойной высоте отвесного подъема при той же начальной скорости.

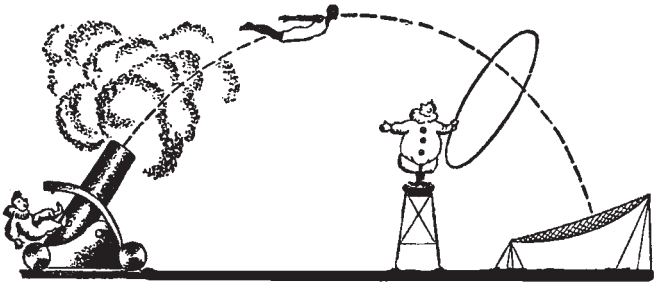


Рис. 34. Человек-снаряд в цирке

является пружина, одновременно со спуском которой появляется бутафорский дым: создается иллюзия, что человек-бомба выстреливается пороховым зарядом.

На рис. 35 изображена схема описываемого циркового номера. Вот числовые данные о номере, выполняемом искуснейшим из людей-бомб, артистом Лейнертом, который выступал в наших цирках:

Наклон пушки	70°
Наибольшая высота полета	19 м
Длина ствола пушки	6 »

Представляют большой интерес те совершенно исключительные условия, в которых оказывается организм артиста при выполнении этого номера. В момент выстрела тело его подвергается давлению, ощущаемому как увеличенная тяжесть. Затем во время свободного полета артист как бы ничего не весит*. Наконец, в момент падения на сетку артист снова подвергается действию увеличенной тяжести. Названный выше артист переносил все это без вреда для здоровья. Интересно в точности установить эти условия, так как будущие моряки вселенной, которые отважатся отправиться на ракетном корабле в мировое пространство, должны будут пережить подобные же ощущения.

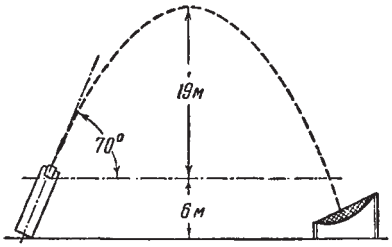


Рис. 35. Схема полета человека-снаряда

* См. мои книги: «Занимательная физика», «Межпланетные путешествия».

В *первой* фазе движения артиста, которая протекает еще внутри пушки, нас интересует величина «искусственной тяжести». Мы узнаем ее, если вычислим *ускорение тела* в канале пушки. Для этого необходимо знать проходимый телом путь, т. е. длину пушки, а также скорость, приобретаемую в конце этого пути. Первый известен — 6 м. Скорость же можно вычислить, зная, что это та скорость, с какой надо подбросить свободное тело, чтобы оно взлетело на высоту 19 м.

В предыдущей статье мы вывели формулу

$$t = \frac{v \sin \alpha}{a},$$

где t — продолжительность подъема вверх, v — начальная скорость, α — угол, под которым брошено тело, a — ускорение. Кроме того, известна высота h подъема вверх.

Так как

$$h = \frac{gt^2}{2} = \frac{g}{2} \times \frac{v^2 \sin^2 \alpha}{g^2} = \frac{v^2 \sin^2 \alpha}{2g},$$

то можно вычислить скорость v:

$$v = \frac{\sqrt{2gh}}{\sin \alpha}.$$

Значение букв, входящих в формулу, нам понятно: $g = 9{,}8$ м/с^2, $\alpha = 70°$. Что касается высоты подъема h, то, как видно из рис. 34, мы должны принять ее равной $25 - 6 = 19$ м. Итак, искомая скорость

$$v = \frac{\sqrt{19{,}6 \times 19}}{0{,}94} \approx 20{,}6 \text{ м/с}.$$

С такой скоростью тело артиста покидает пушку и, следовательно, такую скорость имеет оно у жерла орудия. Пользуясь формулой $v^2 = 2aS$, имеем:

$$a = \frac{v^2}{2S} = \frac{20{,}6^2}{12} \approx 35 \text{ м/с}^2.$$

Мы узнали, что ускорение, с каким движется тело артиста в стволе орудия, равно 35 м/с^2, т. е. приблизительно в $3^1/_2$ раза больше обычного ускорения силы тяжести. Поэтому артист будет в момент выстрела чувствовать себя в $4^1/_2$ раза тяжелее обычного: к нормальному его весу прибавился $3^1/_2$-кратный «искусственный вес»*.

* Это не вполне точно, потому что «искусственная тяжесть» действует под углом 20° к отвесу, нормальная же направлена отвесно. Однако разница невелика.

Сколько времени длится ощущение увеличенного веса? Из формулы $S = \frac{at^2}{2} = \frac{at \times t}{2} = \frac{vt}{2}$ имеем:

$$6 = \frac{20{,}6 \times t}{2},$$

откуда

$$t = \frac{12}{20{,}6} \approx 0{,}6 \text{ с}.$$

Значит, артист более полсекунды будет ощущать, что он весит не 70 кг, а около 300 кг.

Перейдем теперь ко *второй* фазе циркового номера — к свободному полету артиста в воздухе. Здесь нас интересует продолжительность полета; сколько времени артист не ощущает никакого веса?

В предыдущей статье мы установили (с. 530), что продолжительность подобного полета равна:

$$\frac{2v \sin \alpha}{a}.$$

Подставив известные нам значения букв, узнаем, что искомая продолжительность равна:

$$\frac{2 \times 20{,}6 \times \sin 70^\circ}{9{,}8} \approx 3{,}9 \text{ с}.$$

Ощущение полной невесомости длится около 4 секунд.

В *третьей* фазе полета определим, как и в первой, величину «искусственной тяжести» и продолжительность этого состояния. Если бы сетка находилась на уровне жерла пушки, артист достиг бы ее с такой же скоростью, с какой начал свой полет. Но сетка поставлена несколько ниже, и оттого скорость артиста будет больше, однако разница весьма мала, и, чтобы не усложнять расчетов, мы ею пренебрежем. Принимаем, следовательно, что артист достиг сетки со скоростью 20,6 м/с. Измерено, что, упав на сетку, артист вдавливает ее на 1,5 м. Значит, скорость 20,6 м/с превращается в нуль на пути 1,5 м. По формуле $v^2 = 2aS$ имеем:

$$20{,}6^2 = 2a \times 1{,}5,$$

откуда ускорение

$$a = \frac{20{,}6^2}{2 \times 1{,}5} \approx 141 \text{ м/с}^2.$$

Мы узнали, что, вдавливая сетку, артист подвергается ускорению в 141 м/с^2 — в 14 раз большему, чем ускорение тяжести. В течение

некоторого времени он чувствовал себя в 15 раз тяжелее нормального своего веса! Это необычайное состояние длилось, однако, всего

$$\frac{2 \times 1{,}5}{20{,}6} \approx \frac{1}{7} \text{ с.}$$

Даже привычный организм циркового артиста не мог бы безнаказанно перенести 15-кратное усиление тяжести, если бы это не длилось столь ничтожное время. Ведь человек весом 70 кг приобретает вес целой тонны! Длительное действие такой нагрузки должно было бы раздавить человека, во всяком случае лишить его возможности дышать, так как мускулы не смогут «поднять» столь тяжелую грудную клетку.

Рекорд бросания мяча

ЗАДАЧА

На областной колхозно-совхозной спартакиаде в Харькове в 1934 г. физкультурница Синицкая в бросании мяча двумя руками установила новый всесоюзный рекорд: 73 м 92 см.

Как далеко должен закинуть мяч физкультурник в Ленинграде, чтобы побить этот рекорд?

РЕШЕНИЕ

Казалось бы, ответ простой: надо закинуть мяч хотя бы на 1 см дальше. Как ни странно это покажется иным спортсменам, такой ответ *неверен*. Если бы кто-нибудь закинул мяч в Ленинграде на дистанцию даже на 5 см короче, он — при правильной оценке — должен быть признан побившим рекорд Синицкой.

Наш читатель, вероятно, догадывается, в чем дело. Дальность бросания зависит от ускорения силы тяжести, а тяжесть в Ленинграде больше, чем в Харькове. Сравнивать достижения в обоих пунктах, не учитывая различия в напряжении силы тяжести, неправильно: в Харькове физкультурник поставлен природой в более благоприятные условия, чем в Ленинграде.

Остановимся на теории. Тело, брошенное под углом α к горизонту со скоростью v, падает на расстоянии*

$$S = \frac{v^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

* Для упрощения вычислений мы пренебрегаем сопротивлением воздуха.

Величина *g* ускорения силы тяжести в различных пунктах различна и, в частности, например, равна на широте

Архангельска (64° 30′)	982	см/с^2
Ленинграда (60°)	981,9	»
Харькова (50°)	981,1	»
Каира (30°)	979,3	»

Из приведенной формулы для дальности бросания видно, что при равных прочих условиях дистанция обратно пропорциональна величине *g*. Несложный расчет показывает, что то усилие, которое человек затрачивает, чтобы забросить мяч в Харькове на 73 м 92 см, уносит тот же мяч в других местах на следующие расстояния:

в Архангельске	73	м	85	см
в Ленинграде	73	»	86	»
в Каире	74	»	5	»

Итак, чтобы побить в Ленинграде рекорд харьковской физкультурницы, закинувшей мяч на 73 м 92 см, достаточно превзойти дистанцию 73 м 86 см. Каирский спортсмен, повторивший харьковский рекорд, на самом деле отстал бы от него на 12 см, а архангельский физкультурник, бросивший мяч на дистанцию, 7 сантиметрами меньшую, нежели Синицкая, в действительности побил бы поставленный ею рекорд.

По хрупкому мосту

Озадачивающий случай описывает Жюль Верн в романе «В 80 дней вокруг света». Висячий железнодорожный мост в Скалистых горах грозил обрушиться из-за поврежденных ферм. Тем не менее бравый машинист решил вести по нему пассажирский поезд.

«— Но мост может обрушиться!

— Это не имеет значения; пустив поезд на всех парах, мы имеем шанс проехать.

Поезд пошел вперед с невероятной скоростью. Поршни делали 20 ходов в секунду. Оси дымились. Поезд словно не касался рельсов. Вес был уничтожен скоростью... Мост был пройден. Поезд перепрыгнул через него с одного берега на другой. Но едва успел он переехать реку, как мост с грохотом обрушился в воду».

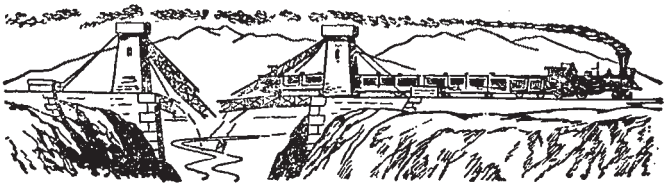


Рис. 34. Эпизод с мостом в романе Жюля Верна

Правдоподобна ли эта история? Можно ли «уничтожить вес скоростью»? Мы знаем, что железнодорожное полотно при быстром ходе поезда страдает больше, чем при медленном; на слабых участках пути предписывается поэтому идти тихим ходом. В данном же случае спасение было именно в быстром ходе. Возможно ли это?

Оказывается, описанный случай не лишен правдоподобия. При известных условиях поезд мог избегнуть крушения, несмотря на то что мост под ним разрушается. Все дело в том, что поезд пронесся через мост в чрезвычайно малый промежуток времени. В столь краткий миг мост просто *не успел* обрушиться... Вот примерный расчет. Ведущее колесо пассажирского паровоза имеет диаметр 1,3 м. «Двадцать ходов поршня в секунду» дают 10 полных оборотов ведущего колеса, т. е. 10 раз по 3,14 × 1,3. Это составляет 41 м; такова секундная скорость. Горный поток был, вероятно, неширок; длина моста могла быть, скажем, метров 10. Значит, при своей чудовищной скорости поезд пронесся по нему в $^1/_4$ секунды. Если бы даже мост начал разрушаться с первого мгновения, то передняя его часть за $^1/_4$ секунды успела опуститься на

$$\frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \times 9{,}8 \times \frac{1}{16} \approx 0{,}3 \text{ м},$$

т. е. на 30 см. Мост оборвался не на обоих концах сразу, а сначала на том конце, на который въехал паровоз. Пока эта часть моста начинала свое падение, опускаясь на первые сантиметры, противоположный конец еще сохранял связь с берегом, так что поезд (весьма короткий) мог, пожалуй, успеть проскользнуть на противоположный берег, прежде чем разрушение дошло до этого конца. В таком смысле и надо понимать образное выражение романиста: «Вес был уничтожен скоростью».

Неправдоподобие эпизода состоит в другом: в «20 ходах поршня в секунду», порождающих 150-километровую часовую скорость. Такой скорости паровоз того времени развить не мог.

Надо заметить, что нечто сходное с только что описанным проделывают иногда конькобежцы: они рискуют быстро проскальзывать по тонкому льду, который, наверное, проломился бы под ними при медленном движении.

Следует также иметь в виду, что образное выражение «вес уничтожен скоростью» применимо и в случае движения по выпуклому мосту. В этом случае увеличение скорости приводит к уменьшению давления движущегося тела на мост.

Три пути

ЗАДАЧА

На отвесной стене начерчен круг (рис. 37), диаметр которого равен 1 м. От верхней его точки вдоль хорд *AB* и *AC* идут желобки. Из точки *A* одновременно пущены три дробинки: одна свободно падает вниз, две другие скользят без трения и не катясь по гладким желобкам. Какая из трех дробинок раньше достигнет окружности?

РЕШЕНИЕ

Так как путь по желобку *AC* самый короткий, то можно подумать, что, скользя по нему, дробинка достигнет окружности раньше других. Второе место в состязании должна, по-видимому, занять дробинка, скользящая вдоль *AB*; и, наконец, последней достигнет окружности дробинка, падающая отвесно.

Опыт обнаруживает ошибочность этих заключений; все дробинки достигают окружности *одновременно*!

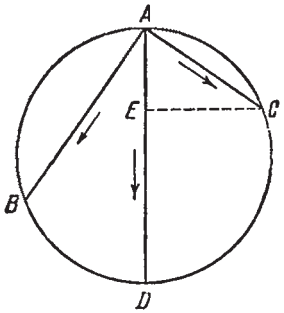


Рис. 37. Задача о трех дробинках

Причина в том, что дробинки движутся с различными скоростями: быстрее всех движется свободно падающая, а из двух скользящих по желобам быстрее та, путь которой наклонен круче. По более длинным путям дробинки, как мы видим, движутся быстрее, и можно доказать, что выигрыш от большой скорости как раз покрывает потерю от длинного пути.

В самом деле, продолжительность t падения по отвесной линии *AD* (если отвлечься от сопротивления воздуха) определяется по формуле

$$AD = \frac{gt^2}{2},$$

откуда

$$t = \sqrt{\frac{2AD}{g}}.$$

Продолжительность t_1 движения по хорде — например, по AC — равна:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2AC}{a}},$$

где a — ускорение движения по наклонной линии AC. Но легко установить, что

$$\frac{a}{g} = \frac{AE}{AC} \text{ и } a = \frac{AE \times g}{AC}.$$

Рис. 37 показывает, что

$$\frac{AE}{AC} = \frac{AC}{AD}$$

и, следовательно,

$$a = \frac{AC}{AD} \times g.$$

Значит,

$$t_1 = \sqrt{\frac{2 \times AC}{a}} = \sqrt{\frac{2 \times AC \times AD}{AC \times g}} = \sqrt{\frac{2AD}{g}} = t.$$

Итак, $t = t_1$, т. е. продолжительность движения по хорде и по диаметру одинакова. Это относится, конечно, не только к AC, но и ко всякой вообще хорде, проведенной из точки A.

Ту же задачу можно поставить и в иной форме. Три тела движутся под действием силы тяжести по хордам AD, BD и CD круга, расположенного в вертикальной плоскости (рис. 38). Движение началось одновременно в точках A, B и C. Какое тело раньше достигнет точки D?

Читатель не затруднится теперь доказать самостоятельно, что тела должны достичь точки D одновременно.

Рассмотренная задача была поставлена и разрешена Галилеем в книге «Беседы о двух новых отраслях науки» (есть русский перевод), где впервые изложены открытые им законы падения тел.

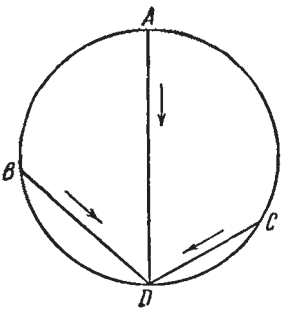


Рис. 38. Задача Галилея

Там находим доказательство теоремы, формулированной Галилеем так: «Если из

высшей точки круга, построенного над горизонтом, проведены различные наклонные плоскости, доведенные до окружности, то времена падения по ним одинаковы».

Задача о четырех камнях

С вершины башни брошены с одинаковой скоростью четыре камня: один — отвесно вверх, второй — отвесно вниз, третий — горизонтально вправо, четвертый — горизонтально влево.

Какую форму имеет тот четырехугольник, в вершинах которого будут находиться камни во время падения? Сопротивления воздуха в расчет не принимать.

РЕШЕНИЕ

Большинство приступает к решению этой задачи с мыслью, что падающие камни должны расположиться в вершинах четырехугольника, форма которого напоминает фигуру бумажного змея. Рассуждают так: камень, брошенный вверх, удаляется от исходной точки медленнее, чем брошенный вниз; брошенные же в стороны летят по кривым линиям с некоторой промежуточной скоростью. Забывают при этом подумать о том, с какой скоростью опускается центральная точка искомой фигуры.

Легче получить правильное решение, рассуждая иначе. Именно: сделаем сначала допущение, что тяжести нет вовсе.

В таком случае, конечно, четыре брошенных камня располагались бы в каждый момент на вершинах квадрата.

Но что изменится, если мы введем в действие тяжесть? В несопротивляющейся среде все тела падают с одинаковой скоростью. Поэтому наши четыре камня под действием силы тяжести опустятся на одно и то же расстояние, т. е. квадрат перенесется параллельно самому себе и сохранит фигуру квадрата.

Итак, брошенные камни расположатся в вершинах квадрата.

К сейчас рассмотренной задаче примыкает

Задача о двух камнях

С вершины башни брошены два камня со скоростью трех метров в секунду: один — отвесно вверх, другой — отвесно вниз.

С какой скоростью они удаляются один от другого?

Сопротивлением воздуха пренебречь.

РЕШЕНИЕ

Рассуждая, как в предыдущем случае, мы легко придем к правильному выводу: камни удаляются один от другого со скоростью 3 + 3, т. е. 6 м/с. Скорость *падения* здесь, как ни странно, никакого значения не имеет: ответ одинаков для любого небесного тела — для Земли, Луны, Юпитера и т. п.

Игра в мяч

ЗАДАЧА

Игрок бросает мяч своему партнеру, находясь в 28 м от него. Мяч летит четыре секунды. Какой наибольшей высоты достиг мяч?

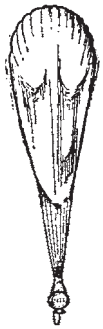
РЕШЕНИЕ

Мяч двигался 4 секунды, совершая одновременно перемещение в горизонтальном и в отвесном направлениях. Значит, на подъем и обратное падение он употребил 4 секунды, из них 2 секунды на подъем и 2 на падение (в учебниках механики доказывается, что продолжительность подъема равна продолжительности падения). Следовательно, мяч опустился на расстояние

$$S = \frac{gt^2}{2} = \frac{9{,}8 \times 2^2}{2} = 19{,}6 \text{ м}.$$

Итак, наибольшая высота подъема мяча была около 20 м. Расстояние между игроками (28 м) — данное, которым нам не пришлось воспользоваться.

При столь умеренных скоростях можно пренебрегать сопротивлением воздуха.



ГЛАВА ПЯТАЯ

КРУГОВОЕ ДВИЖЕНИЕ

Простой способ прибавиться в весе

Мы часто желаем своим больным знакомым «прибавиться в весе». Если бы речь шла только об этом, то добиться увеличения веса можно очень скоро без усиленного питания и заботы о своем здоровье: достаточно только сесть в карусель. Катающиеся на карусели обычно и не подозревают, что, сидя в возке, они буквально прибавляются в весе. Несложный расчет покажет нам величину прибавки.

Пусть (рис. 39) *MN* — та ось, вокруг которой обращаются возки карусели. Когда карусель вращается, возок, подвешенный к ней, стремясь вместе с пассажиром двигаться по инерции в направлении касательной и, следовательно, удалиться от оси, занимает наклонное положение, показанное на рис. 39. Вес *P* пассажира разлагается при этом на две силы: одна сила *R* направлена горизонтально в сторону оси и является той центростремительной силой, которая поддерживает круговое движение; другая *Q* направлена вдоль веревки и придавливает пассажира к возку; она ощущается пассажиром как вес. «Новый вес», мы видим, больше нормального *P* и равен $\frac{P}{\cos \alpha}$. Чтобы найти величину угла α между *P* и *Q*, надо знать величину силы *R*. Сила эта центростремительная; следовательно, порождаемое ею ускорение

$$a = \frac{v^2}{r},$$

где v — скорость центра тяжести возка, а r — радиус кругового движения, т. е. расстояние центра тяжести возка от оси *MN*. Пусть это расстояние 6 м, а число оборотов карусели — 4 в минуту; значит, в секунду возок описывает $^1/_{15}$ полного круга. Отсюда его окружная скорость:

$$v = \frac{1}{15} \times 2 \times 3{,}14 \times 6 \approx 2{,}5 \text{ м/с}.$$

Теперь находим величину ускорения, порождаемого силой R:

$$a = \frac{v^2}{r} = \frac{250^2}{600} \approx 104 \text{ см/с}^2.$$

Так как силы пропорциональны ускорениям, то

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{104}{908} \approx 0{,}1; \ \alpha \approx 7^\circ.$$

Мы установили раньше, что «новый вес» $Q = \frac{P}{\cos \alpha}$. Значит,

$$Q = \frac{P}{\cos 7^\circ} = \frac{P}{0{,}994} = 1{,}006\, P.$$

Если человек при обычных условиях весил 60 кг, то сейчас он прибавится в весе примерно на 360 г.

Если на обыкновенной, сравнительно медленно вращающейся карусели кажущаяся прибавка веса малоощутительна, то на быстроходных центробежных приборах малого радиуса она доводится в некоторых случаях до огромной величины. Существует прибор подобного рода — так называемая ультрацентрифуга, вращающаяся часть которой делает 80 000 оборотов в минуту. С помощью этого прибора достигается возрастание веса в четверть миллиона раз! Каждая мельчайшая капелька жидкости, исследуемой на этом приборе, при нормальном весе в 1 мг как бы превращается в тяжелое тело весом в четверть килограмма.

Теперь вы, вероятно, будете осторожнее и станете высказывать знакомым пожелание прибавиться не в весе, а в массе.

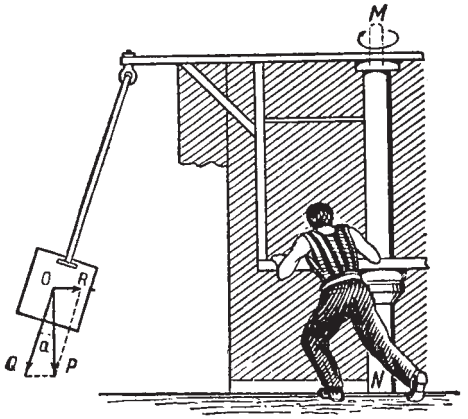


Рис. 39. Живой двигатель карусели. Показаны силы, действующие на возок

Небезопасный аттракцион

В одном из парков Москвы предполагалось устроить новый аттракцион. Проектировалось нечто вроде «гигантских шагов», но к концам канатов (или штанг) предполагалось прикрепить модели аэропланов. При быстром вращении канаты должны откинуться и поднять вверх аэропланы с сидящими в них пассажирами. Устроители желали придать карусели такое число оборотов, чтобы канаты или штанги протянулись почти горизонтально. Проект не был осуществлен, так как выяснилось, что здоровье пассажиров лишь до тех пор будет в безопасности, пока канат имеет довольно заметный наклон. Величину предельного отклонения каната от вертикали легко вычислить, исходя из того, что организм человека может переносить безвредно лишь трехкратное увеличение тяжести.

Здесь нам пригодится рис. 39, которым мы пользовались в предыдущей статье. Мы желаем, чтобы искусственная тяжесть Q превосходила естественный вес P не более чем в 3 раза, т. е. чтобы лишь в предельном случае имело место равенство

$$\frac{Q}{P} = 3,$$

но

$$\frac{Q}{P} = \frac{1}{\cos\alpha};$$

следовательно,

$$\frac{1}{\cos\alpha} = 3 \quad \text{и} \quad \cos\alpha = \frac{1}{3} \approx 0{,}33,$$

откуда

$$\alpha \approx 71^\circ.$$

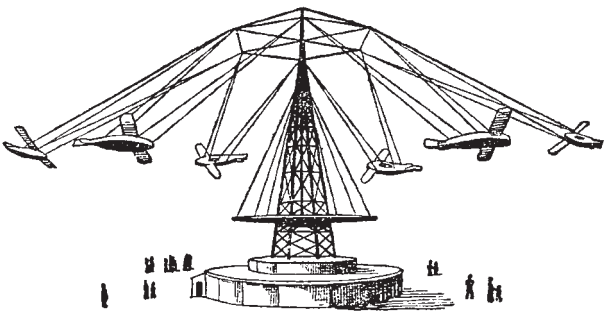


Рис. 40. Карусель с аэропланами

Итак, канат не должен отклоняться от отвесного положения более чем на 71° и, значит, не может приближаться к горизонтальному положению ближе чем на 19°.

Рис. 40 изображает такого типа аттракцион. Вы видите, что наклон канатов далеко не достигает здесь предельного.

На железнодорожном закруглении

«Сидя в вагоне железной дороги, который двигался по кривой, — рассказывает один физик, — я заметил вдруг, что деревья, дома, фабричные трубы близ дороги приняли наклонное положение».

Подобные явления наблюдаются иногда пассажирами поездов при большой скорости движения.

Нельзя усматривать причину в том, что наружные рельсы на закруглениях укладываются выше внутренних и что, следовательно, вагон идет по дуге закругления в несколько косом положении. Если высунуться из окна и рассматривать окрестности не в наклонной рамке — иллюзия остается.

После сказанного в предыдущих статьях едва ли нужно подробно объяснять истинную причину этого явления. Читатель уже догадался, вероятно, что отвес, висящий в вагоне, должен принять наклонное положение в тот момент, когда поезд огибает кривую. Эта новая вертикальная линия заменяет для пассажира прежнюю; оттого-то все, что имеет направление прежнего отвеса, становится для него косым*.

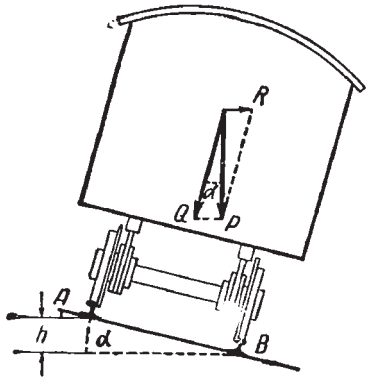


Рис. 41. Вагон идет по закруглению. Какие на него действуют силы? Внизу — поперечный наклон полотна дороги

Новое направление отвесной линии легко определяется из рис. 41. На нем буквой *P* обозначена сила тяжести, буквой *R* — сила центро-

* Так как вследствие вращения Земли точки земной поверхности движутся по дугам, то и на «твердой земле» отвес не направлен строго к центру нашей планеты, а отклоняется от этого направления на небольшой угол (на широте Ленинграда — 4°, на 45-й параллели — на наибольшую величину, 6°; на полюсе же и на экваторе вовсе не отклоняется).

стремительная. Составляющая Q будет заменять для пассажира силу тяжести; все тела в вагоне будут падать в этом направлении. Величина угла α отклонения от отвесного направления определяется из уравнения

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{R}{P}.$$

А так как сила R пропорциональна $\frac{v^2}{r}$, где v — скорость поезда, а r — радиус дуги закругления, сила же P пропорциональна ускорению тяжести g, то

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{v^2}{r} : g = \frac{v^2}{rg}.$$

Пусть скорость поезда 18 м/с (65 км/ч), а радиус закругления 600 м. Тогда

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{18^2}{600 \times 9{,}8} \approx 0{,}055,$$

откуда

$$\alpha \approx 3^\circ.$$

Это мнимо-отвесное* направление мы неизбежно будем считать за отвесное, действительно же отвесные предметы покажутся нам наклоненными на 3°. При поездке по горной Сен-Готардской дороге с многочисленными кривыми участками, пассажиры видят порой окружающие отвесные предметы покосившимися градусов на 10.

Чтобы вагон на закруглении держался устойчиво, наружный рельс на закруглении возвышают над внутренним на величину, соответствующую новому направлению отвесной линии. Например, для сейчас рассмотренного закругления наружный рельс A (рис. 41) должен быть приподнят на величину h, удовлетворяющую уравнению

$$\frac{h}{AB} = \sin\alpha,$$

где AB есть ширина колеи, равная приблизительно 1,5 м; $\sin\alpha = \sin 3^\circ = 0{,}052$. Значит,

$$h = AB \sin\alpha = 1500 \times 0{,}052 \approx 80 \text{ мм}.$$

Наружный рельс должен быть уложен на 80 мм выше внутреннего. Легко понять, что это возвышение отвечает лишь определенной скорости, но изменять его соответственно скорости поезда нельзя; при устройстве закруглений имеют поэтому в виду некоторую преобладающую скорость движения.

* Вернее — временно-отвесное для данного наблюдателя.

Дорога не для пешеходов

Стоя у кривой части железнодорожного пути, мы едва ли заметили бы, что наружный рельс уложен здесь немного выше внутреннего. Другое дело — дорожка для велосипедов на велодроме: закругления в этих случаях имеют гораздо меньший радиус, скорость же довольно велика, так что угол наклона получается весьма значительным. При скорости, например, 72 км/ч (20 м/с) и радиусе 100 м угол наклона определяется из уравнения:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{v^2}{rg} = \frac{400}{100 \times 9{,}8} \approx 0{,}4,$$

откуда

$$\alpha \approx 22^\circ.$$

На подобной дороге пешеходу, разумеется, не удержаться. Между тем велосипедист только на такой дороге и чувствует себя вполне устойчиво. Любопытный парадокс тяжести! Так же устраиваются специальные дороги для состязания автомобилей.

В цирках приходится видеть нередко трюки еще более парадоксальные, хотя также вполне согласные с законами механики. Велосипедист в цирке кружится в воронке («корзине»), радиус которой 5 и менее метров; при скорости 10 м/с наклон стенок воронки должен быть очень крут:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{10^2}{5 \times 9{,}8} \approx 2{,}04,$$

откуда $\alpha \approx 63^\circ$.

Зрителям кажется, что только необычайные ловкость и искусство помогают артисту удерживаться в таких явно неестественных условиях, между тем как в действительности при данной скорости это самое устойчивое положение*.

Наклонная Земля

Кому приходилось видеть, как круто наклоняется набок самолет, описывая горизонтальную петлю (делая вираж), у того естественно возникает мысль о серьезных предосторожностях, которые летчик должен принимать, чтобы не выпасть из аппарата. На деле, однако,

* О велосипедных трюках см. также «Занимательную физику», книгу вторую.

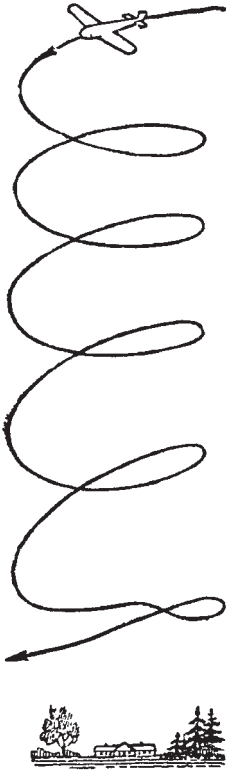


Рис. 42. Летчик описывает винтовую линию

летчик даже не ощущает, что машина его делает крен, — для него она держится в воздухе горизонтально. Зато он ощущает нечто другое: во-первых, испытывает увеличенную тяжесть, во-вторых, видит, как наклоняется вся обозреваемая местность.

Сделаем примерный расчет того, на какой угол может для летчика при вираже «наклониться» горизонтальная поверхность и какой величины может достигать для него «увеличенная тяжесть».

Возьмем числовые данные из действительности: летчик со скоростью 216 км/ч (60 м/с) описывает винтовую линию диаметром 140 м (рис. 42). Угол α наклона находим из уравнения

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{v^2}{r} : g = \frac{60^2}{70 \times 9{,}8} \approx 5{,}2,$$

откуда $\alpha \approx 79^\circ$. Теоретически земля должна для такого летчика стать не только «набекрень», но и почти «дыбом», отклоняясь всего на 11° от отвеса.

На практике вследствие, вероятно, физиологических причин в подобных случаях земля кажется наклоненной на угол, несколько меньший найденного выше (рис. 43).

Что касается «увеличенной тяжести», то отношение ее к естественной равно (рис. 41) обратной величине косинуса угла между их направлениями. Тангенс того же угла равен

$$\frac{v^2}{r} : g = 5{,}2.$$

По таблицам находим соответствующий косинус 0,19 и его обратную величину 5,3.

Значит, летчик, делая такой вираж, прижимается к сиденью раз в пять сильнее, чем на прямом пути, т. е. чувствует себя примерно в пять раз тяжелее.

Искусственное увеличение веса может быть роковым для летчика. Известен случай, когда летчик, делая со своим аппаратом так называемый штопор (падение по винтовой кривой малого радиуса), не

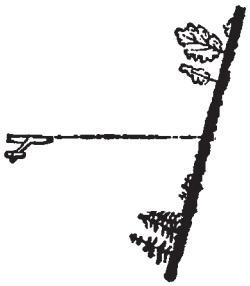


Рис. 43. Что представляется летчику (см. рис. 42)

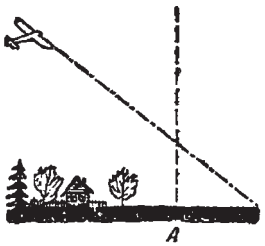


Рис. 44. Летчик летит по кривой большого радиуса (520 м) со скоростью 190 км/ч

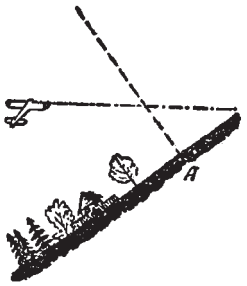


Рис. 45. Что представляется летчику (см. рис. 44)

только не мог подняться с места, но бессилен был даже сделать движение рукой. Расчет показывает, что тело его стало тяжелее в восемь раз! Лишь величайшим напряжением сил удалось ему спастись от гибели.

Почему реки извиваются

Давно известна склонность рек извиваться, подобно ползущей змее. Не следует думать, что извивание всегда обусловлено рельефом почвы. Местность может быть совершенно ровная, и все-таки ручей извивается. Это представляется довольно загадочным: казалось бы, в такой местности естественнее ручью избрать прямое направление.

Ближайшее рассмотрение обнаруживает, однако, неожиданную вещь: прямое направление даже для ручья, текущего по ровной местности, есть наименее устойчивое, а потому и наименее вероятное. Сохранить прямолинейность река может только при идеальных условиях, которые в действительности никогда не осуществляются.

Вообразим ручей, протекающий в *приблизительно* однородном грунте строго прямолинейно. Покажем, что такое течение долго сохраняться не будет. От случайных причин — например, от неоднородности грунта — течение ручья в каком-нибудь месте чуть искривилось. Что будет дальше? Выровнит ли река свое течение сама? Нет, искривление будет расти. В месте искривления (рис. 46) вода, двигаясь криволинейно, будет вследствие центробежного эффекта напирать на вогнутый берег *A*, подмывать его и в то же время отступать

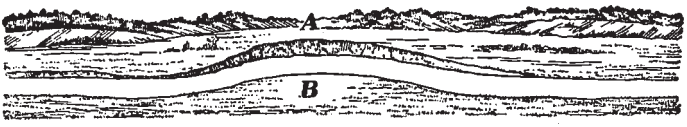


Рис. 46. Малейший изгиб ручья неудержимо растет

от выпуклого берега *B*. Для выпрямления же ручья нужно как раз обратное: подмывание *выпуклого* берега и отступание от *вогнутого*. Вогнутость станет от подмывания увеличиваться, кривизна излучины — возрастать, а вместе с тем будет увеличиваться и центробежная сила, которая, в свою очередь, усилит подмывание вогнутого берега. Достаточно, как видите, образоваться хотя бы самому незначительному изгибу — и он будет расти неудержимо.

Так как течение у вогнутого берега быстрее, чем у выпуклого, то частицы грунта, которые несет с собой вода, осаждаются у выпуклого берега, а у вогнутого, наоборот, идет усиленное размывание, в результате которого река у этого берега становится глубже.

По этой причине выпуклый берег становится пологим и еще более выпуклым, а вогнутый — крутым.

Так как случайные обстоятельства, вызывающие легкий первоначальный изгиб ручья, почти неизбежны, то неизбежно и образование излучин, непрестанно растущих и придающих реке спустя достаточный промежуток времени ее характерную извилистость. Эти извивы носят название «меандров», от реки Меандр (в западной части Малой Азии), змеевидное течение которой поразило древних и сделало название этой реки нарицательным.

Интересно проследить за дальнейшей судьбой речных извивов. Последовательные изменения вида речного русла упрощенно показаны на рис. 47 *a*—*h*. На рис. 47 *a* перед вами чуть изогнутая речка, на следующем — 47 *b* — течение успело уже подточить вогнутый берег и несколько отступило от покатого выпуклого. На рис. 47 *c* русло

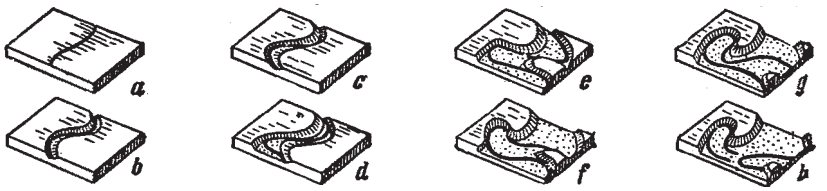


Рис. 47. Как постепенно увеличивается само собой искривление речного ложа

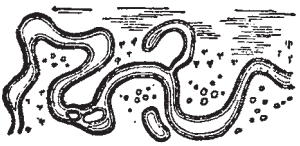
реки еще больше расширилось, а на рис. 47 *d* превратилось уже в широкую долину, в которой ложе реки занимает только некоторую часть. На рис. 47 *e, f* и *g* развитие речной долины пошло еще дальше; на рис. 47 *g* изгиб речного ложа так велик, что образует почти петлю. Наконец, на рис. 47 *h* вы видите, как река пробивает себе путь в месте сближения частей извилистого ложа и меняет там свое русло, оставляя в вогнутой части промытой долины так называемую старицу, или староречье — стоячую воду в покинутой части русла.

Читатель сам догадается, почему река в выработанной ею плоской долине не течет посредине или вдоль одного края, а перекидывается все время с одного края к другому — от вогнутого к ближайшему выпуклому*.

Так управляет механика геологическими судьбами рек. Нарисованная нами картина развертывается, конечно, на протяжении огромных промежутков времени, измеряемых тысячелетиями. Однако явление, во многих подробностях сходное с этим, вы можете видеть в миниатюрном масштабе каждую весну, наблюдая за теми крошечными ручейками, которые промывает талая вода в затвердевшем снеге.

---

* Мы совершенно не касались здесь действия вращательного движения Земли, сказывающегося в том, что реки Северного полушария усиленно размывают свой правый берег, а Южного полушария — левый. Об этом см. первую главу «Занимательной астрономии».



ГЛАВА ШЕСТАЯ

УДАР

Почему важно изучать явление удара

Тот отдел механики, где говорится об ударе тел, не пользуется обычно любовью учащихся. Он усваивается медленно, а забывается быстро, оставляя по себе недобрую память как о клубке громоздких формул. А между тем он заслуживает большого внимания. Было время, когда ударом двух тел стремились объяснить все прочие явления природы.

Кювье, знаменитый натуралист XIX века, писал: «Удалившись от удара, мы не можем составить ясной идеи об отношениях между причиной и действием». Явление считалось объясненным лишь тогда, когда удавалось свести его причину к соударению молекул.

Правда, стремление объяснить мир исходя из этого начала не увенчалось успехом: обширный ряд явлений — электрические, оптические, тяготение — не поддается такому объяснению. Тем не менее и теперь еще удар тел играет важную роль в объяснении явлений природы. Вспомним кинетическую теорию газов, рассматривающую обширный круг явлений как беспорядочное движение множества непрестанно соударяющихся молекул. Помимо того мы встречаемся с ударом тел на каждом шагу в повседневной жизни и в технике. Все составные части машин и сооружений, которые подвергаются действию удара, рассчитывают на прочность так, чтобы они могли противостоять ударным нагрузкам. Обойтись без знания этого отдела механики невозможно.

Механика удара

Знать механику удара тел — значит уметь предвидеть, какова будет скорость соударяющихся тел после их столкновения. Эта окончательная скорость зависит от того, сталкиваются ли тела неупругие (неотскакивающие) или же упругие.

В случае тел *неупругих* оба столкнувшихся тела приобретают после удара одинаковую скорость; величина ее получается из их масс и первоначальных скоростей по правилу смешения.

Когда смешивают 3 кг кофе по 8 руб. с 2 кг кофе по 10 руб., то цена смеси равна:

$$\frac{3 \times 8 + 2 \times 10}{3 + 2} = 8{,}8 \text{ руб.}$$

Точно так же, когда неупругое тело, обладающее массой 3 кг и скоростью 8 см/с, сталкивается с другим неупругим телом массой 2 кг, настигающим его со скоростью 10 см/с, то окончательная скорость у каждого тела:

$$u = \frac{3 \times 8 + 2 \times 10}{3 + 2} = 8{,}8 \text{ см/с.}$$

В общем виде при соударении неупругих тел, массы которых m_1 и m_2, скорости v_1 и v_2, их окончательная скорость после удара равна

$$u = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}.$$

Если направление скорости v_1 мы считаем положительным, то знак плюс перед скоростью u означает, что тела после удара движутся в направлении скорости v_1; знак минус указывает противоположное направление. Вот все, что надо помнить об ударе тел неупругих. Удар *упругих* тел протекает сложнее: такие тела при ударе не только сжимаются в месте соприкосновения (как и тела неупругие), но и расширяются вслед за этим, восстанавливая свою первоначальную форму. И в этой второй фазе тело настигающее теряет из своей скорости еще столько же, сколько потеряло оно в первую фазу, а тело настигаемое приобретает в скорости еще столько же, сколько приобрело оно в первую фазу. Двойная потеря скорости для более быстрого тела и двойной выигрыш ее для менее быстрого — вот, собственно, все об *упругом* ударе, что надо держать в памяти. Остальное сводится к чисто математическим выкладкам. Пусть скорость более быстрого тела v_1, другого v_2, а массы их m_1 и m_2. Если бы тела были *неупруги*, то после удара каждое из них двигалось бы со скоростью

$$u = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}.$$

Потеря скорости для первого тела равна была бы $v_1 - u$; выигрыш скорости для второго $u - v_2$. В случае же тел упругих потеря и вы-

игрыш, мы знаем, удваиваются, т. е. равны $2(v_1 - u)$ и $2(u - v_2)$. Значит, окончательные скорости u_1 и u_2 после *упругого* удара таковы:

$$u_1 = v_1 - 2(v_1 - u) = 2u - v_1,$$
$$u_2 = v_2 + 2(u - v_2) = 2u - v_2.$$

Остается только подставить в эти выражения вместо u его значение (см. выше).

Мы рассмотрели два крайних случая удара: тел *вполне* неупругих и тел *вполне* упругих. Возможен еще промежуточный случай: когда сталкивающиеся тела *не вполне* упруги, т. е. после первой фазы удара восстанавливают свою форму не полностью. К этому случаю мы еще вернемся; пока достаточно знать то, что сейчас было изложено.

Картину упругого удара мы могли бы охватить следующим кратким правилом: тела расходятся после столкновения с той же скоростью, с какой сближались до удара. Это вытекает из довольно простых соображений. Скорость сближения тел до удара равна $v_1 - v_2$.

Скорость их расхождения после удара равна

$$u_2 - u_1.$$

Подставив вместо u_2 и u_1 их выражения, получаем:

$$u_2 - u_1 = 2u - v_2 - (2u - v_1) = v_1 - v_2.$$

Свойство это важно не только потому, что дает наглядную картину упругого удара, но и в другом отношении. При выводе формулы мы говорили о телах ударяемом и ударяющем, настигаемом и настигающем, относя движение их, конечно, только к некоторому третьему телу, не участвующему в их движениях. Но в первой главе нашей книги (вспомните задачу о двух яйцах) было уже разъяснено, что между телами ударяющим и ударяемым никакой разницы нет: роли их можно обменять, ничего не изменяя в картине явления. Справедливо ли это и в рассматриваемом случае? Не дадут ли полученные ранее формулы иные результаты, если роли тел изменятся?

Легко видеть, что от такой перемены результат вычисления по формулам нисколько не изменится. Ведь при той и другой точках зрения *разность* скоростей тел до удара должна оставаться неизменной. Следовательно, не изменится и скорость расхождения тел после удара ($u_2 - u_1 = v_1 - v_2$). Иными словами, картина окончательного движения тел остается та же.

Вот несколько интересных числовых данных, относящихся к удару абсолютно упругих шаров. Два стальных шара, каждый диаметром

около 7,5 см (т. е. примерно величиной с бильярдные), сталкиваясь со скоростью 1 м/с, сдавливаются с силой 1500 кг, а при скорости 2 м/с — с силой 3500 кг. Радиус того кружка, по которому шары при этом ударе соприкасаются, в первом случае 1,2 мм, во втором — 1,6 мм. Продолжительность удара в обоих случаях — около $\frac{1}{5000}$ секунды. Кратковременностью удара объясняется то, что материал шаров не разрушается при столь значительном давлении (15–20 т на см^2).

Впрочем, так мала продолжительность удара только при небольших размерах шаров. Расчет показывает, что для стальных шаров планетных размеров (радиус = 10 000 км), соударяющихся со скоростью 1 см/с, время удара должно равняться 40 часам. Круг соприкосновения имеет при этом радиус 12,5 км, а сила взаимного сдавливания — около 400 биллион тонн!

Изучите свой мяч

Те формулы удара тел, с которыми мы познакомились на предыдущих страницах, непосредственно на практике малоприменимы. Число тел, которые с достаточным для целей практики приближением можно причислить к вполне неупругим или к вполне упругим, весьма ограничено. Преобладающее большинство тел не может быть отнесено ни к тем, ни к другим: они не вполне упруги. Возьмем мячик. Не страшась насмешки старинного баснописца, спросим себя: мячик вещь какая? Вполне упругая или не вполне упругая с точки зрения механики?

Имеется простой способ испытать мяч на упругость: уронить с некоторой высоты на твердую площадку. Вполне упругий мяч должен был бы подскочить на ту же высоту.

Это вытекает из формулы упругого удара

$$u_1 = 2u - v_1 = \frac{2(m_1v_1 + m_2v_2)}{m_1 + m_2} - v_1.$$

Прилагая ее к случаю мяча, ударяющегося о неподвижную площадку, мы можем массу m_2 площадки считать бесконечно большой, скорость же ее равна нулю: $m_2 = \infty$, $v_2 = 0$. До подстановки этих значений в предыдущую формулу преобразуем ее, разделив числитель и знаменатель дроби на m_2:

$$u_1 = \frac{2\left(\frac{m_1}{m_2}v_1 + v_2\right)}{\frac{m_1}{m_2} + 1} - v_1.$$

После подстановки получаем:

$$u_1 = \frac{2\left(\frac{m_1}{\infty} v_1 + 0\right)}{\frac{m_1}{\infty} + m_2} - v_1.$$

Так как $\frac{m_1}{\infty} = 0$, то дробь становится равной нулю, и формула получает вид:

$$u_1 = -v_1.$$

То есть мяч должен отскочить от площадки с той же скоростью, с какой достиг ее. Но, падая с высоты H, тело приобретает скорость, равную

$$v = \sqrt{2gH}, \text{ откуда } H = \frac{v^2}{2g}.$$

Подброшенное же отвесно со скоростью v, тело достигает высоты

$$h = \frac{v^2}{2g}.$$

Значит, $h = H$: мяч должен подскочить до того уровня, с какого он упал.

Шар неупругий не подскакивает совсем (это ясно из физических соображений, но легко убедиться и соответственной подстановкой в формулу).

Как же должен вести себя мяч *не вполне* упругий? Чтобы уяснить это, вникнем в картину упругого удара. Мяч достигает площадки; в точке соприкосновения он вдавливается, и вдавливающая сила уменьшает его скорость. До сих пор мяч ведет себя так, как вело бы себя и неупругое тело; значит, его скорость в этот момент равна u, а потеря скорости $v_1 - u$. Но вдавленное место начинает сразу же вновь выпячиваться; при этом мяч, конечно, напирает на площадку, мешающую ему выпячиваться; возникает опять сила, действующая на мяч и уменьшающая его скорость. Если шар при этом вполне восстанавливает свою прежнюю форму, т. е. проходит в обратном порядке те же этапы изменения формы, которые прошел он при сжатии, то новая потеря скорости должна равняться прежней, или $v_1 - u$, а следовательно, в общем скорость вполне упругого мяча должна уменьшиться на $2(v_1 - u)$ и равняться

$$v_1 - 2(v_1 - u) = 2u - v_1.$$

Когда мы говорим, что мяч «не вполне упруг», то мы, собственно, хотим сказать, что он не вполне восстанавливает свою форму после

ее изменения под действием внешней силы. При восстановлении его формы действует сила, меньшая той, которая эту форму изменила, а соответственно этому потеря скорости за период восстановления *меньше* первоначальной; она равна не $v_1 - u$, а составляет некоторую долю ее, которую обозначим правильной дробью e (коэффициент восстановления). Итак, потеря скорости при упругом ударе в первом периоде равна $v_1 - u$, во втором равна $e(v_1 - u)$. Общая потеря равна $(1 + e)(v_1 - u)$, а скорость u_1, остающаяся после удара, равна

$$u_1 = v_1 - (1 + e)(v_1 - u) = (1 + e)u - ev_1.$$

Скорость же u_2 ударяемого тела (в данном случае площадки), которое отталкивается мячом по закону противодействия, должна равняться, как легко вычислить,

$$u_2 = (1 + e)u - ev_2.$$

Разность $u_2 - u_1$ обеих скоростей равна $ev_1 - ev_2 = e(v_1 - v_2)$, откуда находим, что коэффициент восстановления

$$e = \frac{u_2 - u_1}{v_1 - v_2}.$$

Для мяча, ударяющегося о неподвижную площадку, $u_2 = (1 + e)u - ev_2 = 0$, $v_2 = 0$. Следовательно,

$$e = \frac{u_1}{v_1}.$$

Но u_1 есть скорость подскакивающего шара, равная $\sqrt{2gh}$, где h — высота, на которую он подскакивает, $v_1 = \sqrt{2gH}$, где H — высота, с которой мяч упал. Значит,

$$e = \sqrt{\frac{2gh}{2gH}} = \sqrt{\frac{h}{H}}.$$

Итак, мы нашли способ определять коэффициент восстановления e мяча, характеризующий степень отступления его свойств от вполне упругих: надо измерить высоту, с которой его роняют, и высоту, на которую он подскакивает; квадратный корень из отношения этих величин дает искомый коэффициент.

По спортивным правилам хороший теннисный мяч должен при падении с высоты 250 см подскакивать на высоту 127–152 см. Значит, коэффициент

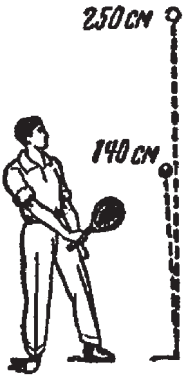


Рис. 48. Хороший мяч для тенниса должен подпрыгнуть примерно на 140 см, если его уронить с высоты 250 см

восстановления для теннисного мяча должен заключаться в пределах

$$\text{от } \sqrt{\frac{127}{250}} \text{ до } \sqrt{\frac{152}{250}},$$

т. е. от 0,71 до 0,78.

Остановимся на средней величине 0,75, т. е., выражаясь вольно, возьмем мяч «упругий на 75 %» и проделаем некоторые интересные для спортсменов расчеты.

Первая задача: насколько подскочит мяч во второй, третий и последующие разы, если его уронить с высоты H?

В первый раз мяч подскочит, мы знаем, на высоту, определяемую из формулы

$$e = \sqrt{\frac{h}{H}}.$$

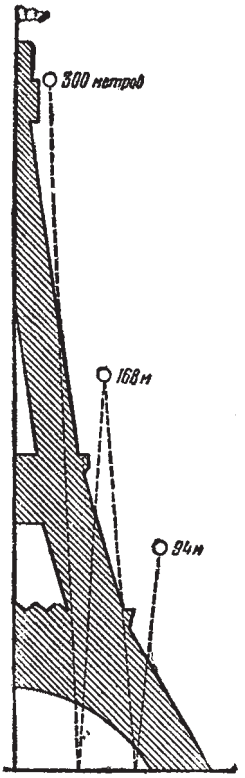


Рис. 49. Как высоко подпрыгнул бы мяч, уроненный с Эйфелевой башни

Для $e = 0{,}75$ и $H = 250$ см имеем:

$$\sqrt{\frac{h}{250}} = 0{,}75,$$

откуда h ≈ 140 см.

Во второй раз, т. е. после падения с высоты $h = 140$ см, мяч подскочит на высоту h_1, причем

$$0{,}75 = \sqrt{\frac{h_1}{140}},$$

откуда $h_1 \approx 79$ см.

Высоту h_2 третьего подъема мяча найдем из уравнения

$$0{,}75 = \sqrt{\frac{h_2}{79}},$$

откуда $h_2 \approx 44$ см.

Дальнейшие расчеты ведутся таким же путем.

Уроненный с высоты Эйфелевой башни ($H = 300$ м), такой мяч подскочил бы в первый раз на 168 м, во второй — на 94 м и т. д., если не принимать в расчет сопротивления воздуха, которое в этом случае должно быть велико (из-за значительной скорости).

Вторая задача: сколько всего времени мяч, уроненный с высоты H, будет подскакивать?

Мы знаем, что

$$H = \frac{gT^2}{2}; \quad h = \frac{gt^2}{2}; \quad h_1 = \frac{gt_1^2}{2}.$$

И следовательно,

$$T = \sqrt{\frac{2H}{g}}; \quad t = \sqrt{\frac{2h}{g}}; \quad t_1 = \sqrt{\frac{2h_1}{g}}.$$

Продолжительность подскакивания равна

$$T + 2t + 2t_1 + 2t_2 + ...,$$

т. е.

$$\sqrt{\frac{2H}{g}} + 2\sqrt{\frac{2h}{g}} + 2\sqrt{\frac{2h_1}{g}} + ...$$

После некоторых преобразований, которые читатель-математик легко проделает самостоятельно, получаем для искомой суммы выражение

$$\sqrt{\frac{2H}{g}}\left(\frac{2}{1-e} - 1\right).$$

Подставляя $H = 250$ см, $g = 980$ см/с^2, $e = 0{,}75$, имеем общую продолжительность подскакивания равной 5 с: мяч будет подскакивать в течение 5 с.

Если бы его уронить с высоты Эйфелевой башни, подскакивание длилось бы (при отсутствии сопротивления атмосферы) около минуты, точнее — 54 с, если только мяч уцелеет при ударе.

При падении мяча с высоты нескольких метров скорости невелики, а потому влияние сопротивления воздуха незначительно. Был сделан такой опыт: мяч, коэффициент восстановления которого 0,76, уронили с высоты 250 см. При отсутствии атмосферы он должен был бы подскочить во второй раз на 84 см; в действительности же он подскочил на 83 см; как видим, сопротивление воздуха почти не сказалось.

На крокетной площадке

Крокетный шар налетает на неподвижный, нанося ему удар, который в механике называется прямым и центральным. Это такой удар, который происходит в направлении диаметра шара, проходящего через точку приложения ударной силы.

Что произойдет с обоими шарами после удара?

Оба крокетных шара имеют равную массу. Если бы они были *вполне неупруги*, то скорости их после удара были бы одинаковыми; они равнялись бы половине скорости ударяющего шара. Это вытекает из формулы

$$u = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2},$$

в которой $m_1 = m_2$ и $v_2 = 0$.

Напротив, если бы шары были вполне упруги, то простое вычисление (выполнение которого предоставляем читателю) показало бы, что они *обменялись бы скоростями*: налетевший шар остановился бы после удара на месте, а шар, прежде неподвижный, двигался бы в направлении удара со скоростью ударившего шара. Так приблизительно и происходит при ударе бильярдных шаров (из слоновой кости), которые обладают большим коэффициентом восстановления (для слоновой кости $e = \frac{8}{9}$).

Но крокетные шары имеют значительно меньший коэффициент восстановления ($e = 0{,}5$). Поэтому результат удара не похож на сейчас указанные. Оба шара продолжают после удара двигаться, но не с одинаковой скоростью: ударивший шар отстает от крокированного. Обратимся за подробностями к формулам удара тел.

Пусть коэффициент восстановления (как его определить, читателю известно из предыдущего) равен e. В предыдущей статье мы нашли для скоростей u_1 и u_2 обоих шаров после удара следующие выражения:

$$u_1 = (1 + e)u - ev_1; \quad u_2 = (1 + e)u - ev_2.$$

Здесь, как и в прежних формулах,

$$u = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}.$$

В случае крокетных шаров $m_1 = m_2$ и $v_2 = 0$. Подставив, имеем:

$$u = \frac{v_1}{2}; \quad u_1 = \frac{v_1}{2}(1 - e); \quad u_2 = \frac{v_1}{2}(1 + e).$$

Кроме того, легко убедиться, что

$$u_1 + u_2 = v_1; \quad u_2 - u_1 = ev_1.$$

Теперь мы можем в точности предсказать судьбу ударяющихся крокетных шаров: скорость ударившего шара распределяется между обоими шарами так, что крокированный шар движется быстрее ударившего на долю e первоначальной скорости ударившего шара.

Возьмем пример. Пусть $e = 0{,}5$. В таком случае шар, покоившийся до удара, получит $^3/_4$ первоначальной скорости крокировавшего шара, а этот последний будет двигаться за ним, сохранив только $^1/_4$ первоначальной скорости.

«От скорости — сила»

Под таким заглавием в «Первой книге для чтения» Л. Н. Толстого был помещен следующий рассказ:

> «Один раз машина (поезд) ехала очень скоро по железной дороге. А на самой дороге, на переезде, стояла лошадь с тяжелым возом. Мужик гнал лошадь через дорогу, лошадь не могла сдвинуть воза, потому что колесо соскочило. Кондуктор закричал машинисту: „Держи“ — но машинист не послушался. Он смекнул, что мужик не может ни согнать лошадь с телегой, ни своротить ее и что машину сразу остановить нельзя. Он не стал останавливать, а самым скорым ходом пустил машину и во весь дух налетел на телегу. Мужик отбежал от телеги, а машина, как щепку, сбросила с дороги телегу и лошадь, а сама не тряхнулась, пробежала дальше. Тогда машинист сказал кондуктору: „Теперь мы только убили одну лошадь и сломали телегу; а если бы я тебя послушал, мы сами бы убились и перебили бы всех пассажиров. На скором ходу мы сбросили телегу и не слыхали толчка, а на тихом ходу нас бы выбросило из рельсов“».

Можно ли это происшествие объяснить с точки зрения механики? Мы имеем здесь случай удара не вполне упругих тел, причем тело ударяемое (телега) было до удара неподвижно. Обозначив массу и скорость поезда через m_1 и v_1, массу и скорость телеги через m_2 и $v_2 = 0$, применяем уже известные нам формулы:

$$u_1 = (1 + e)u - ev_1;\ u_2 = (1 + e)u - ev_2,$$

$$u = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2}.$$

Разделив в последнем выражении числитель и знаменатель дроби на m_1, получим:

$$u = \frac{v_1 + \frac{m_2}{m_1}v_2}{1 + \frac{m_2}{m_1}}.$$

Но отношение $\frac{m_2}{m_1}$ массы телеги к массе поезда ничтожно; приравнивая его к нулю, имеем:

$$u \approx v_1.$$

Значит, поезд после столкновения будет продолжать путь с прежней скоростью; пассажиры не ощутят никакого толчка (изменения скорости).

А что будет с телегой? Ее скорость после удара, $u_2 = (1 + e)u = (1 + e)v_1$, превышает скорость поезда на ev_1. Чем больше была скорость v_1 поезда до удара, тем больше внезапно полученная телегой скорость, тем больше сила удара, которая разрушает телегу. Это в данном случае имеет существенное значение; для избежания катастрофы необходимо преодолеть *трение* телеги; при недостаточной энергии удара она могла бы служить серьезной помехой, оставаясь на рельсах.

Итак, разгоняя поезд, машинист поступил правильно: благодаря этому поезд, не претерпев сам сотрясения, устранил телегу со своего пути. Нужно заметить, что в рассказе Толстого упоминался сравнительно тихоходный поезд его времени.

Человек-наковальня

Этот цирковой номер производит сильное впечатление даже на подготовленного зрителя. Артист ложится на землю; на грудь его ставят тяжелую наковальню, и двое силачей со всего размаха ударяют по ней увесистыми молотами.

Невольно удивляешься, как может живой человек выдерживать без вреда для себя такое сотрясение.

Законы удара упругих тел говорят нам, однако, что чем наковальня тяжелее по сравнению с молотом, тем меньшую скорость получает она при ударе, т. е. тем сотрясения менее ощутительны.

Вспомним формулу для скорости ударяемого тела при упругом ударе

$$u_2 = 2u - v_2 = \frac{2(m_1v_1 + m_2v_2)}{m_1 + m_2} - v_2.$$

Здесь m_1 — масса молота, m_2 — масса наковальни, v_1 и v_2 — их скорости до удара. Мы знаем прежде всего, что $v_2 = 0$, так как наковальня до удара была неподвижна. Значит, формула наша получает вид:

$$u_2 = \frac{2m_1v_1}{m_1 + m_2} = \frac{2v_1 \times \frac{m_1}{m_2}}{\frac{m_1}{m_2} + 1}$$

(мы разделили числитель и знаменатель на m_2). Если масса m_2 наковальни весьма значительна по сравнению с массой m_1 молота, то

дробь $\frac{m_1}{m_2}$ очень мала и ею можно в знаменателе пренебречь. Тогда скорость наковальни после удара

$$u_2 = 2v_1 \times \frac{m_1}{m_2},$$

т. е. составляет ничтожную часть скорости v_1 молота*.

Для наковальни, которая тяжелее молота, скажем, в 100 раз, скорость в 50 раз меньше скорости молота:

$$u_2 = 2v_1 \times \frac{1}{100} = \frac{1}{50} v_1.$$

Кузнецы хорошо знают из практики, что удар легкого молота не передается в глубину. Теперь понятно, почему артисту, лежащему под наковальней, выгоднее, чтобы она была возможно тяжелее. Вся трудность лишь в том, чтобы безнаказанно удерживать на груди такой груз. Это возможно, если основанию наковальни придать такую форму, чтобы оно плотно прилегало к телу на большом пространстве, а не соприкасалось только в нескольких маленьких участках. Тогда вес наковальни распределяется на большую поверхность, и на каждый квадратный сантиметр приходится не столь уж значительная нагрузка. Между основанием наковальни и телом человека помещается мягкая прокладка.

Обманывать публику на весе наковальни артисту нет никакого смысла; но есть расчет обмануть на весе молота; возможно, потому, что цирковые молоты не так тяжелы, как кажутся. Если молот полый, то сила его удара не становится в глазах зрителя менее сокрушительной, сотрясения же наковальни ослабевают пропорционально уменьшению его массы.

* Мы приняли и молот, и наковальню за тела вполне упругие. Читатель может убедиться подобным же расчетом, что результат мало изменится, если считать оба тела не вполне упругими.



ГЛАВА СЕДЬМАЯ

КОЕ-ЧТО О ПРОЧНОСТИ

Об измерении океанских глубин

Средняя глубина океана около 4 км, но в отдельных местах дно лежит ниже раза в два и более. Наибольшая глубина, как уже было указано, около 11 км. Чтобы измерить подобную глубину, нужно спустить в него проволоку длиной свыше 10 км. Но такая проволока имеет значительный вес; не разорвется ли она от собственного веса?

Вопрос не праздный; расчет подтверждает его уместность. Возьмем медную проволоку в 11 км длины; обозначим ее диаметр буквой D (в сантиметрах). Объем такой проволоки равен $\frac{1}{4}\pi D^2 \times 1\,100\,000$ см^3. А так как 1 см^3 меди весит в воде круглым счетом 8 г, то наша проволока должна представлять собой в воде груз

$$\frac{1}{4}\pi D^2 \times 1\,100\,000 \times 8 = 6\,900\,000 D^2 \text{ г.}$$

При толщине проволоки, например, 3 мм (D = 0,3 см) это составит 620 000 г, т. е. 620 кг. Удержит ли такой толщины проволока груз около $^3/_5$ т? Здесь мы должны немного отойти в сторону и посвятить страницу вопросу о силах, разрывающих проволоки и стержни.

Отрасль механики, называемая сопротивлением материалов, устанавливает, что сила, необходимая для разрыва стержня или проволоки, зависит от их материала, от величины поперечного сечения и от способа приложения силы. Зависимость от сечения проста: во сколько раз увеличивается площадь поперечного сечения, во столько раз возрастает необходимая для разрыва сила. Что же касается материала, то опытом найдено, какая сила нужна для разрыва стержня из данного материала, если сечение стержня 1 мм^2. В технических справочниках обычно помещается таблица величин этой силы — таблица сопротивления разрыву. Она представлена наглядно на рис. 50. Рассматривая его, вы видите, что, например, для разрыва свинцовой проволоки (в 1 мм^2 сечением) нужна сила в 2 кг, медной — в 40 кг, бронзовой — в 100 кг и т. д.

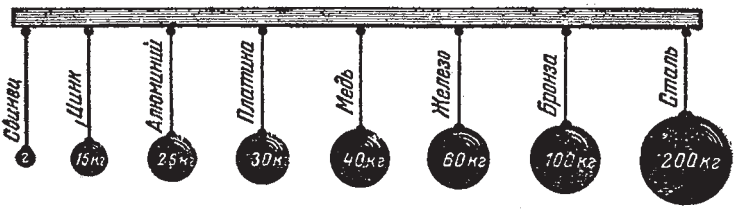


Рис. 50. Какими грузами разрываются проволоки из разных металлов? (Сечение равно 1 мм^2.)

В технике, однако, никогда не допускают, чтобы стержни и тяжи находились под действием таких усилий. Подобная конструкции была бы ненадежна. Достаточно малейшего, незаметного для глаза изъяна в материале либо же ничтожной перегрузки вследствие сотрясения или изменения температуры — и стержни лопаются, тяжи разрываются, сооружение рушится. Необходим «запас прочности», т. е. нужно, чтобы действующие силы составляли только некоторую долю разрывающей нагрузки — четвертую, шестую, восьмую, смотря по материалу и условиям его службы.

Вернемся теперь к начатому расчету. Какая сила достаточна для разрыва медной проволоки, диаметр которой D см? Площадь ее сечения равна $\frac{1}{4}\pi D^2$ см^2 или $25\pi D^2$ мм^2. Справившись в нашей иллюстрированной табличке, находим, что при сечении 1 мм^2 медная проволока разрывается силой 40 кг. Значит, для разрыва нашей проволоки достаточна сила в $40 \times 25\pi D^2 = = 1000\pi D^2$ кг $= 3140D^2$ кг.

Сама же проволока весит, как мы уже вычислили, $6900D^2$ кг — в $2^1/_2$ раза больше. Вы видите, что медная проволока не годится для измерения океанских глубин, даже если и не брать для нее никакого запаса прочности: при длине 5 км она разрывается от собственного веса.

Самые длинные отвесы

Вообще для всякой проволоки имеется такая предельная длина, при которой она разрывается от собственного веса. Отвес не может быть как угодно длинен: существует длина, которую он не может превосходить. Увеличение толщины проволоки здесь не поможет: с удвоением диаметра проволока может выдержать в 4 раза больший груз, но и вес ее возрастет в 4 раза. Предельная длина зависит не от

толщины проволоки (толщина безразлична), а от материала: для железа она одна, для меди — другая, для свинца — третья. Вычисление этой предельной длины весьма несложно; после расчета, выполненного в предыдущей статье, читатель поймет его без длинных пояснений. Если площадь поперечного сечения проволоки s см^2, длина L км, а вес 1 см^3 ее вещества ρ г, то вся проволока весит $100\,000sL\rho$ г; выдержать же нагрузку она может в $1000Q \times 100s = 100\,000Qs$ г, где Q — разрывающая нагрузка на 1 мм^2 (в килограммах). Значит, в предельном случае

$$100\,000Qs = 100\,000sL\rho,$$

откуда предельная длина в километрах

$$L = \frac{Q}{\rho}.$$

По этой простой формуле легко вычислить предельную длину для проволоки или нити из любого материала. Для меди мы нашли раньше предельную длину *в воде*; вне воды она еще меньше и равна $\frac{Q}{\rho} = \frac{40}{9} \approx 4{,}4$ км.

А вот предельная длина для проволок из некоторых других материалов:

для	свинца	200	м
»	цинка	2,1	км
»	железа	7,5	»
»	стали	25	»

Но практически нельзя пользоваться отвесами такой длины; это значило бы подвергать их недопустимым нагрузкам. Необходимо нагружать их лишь до некоторой части разрывающей нагрузки: для железа и стали, например, до $^1/_4$. Значит, практически можно пользоваться железным отвесом не длиннее 2 км, а стальным не длиннее $6^1/_4$ км.

В случае погружения отвесов в воду крайняя длина их — для железа и стали — может быть увеличена на $^1/_8$ долю. Но и этого недостаточно для достижения дна океана в самых глубоких местах. Чтобы делать подобные промеры, приходится пользоваться особо прочными сортами стали*.

* В последнее время для измерения морских глубин обходятся совсем без проволочного лота: пользуются отражением звука от дна водоема (эхолот). См. об этом в моей книге «Занимательная физика», книга первая, глава десятая.

Самый крепкий материал

К числу материалов, особенно хорошо выдерживающих растяжение, принадлежит хромоникелевая сталь: чтобы разорвать проволоку из такой стали в 1 мм^2 сечением, надо приложить силу в 250 кг.

Вы лучше поймете, что это значит, если взглянете на прилагаемый рис. 51: тонкая стальная проволока (ее диаметр чуть больше 1 мм) удерживает тяжелого борова. Из такой стали и изготовляется лотлинь океанского глубомера. Так как 1 см^3 стали весит в воде 7 г, а допускаемая нагрузка на 1 мм^2 составляет в этом случае $\frac{250}{4} = 62$ кг, то крайняя длина отвеса из этой стали равна:

$$L = \frac{62}{7} = 8{,}8 \text{ км}.$$

Но глубочайшее место океана лежит еще ниже. Приходится поэтому брать меньший запас прочности и, следовательно, очень осторожно обращаться с лотлинем, чтобы достичь самых глубоких мест океанского дна.

Те же затруднения возникают и при «зондировании» воздушного океана при помощи змеев с самопишущими приборами. Например, в том случае, если запускают змея на 9 км и больше, причем проволоке приходится выдерживать натяжение не только от собственного веса, но и от давления ветра на нее и на змея (размеры змея 2 × 2 м).



Рис. 51. Проволока из хромоникелевой стали выдерживает нагрузку 250 кг на мм^2

Что крепче волоса?

С первого взгляда кажется, что человеческий волос может поспорить в крепости разве лишь с паутинкой. Это не так; волос крепче иного металла! В самом деле, человеческий волос выдерживает груз до 100 г при ничтожной толщине в 0,05 мм. Рассчитаем, сколько это составляет на 1 мм^2. Кружок, поперечник которого 0,05 мм, имеет площадь

$$\frac{1}{4} \times 3{,}14 \times 0{,}05^2 \approx 0{,}002 \text{ мм}^2,$$

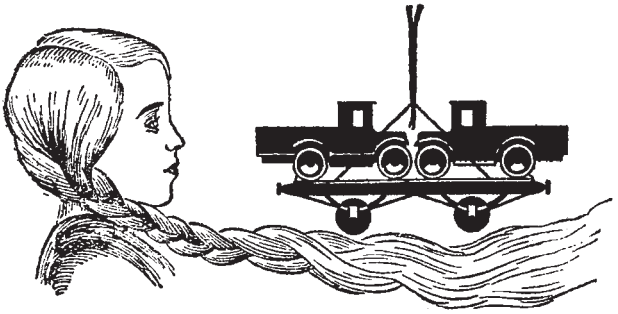


Рис. 52. Какой груз может выдержать женская коса?

т. е. $\frac{1}{500}$ мм^2. Значит, груз в 100 г приходится на площадь в $\frac{1}{500}$ мм^2; на целый мм^2 придется 50 000 г, или 50 кг. Бросив взгляд на нарисованную табличку прочности (рис. 50), вы убедитесь, что человеческий волос по крепости должен быть поставлен между медью и железом...

Итак, волос крепче свинца, цинка, алюминия, платины, меди и уступает только железу, бронзе и стали!

Недаром — если верить автору романа «Саламбо» — древние карфагеняне считали женские косы лучшим материалом для тяжей своих метательных машин.

Вас не должен поэтому удивлять рис. 52, изображающий железнодорожную платформу и два грузовых автомобиля, которые удерживает женская коса: легко подсчитать, что коса из 200 000 волос может удержать груз в 20 т.

Почему велосипедная рама делается из трубок

Какое преимущество в отношении прочности имеет трубка перед сплошным стержнем, если кольцевое сечение трубки равно по площади сечению стержня? Никакого, пока речь идет о сопротивлении *разрыву* или *сжатию*: трубка и стержень разрываются и раздробляются одинаковой силой. Но в случае сопротивления *изгибающим* усилиям разница между ними огромная: согнуть стержень значительно легче, чем согнуть трубку с равной площадью кольцевого сечения.

Об этом писал в красноречивых выражениях еще Галилей, основатель науки о прочности. Читатель не упрекнет меня в излишнем

пристрастии к замечательному ученому, если я еще раз приведу цитату из его сочинений: «Мне хотелось бы, — писал он в своих „Беседах и математических доказательствах, касающихся двух новых отраслей науки“, — прибавить несколько замечаний относительно сопротивления твердых тел, полых или пустых внутри, которыми как мастерство (техника), так и природа пользуются на тысячи ладов. В них без возрастания веса достигается возрастание прочности в весьма большой степени, как легко можно видеть на костях птиц и на тростнике, которые при большой легкости отличаются и большой сопротивляемостью изгибу и излому. Если бы соломинка, несущая колос, превышающий по весу весь стебель, была при том же количестве вещества сплошной и массивной, то она была бы значительно менее прочной на изгиб и на излом. Было замечено на деле и подтверждено опытом, что палка пустая внутри, а также деревянная и металлическая труба, крепче, чем массивное тело той же длины и равного веса, которое неизбежно является более тонким. Мастерство нашло применение этому наблюдению при изготовлении копий, делаемых пустыми внутри для достижения прочности и вместе с тем легкости».

Мы поймем причину этого, если рассмотрим поближе те напряжения, какие возникают в брусе при сгибании. Пусть в середине стержня *AB* (рис. 53), подпертого на концах, действует груз *Q*. Под влиянием груза стержень прогибается вниз. Что при этом происходит? Верхние слои бруса сжимаются, нижние, напротив, растягиваются, а некоторый средний слой (нейтральный) не будет ни сжиматься, ни растягиваться. В растянутой части бруса возникают упругие силы, противодействующие растяжению; в сжатой — силы, сопротивляющиеся сжатию. Те и другие стремятся выпрямить брус, и это сопротивление изгибу растет по мере прогибания бруса (если не превзойден так называемый предел упругости), пока не достигнут такого напряжения, которого груз *Q* преодолеть не может: сгибание останавливается.

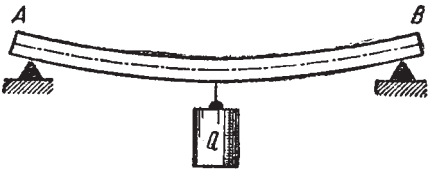


Рис. 53. Прогиб бруса

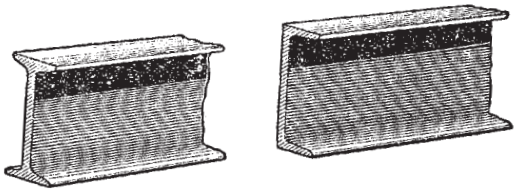


Рис. 54. Двутавровая (слева) и коробчатая балки

Вы видите, что наибольшее противодействие сгибанию оказывают в этом случае самый верхний и самый нижний слои бруса: средние части тем меньше участвуют в этом, чем ближе они к нейтральному слою.

Поэтому целесообразно сечению балки придать такую форму, при которой бóльшая часть материала находится возможно дальше от нейтрального слоя. Такое распределение материала осуществлено, например, в двутавровой и коробчатой балках, изображенных на рис. 54.

Впрочем, стенка балки не должна быть слишком тонкой: она не дает полкам балок сдвинуться одна относительно другой и обеспечивает устойчивость балки.

Еще более совершенной формой в смысле экономии материала, чем двутавровая балка, является ферма. В ферме (рис. 55) вообще выброшен весь материал, прилежащий к нейтральному слою и потому слабо нагруженный. Взамен этого сплошного материала применены стержни *a, b, ..., k,* которые связывают пояса *AB* и *CD* фермы. Читателю ясно из предыдущего, что под действием нагрузок F_1 и F_2 верхний пояс фермы будет сжат, а нижний — растянут.

Теперь читателю понятно также и преимущество трубок перед сплошным стержнем. Добавлю числовой пример. Пусть имеются две круглые балки одинаковой длины, сплошная и трубчатая, причем площадь кольцевого сечения трубчатой балки та же, что и у сплош-

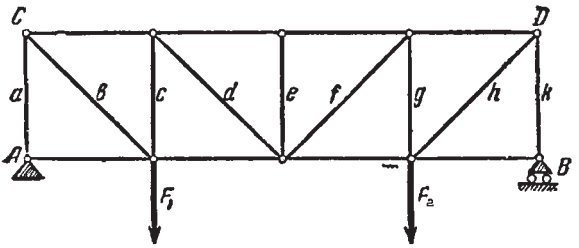


Рис. 55. Ферма заменяет в смысле прочности массивную балку

ной. Вес обеих балок, конечно, одинаков. Но разница в сопротивлении изгибу огромная: расчет показывает, что трубчатая балка* прочнее (на изгиб) на 112 %, т. е. более чем вдвое.

Притча о семи прутьях

Товарищи, вспомните веник: раздергай — и весь по прутику ломай, а свяжи, попробуй-ка переломить.

Серафимович. Среди ночи

Всем известна старинная притча о семи прутьях. Чтобы убедить сыновей жить дружно, отец предложил им переломить пучок из семи прутьев. Сыновья пытались это сделать, но безуспешно. Тогда отец, взяв у них пучок, развязал его и легко переломил каждый прут в отдельности.

Интересно рассмотреть притчу с точки зрения механики — именно с точки зрения учения о прочности.

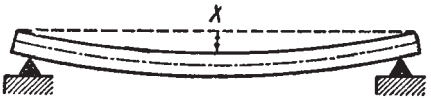


Рис. 56. Стрела прогиба x

Величина *изгиба* стержня измеряется в механике так называемой стрелой прогиба x (рис. 56). Чем стрела прогиба в данном брусе больше, тем ближе момент излома. Величина же стрелы прогиба выражается следующей формулой:

$$\text{стрела прогиба } x = \frac{1}{12} \times \frac{Pl^3}{\pi E r^4},$$

в которой P — сила, действующая на стержень; l — длина стержня; $\pi = 3{,}14...$; E — число, характеризующее упругие свойства материала стержня; r — радиус круглого стержня.

Применим формулу к пучку прутьев. Семь его прутьев располагались, вероятнее всего, так, как показано на концовке этой главы, где изображено сечение пучка. Рассматривать подобный пучок как сплошной стержень (для чего он должен быть крепко перевязан) можно только с приближением. Но мы здесь и не ищем строго точного ре-

* В случае, когда диаметр просвета равен диаметру сплошной балки.

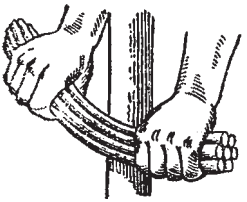
шения. Диаметр связанного пучка, как легко видеть из рисунка, раза в три больше диаметра отдельного прута. Покажем, что согнуть (а значит — и сломать) отдельный прут во много раз легче, чем весь пучок. Если в обоих случаях хотят получить одинаковую стрелу прогиба, то для прута надо затратить силу p, а для всего пучка — силу P. Соотношение между p и P вытекает из уравнения

$$\frac{1}{12} \times \frac{pl^3}{\pi k r^4} = \frac{1}{12} \times \frac{Pl^3}{\pi k (3r)^4},$$

откуда

$$p = \frac{P}{81}.$$

Мы видим, что отцу пришлось прилагать хотя и семикратно, зато в 80 раз меньшее усилие, чем сыновьям.



ГЛАВА ВОСЬМАЯ

РАБОТА, МОЩНОСТЬ, ЭНЕРГИЯ

Чего многие не знают о единице работы

— Что такое килограмметр?

— Работа поднятия одного килограмма на высоту одного метра, — отвечают обычно.

Такое определение единицы работы многие считают исчерпывающим, особенно если прибавить к нему, что поднятие происходит на земной поверхности. Если и вы удовлетворяетесь приведенным определением, то вам полезно будет разобраться в следующей задаче, лет тридцать назад предложенной знаменитым физиком проф. О. Д. Хвольсоном в одном математическом журнале.

> «Из вертикально поставленной пушки длиною 1 м вылетает ядро весом 1 кг. Пороховые газы действуют всего на расстоянии 1 м. Так как на всем остальном пути ядра давление газов равно нулю, то они, следовательно, подняли 1 кг на высоту одного метра, т. е. совершили работу всего в 1 килограмметр. Неужели их работа столь мала?»

Будь это так, можно было бы обходиться без пороха, метая ядра силой человеческих рук. Очевидно, при подобном расчете делается грубая ошибка.

Какая?

Ошибка та, что, учитывая выполненную работу, мы приняли во внимание лишь небольшую ее долю и пренебрегли самой главной частью. Мы не учли того, что в конце своего пути по каналу пушки снаряд обладает *скоростью*, которой у него не было до выстрела. Работа пороховых газов состояла, значит, не в одном лишь поднятии ядра на высоту 1 м, но и в сообщении ему значительной скорости. Эту неучтенную долю работы легко определить, зная скорость ядра. Если она равна 600 м/с, т. е. 60 000 см/с, то при массе ядра 1 кг (1000 г) кинетическая его энергия составляет:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{1000 \times 60\,000^2}{2} = 18 \times 10^{11} \text{ эргов.}$$

Эрг — это диносантиметр (работа дины на пути в 1 см). Так как 1 килограммметр содержит приблизительно $1\,000\,000 \times 100 = 10^8$ диносантиметров, то запас энергии движения ядра равен:

$$18 \times 10^{11} : 10^8 = 18\,000 \text{ кгм}.$$

Вот какая значительная часть работы осталась неучтенной только из-за неточности определения килограммметра!

Теперь становится очевидным, как надо это определение пополнить: *килограммметр есть работа поднятия на земной поверхности первоначально неподвижного груза в 1 кг на высоту 1 м при условии, что в конце поднятия скорость груза равна нулю.*

Как произвести килограммметр работы

Никаких трудностей, казалось бы, тут нет: взять гирю в 1 кг и поднять на 1 м. Однако с какой силой надо поднимать гирю? Силой в 1 кг ее не поднять. Нужна сила *больше* килограмма: избыток этой силы над весом гири и явится движущим усилием. Но *непрерывно* действующая сила должна сообщить поднимаемому грузу *ускорение*; поэтому гиря наша к концу поднятия будет обладать некоторой скоростью, не равной нулю, — а это значит, что выполнена работа не в 1 кгм, а *больше*.



Рис. 57. Как выполнить работу ровно в один килограммметр?

Как же поступить, чтобы поднятием килограммовой гири на 1 м выполнить *ровно* килограммметр работы? Поднимать гирю можно таким образом. В начале поднятия надо давить на гирю снизу с силой больше 1 кг. Сообщив этим гире некоторую скорость по направлению вверх, следует уменьшить или вовсе прекратить давление руки и предоставить гире двигаться замедленно. При этом момент, когда рука прекращает давление на гирю, нужно выбрать так, чтобы, двигаясь далее замедленно, гиря закончила свой путь в 1 м в тот момент, когда скорость ее сделается равной нулю. Действуя таким образом, т. е. прилагая к гире не постоянную силу в 1 кг, а переменную, меняющуюся от величины, большей 1 кг, до величины, меньшей 1 кг, мы можем совершить работу ровно в 1 кгм.

Как вычислять работу

Сейчас мы видели, как сложно выполнить килограмметр работы поднятием 1 кг на 1 м. Лучше поэтому вовсе не пользоваться этим обманчиво простым, в действительности же очень запутывающим определением килограмметра.

Гораздо удобнее другое определение, не порождающее никаких недоразумений: *килограмметр есть работа силы в 1 кг на пути в 1 м, если направление силы совпадает с направлением пути**.

Последнее условие — совпадение направлений — совершенно необходимо. Если им пренебречь, расчет работы может привести к чудовищным ошибкам.

Чтобы сравнивать между собой двигатели по их работоспособности, нужно сравнивать работы, произведенные ими за одно и то же время. Удобнее всего за единицу времени принять одну секунду. Таким образом, в механике вводится особая мера работоспособности, называемая мощностью. Под мощностью понимают работу, произведенную двигателем в одну секунду. В технике единицами мощности являются один килограмметр в секунду (1 кгм/с) и лошадиная сила, равная 75 кгм/с.

Решим для примера следующую задачу.

Автомобиль весом 850 кг движется со скоростью 72 километра в час по прямой и горизонтальной дороге. Определить его мощность, если сопротивление движению составляет 20% его веса.

Определим сначала силу, движущую автомобиль. При равномерном движении она в точности равна сопротивлению, т. е.

$$850 \times 0{,}2 = 170 \text{ кг}.$$

Определим теперь путь, проходимый автомобилем в течение одной секунды. Он равен

$$\frac{72 \times 1000}{3600} = 20 \text{ м/с}.$$

* Кто-либо из читателей, быть может, возразит, что ведь и в таком случае тело может обладать в конечной точке пути некоторой скоростью, которую надо учесть. Отсюда как будто следует, что сила в 1 кг совершает на пути 1 м работу *бóльшую*, чем 1 кгм. Совершенно верно, что в конечной точке пути тело будет обладать некоторой скоростью. Но работа силы в том и состоит, что она сообщает телу определенную скорость, дает ему известный запас кинетической энергии, а именно 1 кгм. Если бы этого не было, нарушился бы закон сохранения энергии: получилось бы меньше энергии, чем было затрачено. Другое дело — в случае вертикального поднятия тела: при подъеме 1 кг на высоту 1 м потенциальная энергия возрастает на 1 кгм и, сверх того, тело приобретает еще некоторую кинетическую энергию: получается как бы больше энергии, чем было израсходовано.

Так как направление движущей силы совпадает с направлением движения, то, умножив величину движущей силы на путь, проходимый в секунду, получим работу, производимую автомобилем за секунду, т. е. мощность:

$$170 \text{ кг} \times 20 \text{ м/с} = 3400 \text{ кгм/с}.$$

В лошадиных силах это будет составлять приблизительно

$$3400 : 75 = 45{,}33 \text{ л. с.}$$

Тяга трактора

ЗАДАЧА

Мощность трактора «на крюке» — 10 л. с. Вычислить силу его тяги при каждой из скоростей, если

первая	скорость	2,45	км/ч
вторая	»	5,52	»
третья	»	11,32	»

РЕШЕНИЕ

Так как мощность (в кгм/с) равна секундной работе, т. е. в данном случае произведению силы тяги (в кг) на секундное перемещение (в м), то составляем для «первой» скорости уравнение

$$75 \times 10 = x \times \frac{2{,}45 \times 1000}{3600},$$

где x — сила тяги трактора. Решив уравнение, узнаем, что $x \approx 1000$ кг.

Таким же образом находим, что тяга при «второй» скорости равна 540 кг, при «третьей» — 220 кг.

Вопреки механике «здравого смысла» тяга оказывается тем больше, чем скорость движения меньше.

Живые и механические двигатели

Может ли человек проявить мощность в целую лошадиную силу? Другими словами, может ли он выполнить в секунду 75 кгм работы?

Считается — и вполне правильно, — что мощность человека при нормальных условиях работы составляет около десятой доли лошади-



Рис. 58. Когда человек развивает мощность в одну лошадиную силу

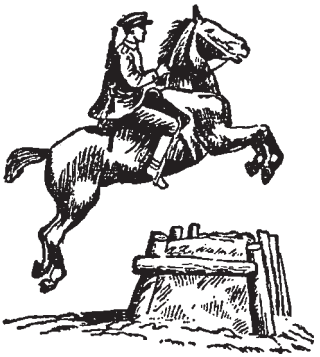


Рис. 59. Когда лошадь развивает мощность в семь лошадиных сил

ной силы, т. е. равна 7–8 кгм/с. Однако в исключительных условиях человек на *короткое время* проявляет значительно бóльшую мощность. Взбегая поспешно по лестнице, мы совершаем работу больше 8 кгм/с. Если мы ежесекундно поднимаем свое тело на 6 ступеней, то при весе 70 кг и высоте одной ступени 17 см мы производим работу

$$70 \times 6 \times 0{,}17 = 71 \text{ кгм},$$

т. е. почти в 1 л. с. и, значит, превосходим лошадь по мощности раза в $1^1/_2$. Но конечно, так напряженно работать мы можем всего несколько минут, а затем должны отдыхать. Если учесть эти промежутки бездействия, то в среднем мощность наша не будет превосходить 0,1 л. с.

Несколько лет назад во время состязаний в беге на короткой дистанции (90 м) отмечен случай, когда бегун развил мощность в 550 кгм/с, т. е. в 7,4 л. с.

Лошадь также может доводить свою мощность до десятикратной и большей величины. Совершая, например, в 1 секунду прыжок на высоту 1 м, лошадь весом 500 кг выполняет работу в 500 кгм (рис. 59), а это отвечает мощности

$$500 : 75 = 6{,}7 \text{ л. с.}$$

Напомним, что мощность в одну лошадиную силу в полтора раза больше средней мощности лошади, так что в рассмотренном случае мы имеем более чем 10-кратное возрастание мощности.

Эта способность живых двигателей кратковременно повышать свою мощность в несколько раз дает им большое преимущество перед двигателями механическими. На хорошем, ровном шоссе автомобиль в 10 л. с. безусловно предпочтительнее повозки, запряженной

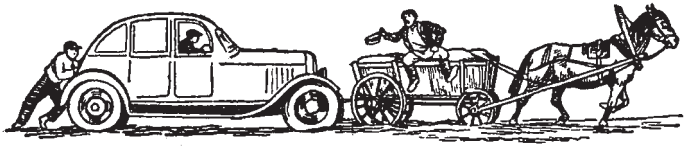


Рис. 60. Когда живой двигатель имеет преимущество перед машиной

двумя лошадьми. Но на песчаной дороге такой автомобиль будет беспомощно увязать, между тем как пара лошадей, способных при нужде развивать мощность в 15 и более лошадиных сил, благополучно справляется с препятствиями пути. «С некоторых точек зрения, — говорит по этому поводу физик Содди, — лошадь необычайно полезная машина. Каков ее эффект, мы и не представляли себе, пока не явились автомобили, и вместо двух лошадей, обычно запрягаемых в экипаж, оказалось необходимым запрягать не меньше 12 или 15, иначе автомобиль останавливался бы у каждого пригорка».

Сто зайцев и один слон

Сопоставляя живые и механические двигатели, необходимо, однако, иметь в виду и другое важное обстоятельство. Усилия нескольких лошадей не соединяются вместе по правилам арифметического сложения. Две лошади тянут с силой, которая меньше двойной силы одной лошади, три лошади — с силой, меньше тройной силы одной лошади, и т. д. Происходит это оттого, что несколько лошадей, запряженных вместе, не согласуют своих усилий и отчасти мешают одна другой. Практика показала, что мощность лошадей при различном числе их в упряжке такова:

Число лошадей в упряжке	Мощность каждой	Общая мощность
1	1	1
2	0,92	1,9
3	0,85	2,6
4	0,77	3,1
5	0,7	3,5
6	0,62	3,7
7	0,55	3,8
8	0,47	3,8

Итак, 5 совместно работающих лошадей дают не 5-кратную тягу, а лишь $3^1/_2$-кратную; 8 лошадей развивают усилие, лишь в 3,8 раза превышающее усилие одной лошади, а дальнейшее увеличение числа совместно работающих лошадей дает еще худшие результаты.

Отсюда следует, что тягу, например, трактора в 10 л. с. практически нельзя заменить тягой 15 рабочих лошадей.

Никакое вообще число лошадей не может заменить одного трактора, даже сравнительно малосильного.

У французов есть поговорка: «Сто зайцев не делают одного слона». С не меньшим правом можем мы сказать, что «сто лошадей не заменят одного трактора».

Машинные рабы человечества

Окруженные со всех сторон механическими двигателями, мы не всегда отдаем себе ясный отчет в могуществе этих наших «машинных рабов», как метко назвал их В. И. Ленин. Что всего более отличает механический двигатель от живого — это сосредоточенность огромной мощности в небольшом объеме. Самая мощная «машина», какую знал древний мир, — сильная лошадь или слон. Увеличение мощности достигалось в те времена лишь увеличением числа животных. Но соединить работоспособность многих лошадей в одном двигателе — задача, разрешенная лишь техникой нового времени.

Сто лет назад самой мощной машиной был паровой двигатель в 20 лошадиных сил, весивший 2 тонны. На одну лошадиную силу приходилось 100 кг веса машины. Отождествим для простоты мощность в одну лошадиную силу с мощностью одной лошади. Тогда будем иметь в лошади одну лошадиную силу на 500 кг веса (средний вес лошади), в механическом же двигателе — одну лошадиную силу на

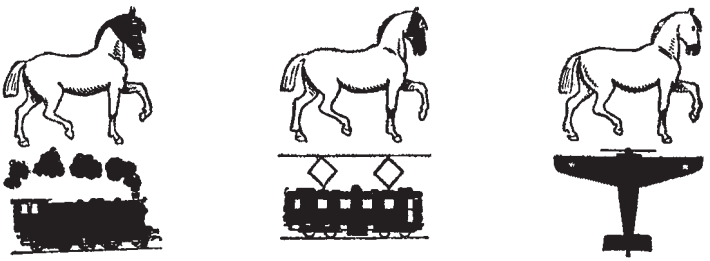


Рис. 61. Зачерненная часть контура лошади наглядно показывает, на какую долю веса приходится одна лошадиная сила в разных механических двигателях

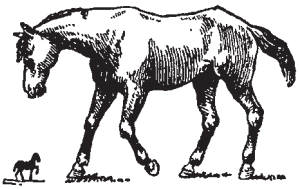


Рис. 62. Соотношение веса авиамотора и лошади при равных мощностях

100 кг веса. Паровая машина словно соединила мощность пяти лошадей в одном организме.

Лучшее соотношение мощности и веса мы имеем в современном 2000-сильном паровозе, весящем 100 т. А в электровозе мощностью 4500 л. с., при весе 120 т, мы имеем уже одну лошадиную силу на 27 кг веса.

Огромный прогресс в этом отношении представляют авиационные двигатели. Двигатель в 550 л. с. весит всего 500 кг: здесь одна лошадиная сила приходится круглым счетом на 1 кг веса*. На рис. 61 эти соотношения представлены наглядным образом: зачерненная часть контура лошади показывает, на какой вес приходится одна лошадиная сила в соответствующем механическом двигателе.

Еще красноречивее рис. 62: здесь маленькая и большая лошади изображают, какой ничтожный вес стальных мускулов соперничает с огромной массой мышц живых.

Наконец, рис. 63 дает наглядное представление об относительной мощности небольшого авиационного двигателя: 162 лошадиные силы при объеме цилиндра всего 2 л.



Рис. 63. Авиамотор с цилиндром емкостью 2 литра обладает мощностью в 162 лошадиные силы

Последнее слово в этом состязании еще не сказано современной техникой**. Мы не извлекаем из топлива всей той энергии, которая в нем содержится. Уясним себе, какой запас работы скрывает в себе одна калория теплоты — количество, затрачиваемое для нагревания литра воды на 1°. Превращенная в механическую энергию полностью — на 100 %, — она доставила бы нам 427 кгм работы, т. е. могла

* В некоторых современных авиамоторах вес спускается до $^1/_2$ кг на одну лошадиную силу и даже еще ниже.

** В данный момент первенство должно быть признано за ракетным двигателем, который, правда в течение небольшого промежутка времени, может развить мощность в сотни тысяч лошадиных сил.

бы, например, поднять груз в 427 кг на высоту одного метра (рис. 64). Полезное же действие современных тепловых двигателей исчисляется только 10–30 %: из каждой калории, получающейся в топке, они извлекают около сотни килограммметров вместо теоретических 427.

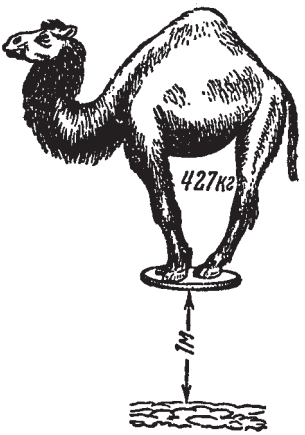


Рис. 64. Калория, превращенная в механическую работу, может поднять 427 кг на 1 м

Какой же из всех источников механической энергии, созданных человеческой изобретательностью, является особенно мощным? Огнестрельное оружие.

Современное ружье при весе около 4 кг (из которых на действующие части оружия приходится примерно лишь половина) развивает при выстреле 400 кгм работы. Это кажется не особенно значительным, но не забудем, что пуля находится под действием пороховых газов только тот ничтожный промежуток времени, пока она скользит по каналу ружья, т. е. примерно 800-ю долю секунды. Так как мощность двигателей измеряется количеством работы, выполняемой в 1 с, то, отнеся работу пороховых газов к полной секунде, получим для мощности ружейного выстрела огромное число 400 × 800 = = 320 000 кгм/с, или 4300 л. с. Наконец, разделив эту мощность на вес действующих частей ружейной конструкции (2 кг), узнаем, что одна лошадиная сила приходится здесь на ничтожный вес механизма — в полграмма! Представьте себе ми-

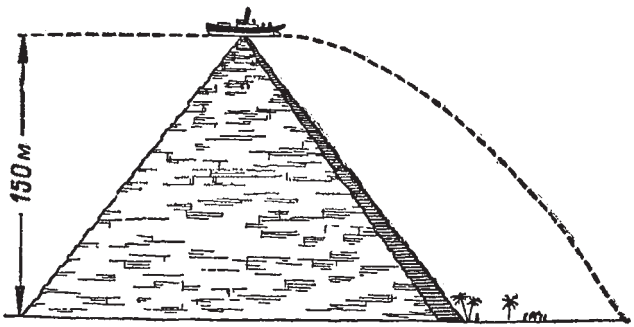


Рис. 65. Энергия снаряда крепостного орудия достаточна для поднятия 75 тонн на верхушку самой высокой пирамиды



Рис. 66. Теплота, соответствующая энергии снаряда крупного морского орудия, достаточна для растопления 36 тонн льда

ниатюрную лошадь в полграмма весом: этот пигмей размером с жука соперничает в мощности с настоящей лошадью!

Если же брать не относительные числа, а поставить вопрос об абсолютной мощности, то все рекорды побивает артиллерийское орудие. Пушка бросает ядра в 900 кг со скоростью 500 м/с (и это не является последним словом техники), развивая в сотую долю секунды около 11 миллионов килограммметров работы. Рис. 65 дает наглядное представление об этой чудовищной работе: она равнозначаща работе поднятия груза в 75 т (75-тонного парохода) на вершину пирамиды Хеопса (150 м). Работа эта развивается в 0,01 долю секунды; следовательно, мы имеем здесь дело с мощностью в 1100 миллионов кгм/с или с 15 миллионами лошадиных сил.

Показателен также и рис. 66, иллюстрирующий энергию крупного морского орудия.

Отвешивание с «походом»

Иногда недобросовестные продавцы отвешивают товар так: последнюю порцию, необходимую для равновесия, не кладут на чашку, а роняют с некоторой высоты. Коромысло весов резко склоняется в сторону товара, вводя в заблуждение доверчивого покупателя.

Если бы покупатель дождался, пока весы успокоятся, то убедился бы в том, что товара не хватает для равновесия.

Причина та, что падающее тело оказывает на опору давление, превосходящее его вес. Это ясно из следующего расчета. Пусть 10 кг падают на чашку весов с высоты 10 см. Они достигнут чашки с запасом энергии, равным произведению их веса на высоту падения:

$$0{,}01 \text{ кг} \times 0{,}1 \text{ м} = 0{,}001 \text{ кгм}.$$

Накопленный запас энергии расходуется на то, чтобы опустить чашку, скажем, на 2 см. Обозначим действующую при этом на чашку силу через *F*. Из уравнения

$$F \times 0{,}02 = 0{,}001$$

имеем:

$$F = 0{,}05 \text{ кг} = 50 \text{ г}.$$

Итак, порция товара весом всего 10 г, падая на чашку, дает, кроме своего веса, добавочное давление в 50 г. Покупатель обвешен на 50 г, хотя покидает прилавок в уверенности, что товар отпущен правильным весом.

Задача Аристотеля

За два тысячелетия до того, как Галилей (в 1630 г.) заложил основы механики, Аристотель написал свои «Механические проблемы». В числе 36 вопросов, рассмотренных в этом сочинении, имеется следующий:

> «Почему, если к дереву приложить топор, обремененный тяжелым грузом, то дерево будет повреждено весьма незначительно; но если поднять топор без груза и ударить по дереву, то оно расколется? Между тем падающий груз в этом случае гораздо меньше давящего».

Задачи этой Аристотель, при смутных механических представлениях его времени, разрешить не мог. Не справятся с ней, пожалуй, и иные из читателей. Рассмотрим поэтому поближе задачу греческого мыслителя.

Какой кинетической энергией обладает топор в момент удара в дерево? Во-первых, той, которая была накоплена им при подъеме, когда человек взмахивал топором; и во-вторых — той энергией, которую топор приобрел при нисходящем движении. Пусть он весит 2 кг и поднят на высоту 2 м; при подъеме в нем накоплено $2 \times 2 = 4$ кгм энергии. Нисходящее движение происходит под действием двух сил: тяжести и мускульного усилия рук. Если бы топор опускался только под действием своего веса, он обладал бы к концу падения кинетической энергией, равной накопленному при подъеме запасу, т. е. 4 кгм. Сила рук ускоряет движение топора вниз и сообщает ему добавочную кинетическую энергию; если усилие рук при движении вверх и вниз оставалось одинаковым, то добавочная энергия при опускании равна накопленной при подъеме, т. е. 4 кгм. Итак, в момент удара о дерево топор обладает 8 кгм энергии.

Далее, достигнув дерева, топор в него вонзается. Как глубоко? Допустим, на 1 см. На коротком пути в 0,01 м скорость топора сводится к нулю, и, следовательно, весь запас его кинетической энергии расходуется полностью. Зная это, нетрудно вычислить силу давления топора на дерево. Обозначив ее через F, имеем уравнение

$$F \times 0{,}01 = 8,$$

откуда сила $F = 800$ кг.

Это значит, что топор вдвигается в дерево с силой 800 кг. Что же удивительного, что столь внушительный, хотя и невидимый груз раскалывает дерево?

Так решается задача Аристотеля. Но она ставит нам новую задачу: человек не может расколоть дерева непосредственной силой своих мышц; как же может он сообщить топору силу, которой не обладает сам? Причина в том, что энергия, накопленная на пути в 4 м, расходуется на протяжении 1 см. Топор представляет собой «машину» даже и в том случае, когда им не пользуются как клином (кузнечный молот).

Рассмотренные соотношения делают понятным, почему для замены действия молота требуются столь сильные прессы; например, молоту в 150 т соответствует пресс в 5000 т, молоту в 20 т — пресс в 600 т и т. п.

Действие сабли объясняется теми же причинами. Конечно, большое значение имеет то, что действие силы сосредоточивается на лезвии, имеющем ничтожную поверхность; давление на квадратный сантиметр получается огромное (сотни атмосфер). Но важен и размах: прежде чем ударить, конец сабли описывает путь метра в полтора, а в теле жертвы проходит всего около десятка сантиметров. Энергия, накопленная на пути в $1^1/_2$ м, расходуется на пути в 10–15 раз меньшем. Действие руки бойца усиливается от этой причины соответственно в 10–15 раз. Имеет, впрочем, значение и как действовать: боец не только ударяет, но и притягивает в момент удара саблю к себе. Вследствие этого он режет, а не только рубит. Попробуйте разломить хлеб на две части ударом, и вы убедитесь, насколько это труднее, чем разрезать его.

Упаковка хрупких вещей

При упаковке хрупких вещей прокладывают их соломой, стружками, бумагой и т. п. материалами. Для чего это делается, понятно: чтобы предохранить от поломки. Но *почему* солома и стружки оберегают

вещи от поломок? Ответ, что они «смягчают» удары при сотрясениях, есть лишь пересказ того, что спрашивается. Надо найти причины этого смягчающего действия.

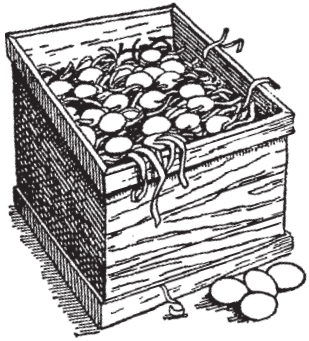


Рис. 67. Для чего яйца при упаковке перекладывают стружками?

Их две. Первая та, что прокладка увеличивает площадь взаимного соприкосновения хрупких вещей: острое ребро или угол одной вещи напирает через упаковку на другую уже не по линии, не в точке, а по целой полоске или площадке. Действие силы распространяется на большую площадь, и оттого давление соответственно уменьшается.

Действие второй причины проявляется только при сотрясениях. Когда ящик с посудой испытывает толчок, каждая вещь приходит в движение, которое тотчас же прекращается, так как соседние вещи ему мешают. Энергия движения затрачивается тогда на прогибание сталкивающихся предметов, которое зачастую оканчивается их разрушением. Так как путь, на котором расходуется при этом энергия, очень мал, то надавливающая сила должна быть весьма велика, чтобы произведение ее на путь (FS) составило величину расходуемой энергии.

Теперь понятно действие мягкой прокладки: она удлиняет путь (S) действия силы и, следовательно, уменьшает величину надавливающей силы (F). Без прокладки путь этот очень короток: стекло или яичная скорлупа могут вдавливаться, не разрушаясь, лишь на ничтожную величину, измеряемую десятыми долями миллиметра. Слой соломы, стружек или бумаги между примыкающими друг к другу частями упакованных предметов удлиняет путь действия силы в десятки раз, во столько же раз уменьшая ее величину.

В этом — вторая и главная причина предохраняющего действия мягкой прокладки между хрупкими предметами.

Чья энергия?

Западни, изображенные на рис. 68 и 69, устраиваются неграми Восточной Африки. Задевая протянутую у земли бечевку, слон обрушивает на свою спину тяжелый обрубок дерева с острым гарпуном.



Рис. 68. Слоновая западня в африканском лесу

Больше изобретательности вложено в западню, изображенную на рис. 69: животное, задевшее шнур, спускает стрелу, которая вонзается в жертву.

Откуда берется здесь энергия, поражающая животное, понятно: это преобразованная энергия того человека, который поставил западни. Падающий с высоты обрубок возвращает работу, которая была затрачена человеком при поднятии этого груза на высоту. Стреляющий лук второй западни также возвращает энергию, израсходованную охотником, который натянул тетиву. В обоих случаях животное только освобождает накопленный запас потенциальной энергии. Чтобы действовать в другой раз, западни нуждаются в новом заряжении.

Иначе обстоит дело в той западне, о которой говорит общеизвестный рассказ про медведя и бревно. Взбираясь по стволу дерева, чтобы добраться до улья, медведь натолкнулся на подвешенное бревно, мешающее карабкаться дальше (рис. 70). Он оттолкнул препятствие; бревно откачнулось, но вернулось на прежнее место, слегка ударив животное. Медведь оттолкнул бревно сильнее; оно возвратилось и ударило крепче. С возрастающей яростью стал отбрасывать медведь бревно — но, возвращаясь, оно наносило животному все более и более чувствительные удары. Обессиленный борьбой медведь упал наконец вниз, на вбитые под деревом острые колья.

Эта остроумная западня не требует зарядки. Свалив первого медведя, она может вслед за тем покончить со вторым, третьим и т. д., без всякого участия человека. Откуда же берется здесь энергия ударов, сваливших медведя с дерева?

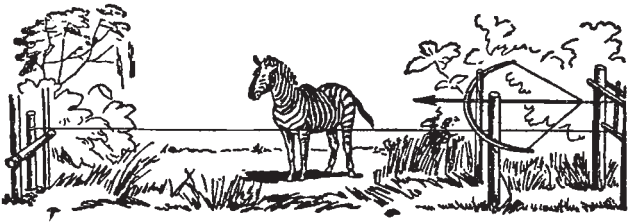


Рис. 69. Западня-самострел (Африка)

В этом случае работа производится уже за счет энергии самого животного. Медведь сам свалил себя с дерева и сам пробил себя кольями. Отбрасывая подвешенное бревно, он превращал энергию своих мускулов в потенциальную энергию поднятого бревна, которая затем преобразовывалась в кинетическую энергию бревна падающего. Точно так же, взбираясь на дерево, медведь преобразовал часть мускульной энергии в потенциальную энергию своего поднятого тела, которая затем проявилась в энергии удара его туши о колья. Словом, медведь сам избивает себя, сам сваливает себя вниз и сам пробивает себя кольями. Чем сильнее животное, тем серьезнее должно оно пострадать от такой потасовки.



Рис. 70. Медведь в борьбе с подвешенным бревном

Самозаводящиеся механизмы

Знаком ли вам небольшой прибор, называемый *шагомером*? Он имеет величину и форму карманных часов, предназначен для ношения в кармане и служит для автоматического подсчета шагов. На рис. 71 изображены его циферблат и внутреннее устройство. Главную часть механизма составляет грузик *B*, прикрепленный к концу рычага *AB*, который может вращаться около точки *A*. Обычно грузик находится в положении, изображенном на рисунке; слабая пружинка удерживает его в верхней части прибора. При каждом шаге туловище пешехода, а с ним и шагомер немного приподнимаются и затем опускаются. Но грузик *B* вследствие инерции не сразу следует за поднимающимся приборчиком и, преодолевая упругость пружины, оказывается внизу. При опускании же шагомера грузик по той же причине перемещается вверх. От этого рычаг *AB* при каждом шаге совершает двойное колебание, которое при помощи зубчатки двигает стрелку на циферблате и регистрирует шаги пешехода.

Если вас спросят, что является источником энергии, движущей механизм шагомера, вы, конечно, безошибочно укажете на мускульную работу человека. Но было бы заблуждением думать, что шагомер

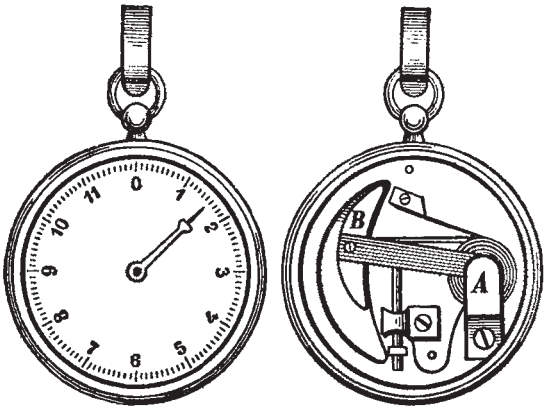


Рис. 71. Шагомер и его механизм

не требует от пешехода дополнительного расхода энергии: пешеходе «все равно ходит» и не делает будто бы ради шагомера никаких лишних усилий. Он безусловно развивает добавочное усилие, поднимая шагомер на некоторую высоту и преодолевая силу тяжести, а также силу упругости пружины, удерживающей грузик *B*.

Шагомер наводит на мысль устроить карманные часы, которые приводились бы в действие повседневными движениями человека. Такие часы уже изобретены. Их носят на руке, беспрестанные движения которой и заводят их пружину без всяких забот обладателя. Достаточно носить эти часы на руке несколько часов, чтобы они оказались заведенными более чем на сутки. Часы очень удобны: они всегда заведены, поддерживая пружину постоянно в одинаковом напряжении, чем обеспечивается правильность хода; в их корпусе нет сквозных отверстий, обусловливающих засорение механизма пылью и его увлажнение; главное же — не приходится заботиться о периодическом заводе часов. Казалось бы, что такие часы годны для слесарей, портных, пианистов и особенно для машинисток, а не для работников умственного труда. Но, рассуждая так, мы упускаем из виду одно свойство хорошо слаженных часовых ходов: чтобы заставить такой ход идти, нужен самый незначительный импульс. Оказывается, что два-три движения заставляют тяжелый молоток слегка завести пружину, и завода хватает на 3–4 часа.

Можно ли считать такие часы не нуждающимися в энергии их владельца для поддержания их хода? Нет, они потребляют ровно столько же мускульной энергии, сколько расходуется и на завод

обыкновенных часов. Движение руки, отягченной такими часами, требует избыточной затраты энергии по сравнению с рукой, несущей часы обыкновенного устройства: часть энергии расходуется, как и в шагомере, на преодоление упругости пружины.

Рассказывают, что владелец одного магазина в Америке «догадался» использовать движение дверей своего магазина, чтобы заводить пружину механизма, выполняющего полезную хозяйственную работу. Изобретатель полагал, что нашел даровой источник энергии, так как покупатели «все равно открывают двери». В действительности же посетитель, открывая двери, делал лишнее усилие на преодоление упругости заводимой пружины. Попросту говоря, владелец магазина заставлял каждого своего покупателя немного поработать и в его хозяйстве.

В обоих указанных случаях мы имеем, строго говоря, не самозаводящиеся механизмы, а лишь такие, которые заводятся мускульной энергией человека без его ведома.

Добывание огня трением

Если судить по книжным описаниям, добывание огня трением — дело легкое. Однако осуществить его на деле не так-то просто. Вот как рассказывает Марк Твен о своих попытках применить на практике подобные книжные указания:

> «Каждый из нас взял по две палочки и принялся тереть их одну о другую. Через два часа мы совершенно заледенели; палочки также (дело происходило зимою). Мы горько проклинали индейцев, охотников и книги, которые подвели нас своими советами».

О подобной же неудаче сообщает и другой писатель — Джек Лондон (в «Морском волке»):

> «Я читал много воспоминаний, написанных потерпевшими крушение: все они пробовали этот способ безуспешно. Припоминаю газетного корреспондента, путешествовавшего по Аляске и Сибири. Я однажды встретил его у знакомых, где он рассказывал, как пытался добыть огонь именно трением палки о палку. Он забавно и неподражаемо рассказывал об этом неудачном опыте. В заключение он сказал: „Островитянин южных морей, быть может, сумеет это сделать; может быть, добьется успеха и малаец. Но это безусловно превышает способности белого человека“».

Жюль Верн в «Таинственном острове» высказывает совершенно такое же суждение. Вот разговор бывалого моряка Пенкрофа с юношей Гербертом:

«— Мы могли бы добыть огонь, как первобытные люди, трением одного куска дерева о другой.

— Что же, мой мальчик, попробуй; посмотрим, добьешься ли ты чего-нибудь таким способом, кроме того, что разотрешь себе руки в кровь.

— Однако же этот простой способ весьма распространен на островах Тихого океана.

— Не спорю, — возразил моряк, — но думаю, что у дикарей есть особая к этому сноровка. Я не раз безуспешно пытался добыть огонь таким способом и решительно предпочитаю спички.

Пенкроф, — рассказывает далее Жюль Верн, — попробовал все-таки добыть огонь трением двух сухих кусков дерева. Если бы затраченная им и Набом (негром) энергия была превращена в тепловую, ее хватило бы, чтобы довести до кипения котлы трансатлантического парохода. Но результат получился отрицательный: куски дерева едва нагрелись — меньше, чем сами исполнители опыта.

После часа работы Пенкроф обливался потом. Он с досадой бросил куски дерева.

— Скорее среди зимы наступит жара, чем я поверю, что дикари этим способом добывают огонь, — сказал он. — Легче, пожалуй, зажечь собственные ладони, потирая их одну о другую».

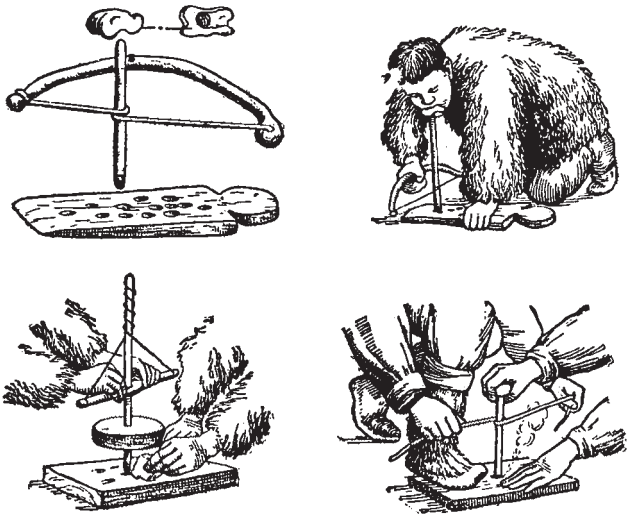


Рис. 72. Как в действительности добывают огонь трением

Причина неудач в том, что принимались за дело не так, как следует. Бóльшая часть первобытных народов добывает огонь не простым трением одной палки, а сверлением дощечки заостренной палочкой.

Разница между этими способами выясняется при ближайшем рассмотрении.

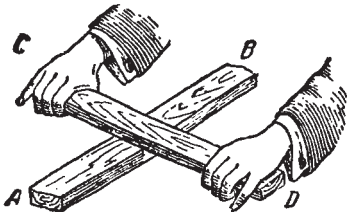


Рис. 73. Книжный способ добывания огня трением

Пусть палочка *CD* (рис. 73) движется туда и назад поперек палочки *AB*, делая в секунду два хода с размахом 25 см. Силу рук, прижимающих палочки, оценим в 2 кг (числа берутся произвольные, но правдоподобные). Так как сила трения дерева о дерево составляет около 40% силы, придавливающей трущиеся куски, действующая сила равна в этом случае $2 \times 0{,}4 = 0{,}8$ кг, а работа ее на пути 50 см составляет $0{,}8 \times 0{,}5 = 0{,}4$ кгм. Если бы эта механическая работа полностью превратилась в теплоту, она дала бы $0{,}4 \times 2{,}3 = 0{,}92$ малой калории*. Какому объему древесины сообщится эта теплота? Дерево — плохой проводник теплоты; поэтому теплота, возникающая при трении, проникает в дерево очень неглубоко. Пусть толщина прогреваемого слоя** всего лишь 0,5 мм. Величина трущейся поверхности равна 50 см, умноженным на ширину соприкасающейся поверхности, которую примем равной 1 см. Значит, возникающей при трении теплотой прогревается объем дерева в

$$50 \times 1 \times 0{,}05 = 2{,}5 \text{ см}^3.$$

Вес такого объема дерева около 1,25 г. При теплоемкости дерева 0,6 объем этот должен нагреться на

$$\frac{0{,}92}{1{,}25 \times 0{,}6} = \text{около } 1^\circ.$$

Если бы, значит, не было потери тепла вследствие остывания, то трущаяся палочка ежесекундно нагревалась бы примерно на 1°. Но так как вся палочка доступна охлаждающему действию воздуха, то остывание должно быть значительно. Вполне правдоподобно поэтому утверждение Марка Твена, что палочки при трении не только не нагрелись, но даже обледенели.

---

* Один килограммметр, превращаясь полностью в теплоту, дает 2,3 малой калории.

** Читатель увидит из дальнейшего, что результат мало меняется, если взять толщину слоя несколько бóльшую.

Другое дело — сверление (рис. 72). Пусть поперечник конца вращающейся палочки 1 см и конец этот входит в дерево на 1 см. Размах смычка (2 хода в секунду) 25 см, а сила, приводящая его во вращение, пусть равна 2 кг. Секундная работа равна в этом случае тоже $0{,}8 \times 0{,}5 = 0{,}4$ кгм, и количество возникающей теплоты 0,92 малой калории. Но нагреваемый объем дерева заметно меньше, чем в первом случае: $3{,}14 \times 0{,}05 = 0{,}15$ см^3, а вес его — 0,075 г. Значит, теоретически температура в гнезде палочки должна подняться в секунду на

$$\frac{0{,}92}{0{,}075 \times 0{,}6} = 20^\circ.$$

Такое повышение температуры (или близкое к нему) будет действительно достигаться, так как при сверлении нагреваемая часть дерева хорошо защищена от охлаждения. Температура воспламенения дерева равна 250°, и чтобы довести палочку до горения, достаточно при таком способе

$$250^\circ : 20^\circ = 12 \text{ с}.$$

Правдоподобие нашего подсчета подтверждается тем, что, по свидетельству этнологов, опытные «сверлильщики огня» среди африканских негров добывают огонь в несколько секунд*. Впрочем, всем известно, как часто загораются оси плохо смазанных телег: причина в этом случае та же.

Энергия растворенной пружины

Вы согнули стальную пружину. Затраченная вами работа превратилась в потенциальную энергию напряженной пружины. Вы можете вновь получить израсходованную энергию, если заставите распрямляющуюся пружину поднимать грузик, вращать колесо и т. п.; часть энергии возвратится в форме полезной работы, часть же уйдет на преодоление вредных сопротивлений (трения). Ни один эрг не пропадет бесследно.

Но вы поступаете с согнутой пружиной иначе: опускаете в серную кислоту, и стальная полоска растворяется. Должник исчез: не с кого взыскать энергию, затраченную на сгибание пружины. Закон сохранения энергии как будто нарушен.

* Кроме сверления, у первобытных народов практикуются и иные способы добывания огня трением — с помощью «огневого плуга», а также «огневой пилы». В обоих случаях нагревающимся частям древесины — древесной муке — обеспечивается защита от охлаждения.

Так ли? Почему, собственно, мы должны думать, что энергия в этом случае исчезла бесследно? Она могла проявиться в форме кинетической энергии в тот момент, когда пружина, разъеденная кислотой, лопнула, сообщив движение своим частям и окружающей жидкости. Могла она преобразоваться и в теплоту, подняв температуру жидкости. Но ожидать сколько-нибудь заметного повышения температуры не приходится. В самом деле, пусть края согнутой пружины сближены по сравнению с распрямленной на 10 см (0,1 м). Напряжение пружины примем равным 2 кг; значит, *средняя* величина силы, сгибавшей пружину, равнялась 1 кг. Отсюда потенциальная энергия пружины равна $1 \times 0{,}1 = 0{,}1$ кгм. Это соответствует количеству тепла $2{,}3 \times 0{,}1 = 0{,}23$ малой калории. Такое незначительное количество тепла может поднять температуру всего раствора лишь на ничтожную долю градуса, практически неуловимую.

Допустима, однако, возможность перехода энергии согнутой пружины также в электрическую или химическую; в последнем случае это могло бы сказаться либо ускорением разъедания пружины (если возникшая химическая энергия способствует растворению стали), либо замедлением этого процесса (в обратном случае).

Какая из перечисленных возможностей имеет место на самом деле, может обнаружить только опыт.

Подобный опыт и был произведен.

Стальная полоска в согнутом положении была зажата между двумя стеклянными палочками, установленными на дне стеклянного сосуда в полусантиметре одна от другой (рис. 74, слева). В другом опыте пружина упиралась прямо в стенки сосуда (рис. 74, справа). В сосуд налили серную кислоту. Полоска вскоре лопнула, и обе части были оставлены в кислоте до полного растворения. Продолжительность опыта — от погружения в кислоту пружины до растворения ее

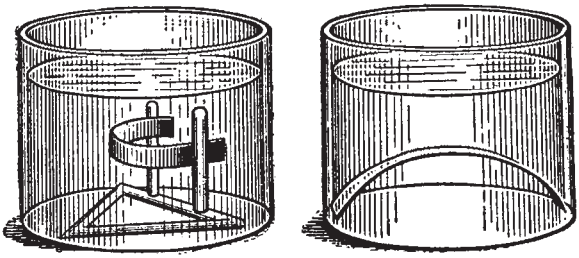


Рис. 74. Опыт с растворением напряженной пружины

частей — была тщательно измерена. Затем опыт растворения был повторен с такой же полоской в *несогнутом* состоянии при вполне одинаковых прочих условиях. Оказалось, что растворение ненапряженной полоски потребовало *меньше* времени.

Это показывает, что напряженная пружина стойче сопротивляется растворению, чем ненапряженная. Значит, несомненно, что энергия, затраченная на сгибание пружины, частью переходит в химическую, частью же — в механическую энергию движущихся частей пружины. Бесследного исчезновения энергии не происходит.

В связи с рассмотренной сейчас задачей можно поставить такой вопрос:

«Вязанка дров доставлена на 4-й этаж, отчего запас ее потенциальной энергии увеличился. Куда девается этот избыток потенциальной энергии, когда дрова сгорают?»

Разгадку нетрудно найти, если вспомнить, что после сгорания дров вещество их переходит в продукты горения, которые, образовавшись на известной высоте над землей, обладают большей потенциальной энергией, нежели в том случае, когда они возникают на уровне земной поверхности.



ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

ТРЕНИЕ И СОПРОТИВЛЕНИЕ СРЕДЫ

С ледяной горы

ЗАДАЧА

С ледяной дорожки, наклон которой 30°, а длина 12 м, скатываются санки и мчатся далее по горизонтальной поверхности.

На каком расстоянии они остановятся?

РЕШЕНИЕ

Если бы санки скользили по льду без трения, они бы никогда не остановились. Но сани движутся с трением, хотя и небольшим: коэффициент трения железных полозьев о лед равен 0,02. Поэтому они будут двигаться лишь до тех пор, пока энергия, накопленная при скатывании с горы, не израсходуется полностью на преодоление трения.

Чтобы вычислить длину этого пути, определим, сколько энергии накопляют санки, скатившись с горы. Высота AC (рис. 75), с которой санки спускаются, равна половине AB (катет против 30° составляет половину гипотенузы). Значит, $AC = 6$ м. Если вес саней P, то кинетическая энергия, приобретаемая у основания горки, равна $6P$ кгм при условии отсутствия трения. Разложим вес P на две составляющие: нормальную Q и касательную R. Трение составляет 0,02 силы Q, равной $P \cos 30°$, т. е. $0{,}87P$. Следовательно, преодоление трения поглощает

$$0{,}02 \times 0{,}87P \times 12 = 0{,}21P \text{ кгм};$$

накопленная кинетическая энергия составляет

$$6P - 0{,}21P = 5{,}79P \text{ кгм}.$$

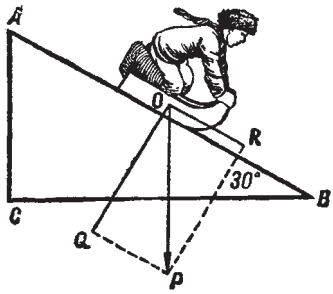


Рис. 75. Как далеко прокатятся санки?

При дальнейшем пробеге саней по горизонтальному пути, длину которого обозначим через x, работа трения равна $0{,}02Px$ кгм.

Из уравнения

$$0{,}02Px = 5{,}79P$$

имеем $x = 290$ м: сани, соскользнув с ледяной горы, пройдут по горизонтальному пути около 300 м.

С выключенным мотором

ЗАДАЧА

Шофер автомобиля, мчавшегося по горизонтальному шоссе со скоростью 72 км/ч, выключил мотор. Какое расстояние проедет после этого автомобиль, если сопротивление движению составляет 2 %?

РЕШЕНИЕ

Задача эта сходна с предыдущей, но накопленный экипажем запас энергии вычисляется здесь по другим данным. Энергия движения автомобиля (его «живая сила») равна $\frac{mv^2}{2}$, где m — масса автомобиля, а v — его скорость. Этот запас работы расходуется на пути x, причем сила, действующая на автомобиль при его движении по пути x, составляет 2 % веса P экипажа. Имеем уравнение

$$\frac{mv^2}{2} = 0{,}02Px.$$

Так как вес P автомобиля равен mg, где g — ускорение тяжести, то уравнение принимает вид:

$$\frac{mv^2}{2} = 0{,}02mgx,$$

откуда искомое расстояние:

$$x = \frac{25v^2}{g}.$$

В окончательный результат не входит масса автомобиля; значит, путь, проходимый автомобилем после выключения мотора, не зависит от массы экипажа. Подставив $v = 20$ м/с, $g = 9{,}8$ м/с^2, получаем, что искомое расстояние равно приблизительно 1000 м; автомобиль

проедет по ровной дороге целый километр. Такое большое расстояние получилось потому, что при расчете мы не приняли во внимание сопротивление воздуха, которое быстро возрастает вместе со скоростью.

Тележные колеса

Почему у большинства повозок передние колеса делаются меньшего размера, чем задние, — даже и тогда, когда передок не поворотный и передние колеса не должны подходить под кузов?

Чтобы найти правильный ответ, надо вопрос поставить иначе: спрашивать не о том, почему передние колеса меньше, а о том, почему задние *больше*. Дело в том, что целесообразность малого размера передних колес понятна сама собой; низкое положение оси этих колес придает оглоблям и постромкам наклон, облегчающий лошади вытаскивание телеги из выбоин дороги. Рис. 76 поясняет, почему при наклонном положении оглобли *AO* тяга *OP* лошади, разлагаясь на составляющие *OQ* и *OR*, дают силу (*OR*), направленную вверх и облегчающую вытаскивание воза из выбоины. При горизонтальном же положении оглобель (рис. 76, справа) не получается силы, направленной вверх; вытащить воз из выбоины тогда трудно. На хорошо содержимых дорогах, где таких неровностей пути не бывает, излишне и низкое положение оси передних колес. Что касается автомобилей и двухколесных велосипедов, то у них и прежде колеса делались одинаковыми.

Перейдем теперь к вопросу задачи: почему задние колеса не делаются одного диаметра с передними? Причина та, что большие колеса выгоднее малых, так как испытывают меньшее *трение*. Сила трения катящегося тела обратно пропорциональна радиусу. Отсюда ясна целесообразность большого диаметра задних колес.

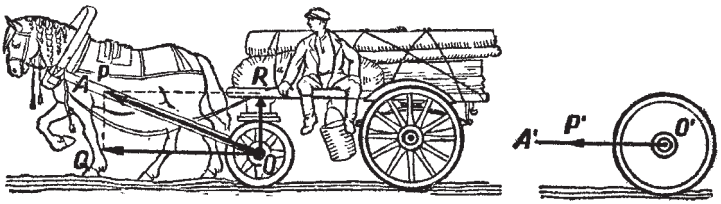


Рис. 76. Почему передние колеса выгодно делать маленькими?

На что расходуется энергия паровозов и пароходов?

Согласно механике «здравого смысла» паровозы и пароходы расходуют свою энергию на собственное передвижение. Между тем только в первую четверть минуты энергия паровоза затрачивается на приведение его и поезда в движение. Остальное же время (на горизонтальном пути) энергия расходуется только на то, чтобы преодолевать трение и сопротивление воздуха. Можно сказать, что энергия трамвайной электростанции целиком расходуется на то, чтобы согревать воздух города, — работа трения превращается в теплоту. Не будь вредных сопротивлений, поезд, разогнавшись в течение первых 10–20 с, двигался бы по инерции на горизонтальном пути неопределенно долго, не затрачивая энергии.

Мы уже говорили ранее, что движение равномерное совершается без участия силы и, следовательно, без расхода энергии. Если же при равномерном движении происходит трата энергии, то расходуется она на преодоление помех равномерному движению. Мощные машины пароходов нужны также лишь для того, чтобы преодолевать сопротивление воды. Оно весьма значительно по сравнению с сопротивлением при сухопутном транспорте и, кроме того, быстро растет с увеличением скорости (пропорционально второй ее степени). В этом кроется, между прочим, причина того, почему на воде недостижимы столь значительные скорости, как на суше*. Гребец легко может двигать лодку со скоростью 6 км/ч, но увеличение скорости на 1 км/ч напрягает все его силы. А чтобы легкая гоночная лодка скользила со скоростью 20 км/ч, нужна уже отлично тренированная команда из восьми человек, гребущих изо всех сил.

Если сопротивление воды движению растет очень быстро с увеличением скорости, то и увлекающая сила воды чрезвычайно быстро возрастает со скоростью. Сейчас мы побеседуем об этом подробнее.

Камни, увлекаемые водой

Подмывая и разрушая берег, река сама переносит обломки от места их падения в другие части своего ложа. Вода перекатывает по

* Сказанное не относится к тем судам (так называемым *глиссерам*), которые *скользят по воде*, почти не погружаясь в нее; встречая поэтому со стороны воды лишь незначительное сопротивление, глиссеры способны развивать сравнительно большие скорости.



Рис. 77. Горный поток перекатывает камни

дну камни, нередко довольно крупные, — способность, приводящая многих в изумление. Удивляются, как может вода увлекать камни. Правда, это делает не всякая река. Равнинная, медленно текущая река увлекает течением только мелкие песчинки. Но достаточно небольшого увеличения скорости, чтобы весьма заметно усилить увлекающую мощь водяного потока. При удвоенной скорости река не только уносит песчинки, но перекатывает уже крупную гальку. А горный поток, текущий еще вдвое быстрее, увлекает булыжники в килограмм и более весом. Чем объяснить эти явления?

Мы имеем здесь любопытное следствие закона механики, известного в гидрологии под названием закона Эри. Закон утверждает, что увеличение скорости течения в n раз сообщает потоку способность увлекать предметы в n^6 раз более тяжелые.

Покажем, почему существует здесь такая — весьма редкая в природе — пропорциональность 6-й степени.

Для простоты вообразим каменный кубик с ребром a (рис. 78), лежащий на дне реки. На боковую его грань S действует сила F — напор текущей воды. Она стремится повернуть кубик вокруг ребра AB. Этому противодействует сила P — вес кубика в воде, препятствующая повороту кубика вокруг этого ребра. Чтобы камень остался в равновесии, необходимо — по правилам механики — равенство «моментов» обеих сил F и P относительно оси AB. Моментом силы относительно оси называется произведение величины этой силы на ее расстояние от оси. Для силы F момент равен Fb, для силы P он равен Pc (рис. 78).

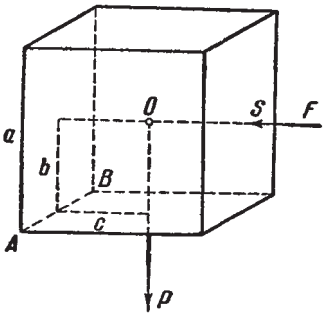


Рис. 78. Силы, действующие на камень в текущей воде

Но $b = c = \frac{a}{2}$. Следовательно, камень останется в покое лишь тогда, когда

$$F \times \frac{a}{2} \leq P \times \frac{a}{2}, \text{ т. е. } F \leq P.$$

Далее применим формулу

$$Ft = mv,$$

где t означает продолжительность действия силы, m — масса воды, участвующая в напоре за t секунд, v — скорость течения.

В гидродинамике доказывается, что полное давление струи воды на пластинку, перпендикулярную к направлению движения воды, пропорционально площади пластинки и квадрату скорости течения воды. Значит,

$$F = ka^2v^2.$$

Вес P куба в воде равен объему a^3, умноженному на удельный вес d его материала, минус вес такого же объема воды (закон Архимеда):

$$P = a^3d - a^3 = a^3\,(d - 1).$$

Условие равновесия $F \leq P$ принимает вид:

$$ka^2v^2 \leq a^3\,(d - 1),$$

откуда

$$a \geq \frac{v^2}{k(d - 1)}.$$

Ребро a куба, могущего противостоять потоку, скорость которого v, пропорционально второй степени скорости. Вес же куба, мы знаем, пропорционален третьей степени его ребра a^3. Следовательно, вес увлекаемых водой каменных кубов возрастает с 6-й степенью скорости течения, так как $(v^2)^3 = v^6$.

В этом и состоит закон Эри. Мы вывели его для камней кубической формы, но нетрудно получить вывод для тел любой формы. Наш вывод приближённый и имеет значение только для ориентировки. Современная гидродинамика дает более обоснованное решение.

Как иллюстрацию этого закона представьте себе три реки; скорость второй вдвое больше скорости первой, а третьей — еще вдвое больше. Иначе говоря, скорости их относятся как 1 : 2 : 4. По закону Эри вес камней, увлекаемых этими потоками, будет относиться как $1 : 2^6 : 4^6 = = 1 : 64 : 4096$. Вот почему, если спокойная река увлекает только песчинки в $^1/_4$ г весом, то вдвое более быстрая река может увлекать камешки до 16 г, а еще вдвое более быстрая горная река способна уже перекатывать камни весом во много килограммов.

Скорость дождевых капель

Косые линии дождевых струй на оконных стеклах движущегося вагона свидетельствуют о замечательном явлении. Здесь происходит сложение двух движений по правилу параллелограмма, так как капли дождя, падая вниз, участвуют одновременно и в движении поезда. Заметьте, что результирующее движение получается здесь *прямолинейное*. Но одно из слагающих движений (движение поезда) — равномерное. Механика учит, что в таком случае и другое составляющее движение, т. е. падение капель, должно быть тоже *равномерным*. Вывод неожиданный: падающее тело, движущееся равномерно! Это звучит парадоксально. Между тем таков неизбежный вывод из прямолинейности косых линий на оконном стекле вагона; если бы капли дождя падали ускоренно, линии эти были бы кривыми (дугами парабол при равноускоренном падении).

Итак, дождевые капли падают не с ускорением, как уроненный камень, а равномерно. Причина та, что сопротивление воздуха нацело уравновешивает вес капли, порождающий ускорение. Если бы этого не было, если бы воздух не задерживал падения дождевых капель, последствия были бы для нас довольно плачевны. Дождевые облака парят нередко на высоте 1–2 км; падая с высоты 2000 м в несопротивляющейся среде, капли достигли бы земной поверхности со скоростью

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9{,}8 \times 2000} \approx 200 \text{ м/с}.$$

Это скорость револьверной пули. И хотя пули здесь не свинцовые, а только водяные, несущие с собой в 10 раз меньше кинетической энергии, все же не думаю, чтобы подобный обстрел был приятен.

С какой же скоростью дождевые капли в действительности достигают земли? Мы займемся этим, но прежде объясним, почему капли дождя движутся равномерно.

Сопротивление, испытываемое падающим телом со стороны воздуха, не остается во все время падения одинаковым. Оно растет по мере увеличения быстроты падения. В первые мгновения, пока скорость падения ничтожна*, можно вовсе пренебречь сопротивлением воздуха. В дальнейшем скорость падения возрастает, а вместе с тем растет и сопротивление, задерживающее рост скорости**. Падение

* В первую 10-ю долю секунды, например, свободно падающее тело проходит всего 5 см.

** При скорости от нескольких метров в секунду примерно до 200 м/с сопротивление воздуха растет пропорционально *квадрату* скорости.



Рис. 79. Косые струи дождя в окне вагона

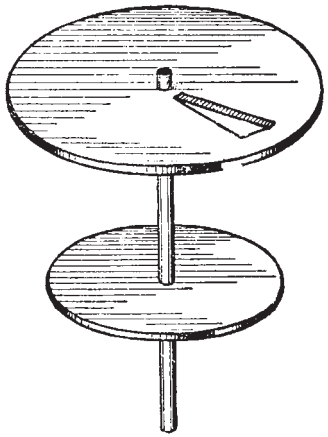


Рис. 80. Прибор для измерения скорости дождя

остается ускоренным, но величина ускорения меньше, чем при свободном падении. Потом ускорение продолжает уменьшаться и практически становится равным нулю: с этого момента тело движется без ускорения, т. е. равномерно. И так как скорость не возрастает больше, то не растет и сопротивление: равномерное движение не нарушается, не переходит ни в ускоренное, ни в замедленное.

Значит, тело, падающее в воздухе, должно с некоторого момента двигаться равномерно. Для капель воды момент этот наступает очень рано. Измерения окончательной скорости дождевых капель показали, что она весьма невелика, в особенности для капель мелких. Для капелек в 0,03 мг она равна 1,7 м/с, для 20 мг — 7 м/с, а для самых крупных, весом 200 мг, скорость достигает 8 м/с; большей скорости не наблюдалось.

Очень остроумен способ измерения скорости дождевых капель. Прибор (рис. 80) состоит из двух дисков, наглухо насаженных на общую вертикальную ось. Верхний диск имеет прорез в форме узкого сектора. Прибор выносят под зонтом на дождь, приводят в быстрое вращение и убирают зонт. Капли дождя, проходя через прорез, падают на нижний круг, устланный пропускной бумагой. За время, в течение которого капля движется между дисками, они успевают повернуться на некоторый угол, и следы капель, упавших на нижний круг, окажутся не прямо под прорезом, а несколько позади. Пусть, например, след капли оказался позади на 20-ю долю окружности,

круги же делают 20 оборотов в минуту; расстояние между кругами пусть равняется 40 см. Нетрудно определить по этим данным скорость падения капель: капля пробегает расстояние между кругами (0,4 м) в тот промежуток времени, в течение которого диск, делающий 20 оборотов в минуту, успевает повернуться на 20-ю долю оборота. Этот промежуток времени равен

$$\frac{1}{20} : \frac{20}{60} = 0{,}15 \text{ с.}$$

В 0,15 с капля прошла 0,4 м; значит, скорость падения капли равна

$$0{,}4 : 0{,}15 = 2{,}6 \text{ м/с.}$$

(Совершенно подобным же способом может быть измерена скорость полета пули.)

Что касается *веса* капель, то он вычисляется по размеру влажных пятен, получающихся при падении капель на пропускную бумагу. Сколько миллиграммов воды всасывает 1 см^2 бумаги, определяют предварительно.

Интересно посмотреть, как скорость капли меняется в зависимости от веса.

Вес капли в мг	0,03	0,05	0,07	0,1	0,25	3	12,4	20
Радиус в мм	0,2	0,23	0,26	0,29	0,39	0,9	1,4	1,7
Скорость в м	1,7	2	2,3	2,6	3,3	5,6	6,9	7,1

Градины падают с большей скоростью, чем дождевые капли. Это объясняется не тем, конечно, что градины плотнее воды (наоборот, вода плотнее), а тем, что они достигают большей величины. Но и они падают близ земли с постоянной скоростью.

Даже брошенные с аэроплана шрапнельные пули (свинцовые шарики около 1,5 см в диаметре) достигают земли с постоянной и довольно умеренной скоростью; поэтому они почти безвредны — неспособны пробить даже мягкую шляпу. Зато уроненные с такой же высоты железные «стрелки» представляют грозное оружие, пробивающее продольно туловище человека навылет. Объясняется это тем, что на 1 см^2 поперечного сечения стрелки приходится гораздо бóльшая масса, нежели в круглой пуле; как выражаются артиллеристы, «поперечная нагрузка» стрелки значительнее, чем пули, благодаря чему стрелка успешнее преодолевает сопротивление воздуха.

Загадка падения тел

Такое общеизвестное явление, как падение тел, дает нам поучительный пример резкого расхождения обыденных и научных представлений. Люди, не знакомые с механикой, убеждены в том, что тела тяжелые падают быстрее, чем легкие. Взгляд этот, восходящий к Аристотелю и всеми разделявшийся в течение длинного ряда веков, был опровергнут лишь в XVII веке Галилеем, основателем современной физики. Остроумен ход мыслей великого натуралиста, бывшего также и популяризатором: «Без опытов, путем краткого, но убедительного рассуждения мы можем ясно показать неправильность утверждения, будто тела более тяжелые движутся быстрее, нежели более легкие, подразумевая тела из одного и того же вещества... Если мы имеем два падающих тела, естественные скорости которых различны, и соединим движущееся быстрее с движущимся медленнее, то ясно, что движение тела, падающего быстрее, несколько задержится, а движение другого несколько ускорится. Но если это так и если вместе с тем верно, что больший камень движется, скажем, со скоростью в восемь „градусов“ (условная единица), тогда как другой, меньший, — со скоростью в четыре „градуса“, то, соединяя их вместе, мы должны получить скорость меньшую восьми „градусов“; однако два камня, соединенные вместе, составляют тело, большее первоначального, которое имело скорость в восемь „градусов“; следовательно, выходит, что более тяжелое тело движется с меньшей скоростью, чем более легкое; а это противно нашему предположению. Вы видите, что из положения, что более тяжелые тела движутся с большей скоростью, чем легкие, я мог вывести заключение, что более тяжелые тела движутся менее быстро».

Теперь мы твердо знаем, что в пустоте все тела падают с одинаковой скоростью и что причина, обусловливающая различную скорость падения тел в воздухе, есть его сопротивление. Здесь, однако, возникает недоумение такого рода: сопротивление воздуха движению зависит только от размеров и от формы тела; казалось бы, поэтому два тела, одинаковые по величине и по форме, но разного веса, должны падать с одинаковой скоростью: их скорости, равные в пустоте, должны одинаково уменьшиться под действием воздушного сопротивления. Железный и деревянный шары одинакового диаметра должны падать одинаково быстро — вывод, явно не отвечающий фактам.

Как выпутаться из этого конфликта теории и практики?

Воспользуемся мысленно услугами аэродинамической трубы (глава 1), поставив ее *отвесно*. Железный и деревянный шары одно-

го размера подвешены в ней и подвержены действию идущего снизу воздушного потока. Иначе говоря, мы «обратили» падение тел в воздухе. Какой же из двух шаров будет быстрее увлекаться вверх воздушным потоком? Ясно, что, хотя на оба шара действуют равные силы, шары получат неодинаковые ускорения: легкий шар приобретет большее ускорение (согласно формуле $F = ma$). Применяя это к первоначальному, не обращенному явлению, мы видим, что легкий шар при падении должен *отставать* от тяжелого. Другими словами, шар железный должен падать в воздухе быстрее, чем равный ему по объему деревянный. Сказанное объясняет, между прочим, и то, почему артиллеристы придают столь большое значение «поперечной нагрузке» снаряда, т. е. той доле его массы, которая приходится на каждый $см^2$, подверженный сопротивлению воздуха.

Приведем еще такой пример. Приходилось ли вам, стоя на горе, развлекаться тем, что вы бросали камни под гору? В таком случае вы не могли не заметить, что крупные камни, как правило, проходили до остановки больший путь, чем малые. Объяснение простое: и большой, и малый камень встречают одинаковые препятствия на пути, но большой камень, имея большой запас энергии, легче преодолевает такие препятствия, которые задерживают малый камень.

Вниз по течению

Для многих, я уверен, будет совершенно новым и неожиданным, что плавание тел по течению реки имеет близкое сходство с падением в воздухе. Принято думать, что лодка, пущенная на реку без весел и парусов, плывет по ней со скоростью течения. Такое представление, однако, ошибочно: лодка движется *быстрее течения*, и притом тем быстрее, чем она тяжелее. Факт этот хорошо известен опытным плотовщикам, но совершенно неизвестен многим физикам. Должен сознаться, что и я лишь недавно узнал про него.

Разберемся подробнее в этом парадоксальном явлении. С первого взгляда представляется непонятным, как может плывущая по течению лодка обогнать несущую ее воду. Но надо иметь в виду, что река несет лодку не так, как лента конвейера переносит лежащие на ней детали. Вода в реке представляет собой наклонную плоскость, по которой тела самостоятельно скользят *ускоренным* движением; вода же вследствие трения о русло обладает установившимся *равномерным* движением. Ясно, что неизбежно должен наступить момент, когда плывущая с возрастающей скоростью лодка *перегонит* течение.

С этого момента вода будет уже *тормозить* движение лодки, как воздух замедляет падение в нем тел. В итоге — по тем же причинам, как и в воздухе, — движущееся тело приобретает некоторую окончательную скорость, которая более уже не возрастает. Чем легче плывущее в воде тело, тем раньше достигается эта постоянная скорость и тем она меньше по величине; напротив, тело тяжелое, пущенное по течению, приобретает бóльшую окончательную скорость.

Отсюда следует, что, например, весло, упущенное с лодки, должно *отстать* от лодки, так как оно значительно легче ее. И лодка, и весло будут нестись по реке быстрее течения, но тяжелая лодка опережает легкое весло. Так и наблюдается в действительности; особенно заметно это на быстро текущих реках.

Чтобы наглядно иллюстрировать все сейчас изложенное, приведем интересный рассказ одного путешественника:

«Я участвовал в экскурсии по Алтаю, и там мне пришлось спуститься по реке Бие — от ее истока из Телецкого озера до города Бийска, — спуск занял 5 суток. Перед отправлением кто-то из экскурсантов заметил плотовщику, что нас на плоту довольно много.

— Ничего, — возразил наш дедка, — зато быстрей поедем.

— Как? Разве мы поплывем не со скоростью течения? — удивились мы.

— Нет, *мы поплывем быстрее течения*; чем тяжелее плот, тем он быстрее плывет.

Мы не поверили. Дед предложил нам, когда поплывем, бросить щепки с плота. Такой опыт мы проделали — и действительно оказалось, что щепки очень быстро от нас отстают.

Правота деда выявилась во время сплава и более эффектно.

В одном месте мы попали в водоворот. Очень долго описывали мы круги, прежде чем удалось нам из него вырваться. В самом начале нашего кружения упал с плота в воду деревянный молоток и быстро уплыл (по свободной от водоворота поверхности реки. — *Я. П.*).

— Ничего, — сказал дед, — мы его догоним, мы тяжелее.

И хотя мы надолго застряли в водовороте, предсказание это сбылось.

В другом месте мы заметили впереди нас плот; он был легче нашего (без пассажиров), и мы его быстро догнали и перегнали».

Как руль управляет судном

Всем известно, что маленький руль направляет движение большого корабля. Как это происходит?

Пусть корабль (рис. 81) движется под действием какого-либо двигателя в направлении, указанном стрелкой. Вместо того чтобы рассмат-

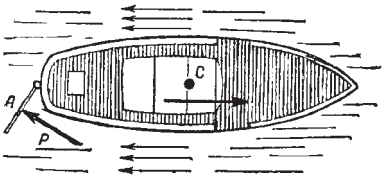


Рис. 81. При движении корабля под действием двигателя руль прикрепляется к корме

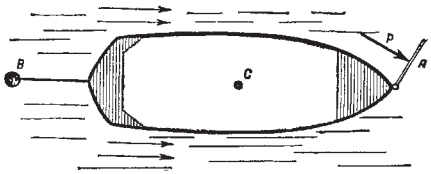


Рис. 82. При движении более медленном, чем течение, руль нужно прикрепить на носу

ривать движение корабля относительно воды, можно считать корабль неподвижным, а воду текущей в направлении, противоположном движению корабля. Вода давит на руль *A* с силой *P*, которая поворачивает корабль вокруг его центра тяжести *C*. Чем больше скорость корабля по отношению к воде, тем лучше он слушается руля. Если корабль не движется относительно воды, то рулем его нельзя повернуть.

Расскажем об одном замечательном способе, к которому когда-то прибегали на Волге для управления большими белянами, плывшими по течению без тяги. Руль устраивали на носу, а с кормы в тех случаях, когда нужно поворачивать беляну, выбрасывали на канате груз, который волочился по дну. Наличие этого груза и делало громадное судно управляемым. Почему? А потому, что беляна с лесом двигается медленнее воды; относительное движение воды происходит в сторону движения беляны, и вода оказывает давление на руль только в сторону, противоположную по сравнению со случаем, когда судно при наличии двигателя движется быстрее воды. Автор замечательной выдумки — народ.

Когда дождь промочит сильнее?

ЗАДАЧА

В этой главе нам пришлось много беседовать о падении дождевых капель. Позволю себе поэтому в заключение предложить читателю задачу хотя и не относящуюся прямо к теме главы, но тесно связанную с механикой падения дождя.

Практической задачей, на вид очень простой, но довольно поучительной, мы закончим эту главу.

В каком случае во время отвесного дождя вы больше промочите вашу шляпу: оставаясь неподвижно на месте или двигаясь под дождем столько же времени?

Задачу легче решить, если предложить ее в иной форме.

Дождь падает отвесно. В каком случае на крышу вагона попадет ежесекундно больше дождевой воды — когда вагон стоит или когда он движется?

Я предлагал эту задачу — в той и другой форме — разным лицам, занимающимся механикой, и получал разноречивые ответы. Одни для сбережения шляпы советовали спокойно стоять под дождем, другие, напротив, рекомендовали бежать возможно быстрее.

Какой же ответ правилен?

РЕШЕНИЕ

Будем рассматривать задачу во второй редакции — по отношению к крыше вагона.

Когда вагон неподвижен, на его крышу ежесекундно попадает вода, заключенная, в виде дождевых капель, в прямой призме, основанием которой служит крыша вагона, а высотой — скорость V отвесного падения капель (рис. 83).

Труднее учесть количество дождевой воды, выпадающей на крышу *движущегося* вагона. Поступим следующим образом. Вообразим, что и вагон, движущийся со скоростью C, и вся совокупность падающих дождевых капель получили такое движение относительно земли, которое равно и противоположно действительному движению вагона. Тогда вагон сделается относительно земли неподвижным, капли же дождя будут совершать относительно этого неподвижного вагона двоякое движение: отвесное падение со скоростью V и горизонтальное перемещение навстречу вагону со скоростью C. Результирующая скорость V_1 будет наклонена к крыше вагона; иными словами, вагон словно окажется под косым дождем (рис. 84).

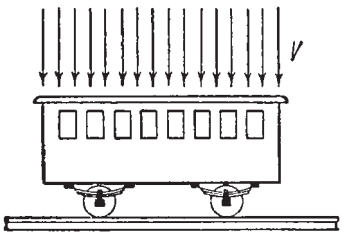


Рис. 83. Дождь, падающий отвесно на неподвижный вагон

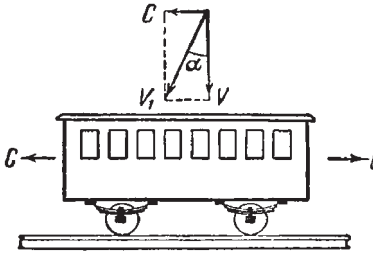


Рис. 84. То же в случае движущегося вагона

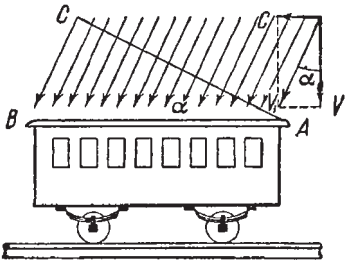


Рис. 85. Дождь, падающий на крышу движущегося вагона

Теперь ясно, что совокупность капель, ежесекундно попадающих на крышу движущегося вагона, целиком заключается в пределах наклонной призмы, основанием которой по-прежнему служит крыша вагона (рис. 85), а боковые ребра наклонены под углом α к вертикали и равны V_1. Высота этой призмы равна

$$V_1 \cos \alpha = V.$$

Итак, обе призмы, о которых была речь: прямая (в случае вертикально падающего дождя) и наклонная (в случае косого дождя), имеют общее основание (крыша вагона) и равные высоты, а потому равновелики. В обоих случаях выпадает дождевой воды одинаковое количество! Ваша шляпа, следовательно, промокнет одинаково, простоите ли вы на дожде неподвижно полчаса или будете полчаса бежать под дождем.



ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

МЕХАНИКА В ЖИВОЙ ПРИРОДЕ

Гулливер и великаны

Когда вы читаете в «Путешествии Гулливера» о великанах в 12 раз выше нормального роста, вы, конечно, представляете себе их по крайней мере во столько же раз более могучими. Да и сам автор «Путешествия» наделил своих бробдиньягов чудовищной силой. Однако это совершенно ошибочно и противоречит законам механики. Легко убедиться, что великаны не только не могли быть в 12 раз могущественнее нормального человека, но, напротив, должны были быть относительно во столько же раз *слабее*.

Пусть рядом стоят Гулливер и великан. Оба поднимают вверх правую руку. Вес руки Гулливера p, великана — P. Первый поднимает центр тяжести своей руки на высоту h, второй — на H. Значит, Гулливер совершает работу ph, великан — PH. Найдем соотношение между этими величинами. Вес P руки великана больше веса p руки Гулливера во столько раз, во сколько больше ее объем, т. е. в 12^3 раз. Высота H больше h в 12 раз. Итак,

$$P = 12^3 \times p,$$
$$H = 12 \times h.$$

Отсюда $PH = 12^4 ph$, т. е. для поднятия руки великан должен выполнить работу в 12^4 раз бóльшую, нежели человек нормальных размеров. Наделен ли великан соответственно большей работоспособностью? Для этого обратимся к сравнению мускульной силы обоих существ и прежде всего прочтем относящееся сюда место из курса физиологии*:

> «В мышце с параллельными волокнами высота, до которой поднимается тяжесть, зависит от *длины* волокна, вес же поднимаемого при этом

* «Учебник физиологии» Фостера.

груза зависит от *числа* волокон, так как тяжесть распределяется между ними. Поэтому из двух мышц одинаковой длины и качества бóльшую работу производит та, которая обладает большей *площадью сечения*, а из двух мышц с одинаковой площадью сечения — та, которая *длиннее*. Если же для сравнения взяты две мышцы различной длины и площади сечения, то производимая ими работа больше для той из них, которая обладает бóльшим *объемом*, т. е. содержит больше кубических единиц».

Прилагая сказанное к нашему случаю, заключаем, что способность производить работу у великана должна быть больше, чем у Гулливера, в 12^3 раз (отношение *объемов* мышц). Обозначив работоспособность Гулливера через w, а великана через W, имеем соотношение

$$W = 12^3 w.$$

Значит, великан, поднимая свою руку, должен выполнить работу в 12^4 раз бóльшую, чем Гулливер, а работоспособность его мускулов превышает Гулливерову только в 12^3 раз. Ясно, что ему в 12 раз труднее выполнить это движение, чем Гулливеру. Другими словами, великан *относительно* в 12 раз слабее Гулливера; для одоления одного великана понадобилась бы армия не из 1728 (т. е. 12^3) нормальных людей, а только из 144.

Если Свифт желал, чтобы его великаны были столь же свободны в своих движениях, как и люди нормального роста, он должен был наделить бробдиньягов мускулами, объем которых в 12 раз больше, чем требует пропорциональность. Для этого они должны иметь поперечник в $\sqrt{12}$, т. е. примерно в $3^1/_2$ раза больше, чем в теле пропорционально сложенного человека. К тому же и кости, несущие такие утолщенные мышцы, должны быть соответственно массивнее. Думал ли Свифт, что созданные его воображением великаны по тяжеловесности и неуклюжести должны походить на бегемотов?

Почему бегемот неуклюж

Бегемот не случайно пришел мне на ум. Массивность и громоздкость этого животного легко объяснить сказанным в предыдущей статье. В природе не может быть существа, которое при крупных размерах отличалось бы грациозностью. Сравним бегемота (4 м длины) с мелким грызуном леммингом (15 см длины). Наружные формы их

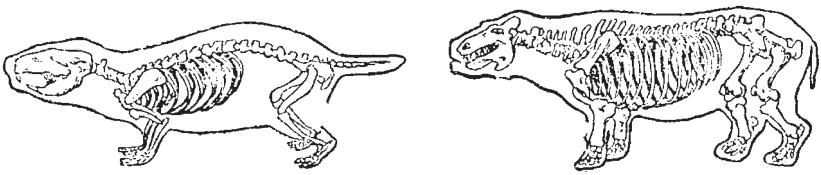


Рис. 86. Скелет бегемота (справа), сопоставленный со скелетом лемминга, причем кости бегемота по длине уменьшены до размеров костей этого грызуна. Бросается в глаза непропорциональная массивность костей бегемота

тела приблизительно подобны, но мы уже убедились, что животные, геометрически подобные, но имеющие разные размеры, не могут обладать одинаковой свободой движений.

Если бы мускулы бегемота были геометрически подобны мускулам лемминга, бегемот был бы относительно слабее лемминга в $\frac{400}{15} \approx 27$ раз.

Чтобы сравниться с леммингом в подвижности, мускулы бегемота должны быть в 27 раз объемистее сверх того, что требует пропорциональность, а значит, поперечник их — в $\sqrt{27}$, т. е. в 5 раз больше. Соответственно толще должны быть и кости, служащие опорой таким мускулам. Теперь понятно, почему бегемот так неуклюже толстомяс и обладает таким массивным скелетом. Рис. 86, на котором представлены в одинаковых размерах скелет и наружные очертания обоих животных, наглядно убеждает в сказанном. Следующая таблица подтверждает, что в животном мире наблюдается общий закон, в силу которого чем крупнее животное, тем больший процент его веса составляет скелет.

Млекопитающие	Вес скелета в %	Птицы	Вес скелета в %
Землеройка	8	Королек	7
Домашняя мышь	8,5	Домашняя курица	12
Кролик	9	Гусь	13,5
Кошка	11,5		
Собака (средн. разм.)	14		
Человек	18		

Строение наземных животных

Многие особенности строения наземных животных находят себе естественное объяснение в том простом механическом законе, что работоспособность конечностей пропорциональна 3-й степени их длины, а работа, необходимая для управления ими, — 4-й степени. Поэтому чем крупнее животное, тем короче его конечности — ноги, крылья, щупальца. Длинные конечности мы видим только у самых мелких из наземных животных. Всем известный паук-сенокосец может служить примером таких длинноногих существ. Законы механики не препятствуют появлению подобных форм, пока размеры их весьма невелики. Но существование подобного животного при величине, скажем, с лисицу было бы невозможно: ноги не выдержали бы груза туловища и лишены были бы подвижности. Только в океане, где вес животного уравновешивается выталкивающим действием воды, могут существовать подобные животные формы; например, глубоководный краб *макрохейра* при поперечнике тела в полметра обладает ногами в 3 м длины.

Действие того же закона сказывается и при развитии отдельных животных. Конечности взрослой особи всегда короче, чем у зародыша; рост туловища обгоняет рост конечностей, благодаря чему устанавливается надлежащее соотношение между мускулатурой и работой, необходимой для перемещения.

Этими интересными вопросами первым занимался Галилей. В своей книге «Беседы о двух новых отраслях науки», где заложены были основы механики, он уделяет место таким темам, как животные и растения чрезмерной величины, «кости великана и морских животных», возможная величина водяных животных и т. п. Мы еще вернемся к этому в конце главы.

Судьба вымерших чудовищ

Итак, законы механики ставят некоторый предел размерам животных. Увеличивая абсолютную силу животного, крупный рост либо уменьшает его подвижность, либо же обусловливает несоразмерную массивность его мышц и скелета. То и другое ставит животное в невыгодные условия по отношению к добыванию пищи. Потребность в пище растет с увеличением размеров животного, возможность же ее добывания при этом уменьшается (пониженная подвижность).

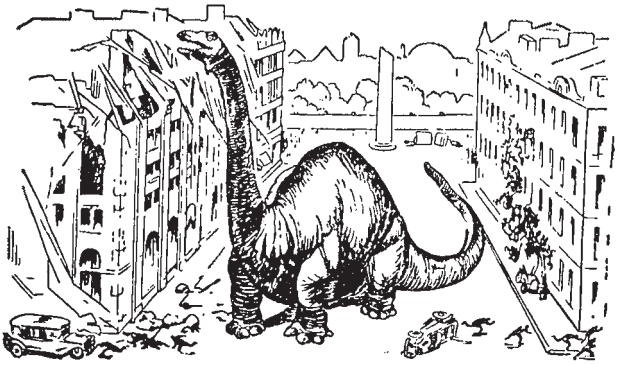


Рис. 87. Исполин древних геологических эпох, перенесенный на улицу современного города

Начиная с некоторой величины животного, потребность его в пище наконец превышает способность к ее добыванию. Такой вид обрекается на вымирание. И мы видим, как исполинские животные древних геологических эпох действительно одно за другим сходят с арены жизни. Из всего разнообразия форм, созданных природой в крупном масштабе, лишь немногие дожили до наших дней. Наиболее крупные — например, исполинские пресмыкающиеся — оказались нежизнеспособными. В числе причин, обусловивших вымирание исполинов древней истории Земли, указанный закон занимал одно из самых видных мест. Кит не может идти в счет: он живет в воде, вес его уравновешивается давлением воды на его тело, и все сейчас сказанное к нему не относится (рис. 88).

Можно поставить вопрос: если большие размеры так невыгодны для жизни организма, то почему эволюция не шла в направлении измельчания животных форм? Причина та, что крупные формы все же *абсолютно* сильнее мелких, хотя и слабее их относительно. Обраща-

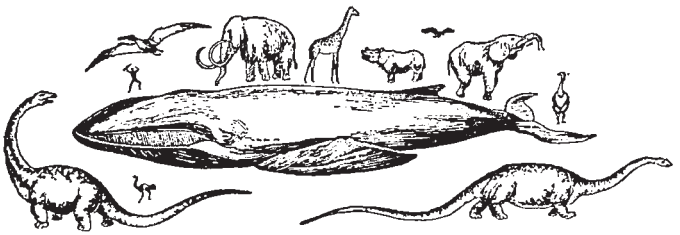


Рис. 88

ясь снова к образам из «Путешествия Гулливера», мы видим, что, хотя великану в 12 раз труднее поднять свою руку, чем Гулливеру, груз, поднимаемый исполином, в 1728 раз больше; уменьшив этот груз в 12 раз, т. е. сделав его посильным для мускулов великана, мы будем все же иметь груз в 144 раза больший, чем посильный Гулливеру. Теперь понятно, что в борьбе крупных животных форм с мелкими у первых имеется заметное преимущество. Но выгодный при схватках с врагами большой рост ставит животное в неблагоприятные условия в других отношениях (добывание пищи).

Кто лучше прыгает?

Многих изумляет высота прыжка блохи (до 40 см), более чем в сотню раз превосходящая ее рост; нередко высказывают мнение, что человек мог бы состязаться с блохой лишь в том случае, если бы способен был подпрыгивать на высоту 1,7 м × 100, т. е. на 170 м.

Механический расчет восстанавливает репутацию человека. Для простоты будем считать тело блохи геометрически подобным телу человека. Если блоха весит p кг и подпрыгивает на h м, то она совершает при каждом прыжке ph кгм работы. Человек же совершает при прыжке PH кгм, если P — вес его тела, а H — высота его прыжка (вернее — высота подъема его центра тяжести). Так как человек примерно раз в 300 выше блохи, то вес его тела можно принять равным 300^3p и, следовательно, работа прыжка человека равна 300^3pH. Это больше работы блохи в

$$300^3\frac{H}{h}\text{ раз.}$$

Способность производить работу мы должны считать у человека в 300^3 больше, чем у блохи (см. с. 611). Поэтому мы вправе требовать у него затраты энергии лишь в 300^3 большей. Но если

$$\frac{\text{работа человека}}{\text{работа блохи}} = 300^3,$$

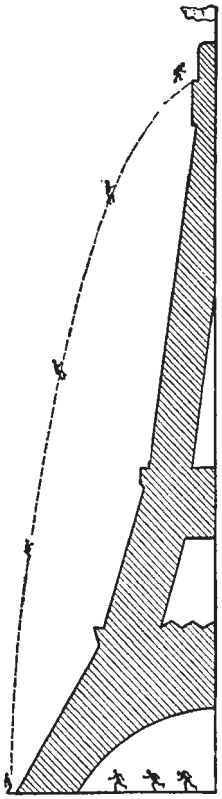


Рис. 89. Если бы человек прыгал, как блоха...

то должно существовать равенство

$$300^3 \times \frac{H}{h} = 300^3, \text{ откуда } H = h.$$

Следовательно, человек сравнится с блохой в искусстве прыгать даже в том случае, если поднимет центр тяжести своего тела на одинаковую с ней высоту, т. е. сантиметров на 40. Подобные прыжки мы делаем без напряжения и, следовательно, нисколько не уступаем блохе в искусстве прыгать.

Если этот расчет покажется вам недостаточно убедительным, вспомните, что, подпрыгивая на 40 см, блоха поднимает только свой ничтожный вес. Человек же поднимает груз в 300^3, т. е. в 27 000 000 раз больший. Двадцать семь миллионов блох, прыгающих одновременно, подняли бы совместно груз, равный весу человеческого тела. Только такой прыжок — армии из 27 000 000 блох — и надо сравнивать с прыжком одного человека. И тогда сравнение окажется несомненно в пользу человека, так как он может прыгнуть выше 40 см.

Становится понятным теперь, почему с уменьшением размеров животного растет относительная величина его прыжков. Если прыжки животных, одинаково приспособленных (по устройству задних конечностей) к прыганью, сопоставим с размерами их тела, то получим такие цифры:

Кузнечик	прыгает	на	30	} -кратную длину тела.
Тушканчик	»	»	15	
Кенгуру	»	»	5	

Кто лучше летает?

Если мы желаем правильно сравнивать способность различных животных к летанию, мы должны помнить, что действие удара крыла обусловлено сопротивлением воздуха; последнее же, при равных скоростях движения крыла, зависит от величины его поверхности. Эта поверхность при увеличении размера животного растет пропорционально *второй* степени линейного увеличения, поднимаемый же груз (вес тела) возрастает пропорционально *третьей* степени линейного увеличения. Нагрузка на 1 $см^2$ крыла поэтому повышается с увеличением размеров летуна. Орлы страны великанов (в «Путешествии Гулливера») должны были нести на 1 $см^2$ своих крыльев 12-кратный груз по сравнению с обыкновенными орлами и были,

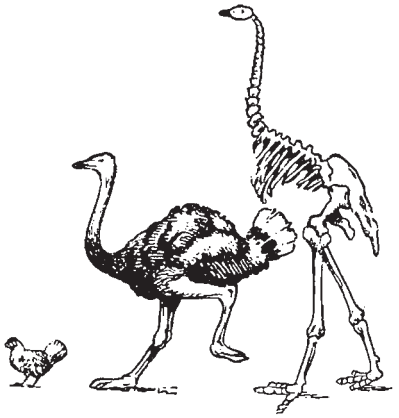


Рис. 90. Страус рядом со скелетом вымершей мадагаскарской птицы — эпиорниса. Слева для сравнения — курица

конечно, гораздо худшими летунами, нежели миниатюрные орлы страны лилипутов, несшие нагрузку в 12 раз меньше нормальной.

Переходя от воображаемых животных к реальным, приведем следующие числовые данные о нагрузке, приходящейся на 1 см^2 крыльев (в скобках — вес животного):

Насекомые

Стрекоза (0,9 г) . . . . . 0,04 г
Бабочка-шелкопряд (2 г) . . . . . 0,1 »

Птицы

Береговая ласточка (20 г) . . . . . 0,14 г
Сокол (260 г) . . . . . 0,38 »
Орел (5000 г) . . . . . 0,63 »

Мы видим, что чем крупнее летающее животное, тем бóльшая нагрузка приходится на 1 см^2 его крыльев. Ясно, что для увеличения тела птицы должен существовать предел, превзойдя который птица не может уже поддерживать себя крыльями в воздухе. И не случайность, что самые крупные птицы лишены способности летать. Такие исполины пернатого мира, как казуар, достигающий человеческого роста, страус (2,5 м) или еще более крупная вымершая мадагаскарская птица *эпиорнис** (5 м) не способны летать; летали лишь их

* По новейшим исследованиям этот вид еще жил на Земле в начале XVII века.

отдаленные, менее крупные предки, впоследствии из-за недостатка упражнения утратившие эту способность и вместе с тем получившие возможность увеличить свой рост.

Безвредное падение

Насекомые безнаказанно падают с такой высоты, с какой мы не решились бы спрыгнуть. Спасаясь от преследования, иные из этих животных сбрасывают себя с веток высокого дерева и падают на землю совершенно невредимо. Чем это объяснить?

Когда ударяется о препятствие тело небольшого объема, то прекращают свое движение почти сразу все его частицы; одни части тела поэтому при ударе не давят на другие. Другое дело — падение крупного тела: когда нижние его части прекращают при ударе свое движение, верхние еще продолжают двигаться и оказывают на нижние сильное давление. Это и есть то «сотрясение», которое гибельно для организма крупных животных. 1728 лилипутов, упав с дерева рассыпным дождем, пострадали бы мало; но если бы те же лилипуты упали плотным комом, то расположенные выше раздавили бы нижних. Человек нормального роста представляет собой словно ком из 1728 лилипутов. Вторая причина безвредности падения мелких существ кроется в большей гибкости их частей. Чем стержень или пластинка тоньше, тем больше сгибаются они под действием силы. Насекомые по линейным размерам в сотни раз меньше крупного млекопитающего: поэтому — как показывают формулы учения об упругости — части их тела во столько же раз больше сгибаются при ударе. А мы уже знаем, что если удар поглощается на пути в сотни раз более длинном, то и разрушительное его действие во столько же раз ослабляется.

Почему деревья не растут до неба

«Природа позаботилась о том, чтобы деревья не росли до неба», — говорит немецкая пословица. Рассмотрим, как осуществляется эта «забота».

Вообразим древесный ствол, прочно выдерживающий собственный вес, и пусть линейные его размеры увеличились в 100 раз. Объ-

ем, а следовательно, и вес ствола возрастут при этом в 100^3, т. е. в 1 000 000 раз. Сопротивление же ствола раздроблению, зависящее от площади его сечения, увеличится только в 100^2, т. е. в 10 000 раз. На каждый $см^2$ сечения ствола придется тогда 100-кратная нагрузка. Ясно, что при известном увеличении роста дерево — если только оно остается геометрически подобным самому себе — должно собственным весом раздробить свое основание*. Чтобы уцелеть, высокое дерево должно быть непропорционально толще низкого. Но увеличение толщины увеличивает, конечно, вес дерева, т. е., в свою очередь, увеличивает нагрузку на основание. Значит, должна существовать для дерева такая предельная высота, при которой дальнейшее увеличение ее становится невозможным — дерево ломается. Вот почему деревья «не растут до неба».

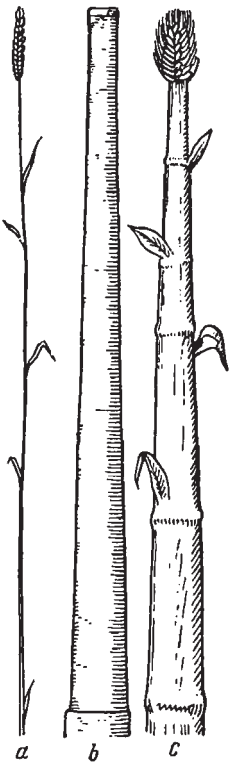


Рис. 91. Стебель ржи (*a*), заводская труба (*b*) и воображаемый стебель в 140 м высоты (*c*)

Нас поражает необыкновенная прочность соломины, достигающей, например, у ржи $1^1/_2$ м высоты при ничтожной толщине 3 мм. Самое стройное сооружение строительного искусства — труба, достигающая 140 м высоты при среднем поперечнике 5,5 м. Ее высота всего в 26 раз превышает толщину, между тем как для стебля ржи это отношение равно 500. Здесь нельзя, однако, видеть доказательство того, что произведения природы неизмеримо совершеннее произведений человеческого искусства. Расчет показывает (мы не приводим его здесь ввиду сложности), что если бы природе понадобилось создать ствол в 140 м высоты по типу ржаной соломины, то поперечник его должен был бы быть около 3 м: только тогда ствол обладал бы прочностью стебля ржи. Это мало отличается от того, что достигнуто человеческой техникой.

Непропорциональное утолщение растительных форм с увеличением их высоты легко проследить на ряде примеров. Если длина

* Кроме случая, когда ствол, утоньшаясь кверху, имеет форму так называемого бруса равного сопротивления.

стебля ржи ($1^1/_2$ м) превышает его толщину в 500 раз, то у бамбука (30 м) это отношение равно 130, у сосны (40 м) — 42, у эвкалипта (130 м) — 28.

Из книги Галилея

Закончим эту часть книги отрывком из сочинения основателя механики Галилея «Беседы о двух новых отраслях науки».

«*Сальвиати*. Мы ясно видим невозможность не только для искусства, но и для самой природы беспредельно увеличивать размеры своих творений. Так, невозможна постройка судов, дворцов и храмов огромнейшей величины, коих весла, мачты, балки, железные скрепы — словом, все части держались бы прочно. С другой стороны, и природа не может произвести деревьев несоразмерной величины, так как ветви их, отягченные собственным чрезвычайным весом, в конце концов сломались бы. Равным образом невозможно представить себе костяк человека, лошади или другого живого существа слишком большой величины, который держался бы и соответствовал своему назначению; достигнуть чрезвычайной величины животные могли бы только в том случае, если бы вещество их костей было значительно прочнее и крепче, нежели обычное, или же если бы кости их изменились, соразмерно увеличившись в толщину, отчего животные по строению и виду производили бы впечатление чрезвычайной толщины. Это уже было подмечено проницательным поэтом (Ариостом в „Неистовом Орланде“), который, описывая великана, говорит:

Огромный рост его так члены утолщает,
Что вид чудовища они ему дают.

В качестве примера только что сказанного я покажу вам сейчас рисунок кости, удлиненной только в три раза, но увеличенной в толщину в такой мере, чтобы она могла служить для большего животного с той же надежностью, как меньшая кость служит для животного малого размера. Вы видите, какой несообразно толстой выглядит такая увеличенная кость. Отсюда ясно, что тот, кто желал бы сохранить в огромном великане пропорцию членов обыкновенного человеческого тела, должен был бы найти для построения костей какое-либо иное, более удобное и прочное вещество, или же должен был бы примириться с тем, чтобы большое тело обладало крепостью сравнительно меньшей, чем тело человека обычной величины; увеличение размеров до чрезвычайной величины имело бы следствием то, что тело было бы раздавлено и сломано тяжестью своего собственного веса. Обратно мы видим, что, уменьшая размеры тел, мы не уменьшаем в той же пропорции их прочности; в телах меньших

замечается даже относительное увеличение ее; так, я думаю, что небольшая собака может нести на себе двух или даже трех таких же собак, в то время как лошадь едва ли может нести на спине одну только другую лошадь, равную ей по величине.

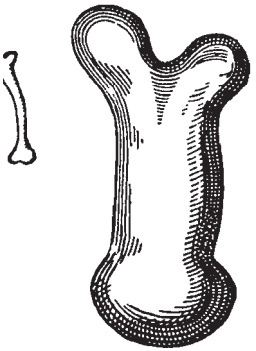


Рис. 92. Толстая кость могла бы с такой же надежностью служить большому животному, с какой тонкая кость служит животному в три раза меньшему

Симпличио. У меня есть достаточный повод сомневаться в справедливости сказанного вами, а именно огромная величина тела, встречаемая у рыб: так, например, кит* равен по величине, если я не ошибаюсь, десяти слонам, и, однако же, тело его все же держится.

Сальвиати. Ваше сомнение, синьор Симпличио, заставляет меня припомнить еще одно упущенное мной сначала из виду условие, при котором великаны и прочие огромные существа могут жить и двигаться не хуже малых животных. Вместо того чтобы увеличивать толщину и прочность костей и других частей, предназначенных для поддержания собственного веса и веса прилегающих частей тела, можно, оставив строение и пропорцию костей прежними, уменьшать в значительной мере вес материи как самих костей, так и частей тела, к ним прилегающих и ими поддерживаемых. По этому второму пути и пошла природа в творении рыб, сделав кости и части тела не только легкими, но и вовсе лишенными веса.

Симпличио. Хорошо вижу, к чему клонится ваша речь, синьор Сальвиати. Вы хотите сказать, что так как местопребыванием рыб является вода, которая в силу своей тяжести отнимает вес у погруженных в нее тел, то материя, из коей состоят рыбы, теряя в воде вес, может держаться, не обременяя костей. Однако этого для меня недостаточно, ибо хотя и можно предположить, что *кости рыб не отягощаются* телом, но материя этих костей, конечно, имеет вес. Кто же может утверждать, что ребро кита величиною с добрую балку не имеет достаточного веса и не пойдет ко дну в воде. По вашей теории те́ла такого большого размера, как у кита, не должно было бы существовать.

Сальвиати. Чтобы лучше возразить на ваши доводы, я сначала предложу вам вопрос: видели ли вы когда-нибудь рыб в спокойной и неподвижной воде не опускающимися ко дну, не поднимающимися на поверхность и не делающими никаких движений?

Симпличио. Это всем известное явление.

---

* В эпоху Галилея кита причисляли к рыбам. В действительности кит — млекопитающее, дышащее легкими; тем поучительнее тот факт, что кит — животное водное.

Сальвиати. Но если рыбы могут пребывать в воде без всякого движения, то это является неоспоримым доказательством того, что вся совокупность объема их тела равна по удельному весу воде; а так как в их теле существуют части более тяжелые, нежели вода, то необходимо прийти к заключению, что есть и другие части, которые легче воды и создают равновесие. Так как кости являются более тяжелыми, то мясо или другие какие-либо органы должны быть легче воды, и они-то своей легкостью отнимают вес у костей. Таким образом, в воде имеет место совершенно обратное тому, что мы видим у наземных животных: в то время как у последних кости должны нести свой вес и вес мяса, у водяных животных мясо поддерживает не только свой вес, но и вес костей. Таким образом, нет ничего чудесного в том, что огромнейшие животные могут существовать в воде, но не на земле, т. е. в воздухе.

Сагредо. Мне очень понравились рассуждения синьора Симпличио, вопрос, ими возбужденный, и разрешение последнего. Я заключаю из них, что если вытащить на берег одну из таких огромных рыб, то она не сможет долгое время держаться, так как связь между костями ее должна скоро порваться, и тело разрушится».



Занимательная астрономия

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА

Астрономия — счастливая наука: она, по выражению французского ученого Араго*, не нуждается в украшениях. Достижения ее настолько захватывающи, что не приходится прилагать особых забот для привлечения к ним внимания. Однако наука о небе состоит не только из удивительных откровений и смелых теорий. Ее основу составляют факты обыденные, повторяющиеся изо дня в день. Люди, не принадлежащие к числу любителей неба, в большинстве случаев довольно смутно знакомы с этой прозаической стороной астрономии и проявляют к ней мало интереса, так как трудно сосредоточить внимание на том, что всегда перед глазами.

Будничная часть науки о небе, ее первые, а не последние страницы и составляют главным образом (но не исключительно) содержание «Занимательной астрономии». Она стремится прежде всего помочь читателю в уяснении *основных* астрономических фактов. Это не значит, что книга представляет нечто вроде начального учебника. Способ обработки материала существенно отличает ее от учебной книги. Полузнакомые обыденные факты облечены здесь в необычную, нередко парадоксальную форму, показаны с новой, неожиданной стороны, чтобы обострить внимание к ним и освежить интерес. Изложение по возможности освобождено от специальных терминов и от того технического аппарата, который часто становится преградой между астрономической книгой и читателем.

Популярным книгам нередко делают упрек в том, что по ним ничему серьезно научиться нельзя. Упрек до известной степени справедлив и поддерживается (если иметь в виду сочинения в области точного естествознания) обычаем избегать в популярных книгах всяких числовых расчетов. Между тем читатель только тогда действи-

* Доминик Франсуа Жан Араго (1786–1853). — *Примеч. ред.*

тельно овладевает материалом книги, когда научается, хотя бы в элементарном объеме, оперировать с ним численно. Поэтому в «Занимательной астрономии», как и в других своих книгах той же серии, составитель не избегает простейших расчетов и заботится лишь о том, чтобы они предлагались в расчлененной форме и были вполне посильны для знакомых со школьной математикой. Подобные упражнения не только прочнее закрепляют усваиваемые сведения, но и подготовляют к чтению более серьезных сочинений.

В предлагаемый сборник вошли главы, относящиеся к Земле, Луне, планетам, звездам и тяготению, причем составитель избирал преимущественно такой материал, который обычно в популярных сочинениях не рассматривается. Темы, не представленные в этом сборнике, автор надеется обработать со временем во второй книге «Занимательной астрономии». Впрочем, сочинение подобного типа вовсе и не ставит себе задачей равномерно исчерпать все богатейшее содержание современной астрономии.

Я. Перельман
1938

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ЗЕМЛЯ, ЕЕ ФОРМА И ДВИЖЕНИЯ

Кратчайший путь на Земле и на карте

Наметив мелом две точки на классной доске, учительница предлагает юному школьнику задачу: начертить кратчайший путь между обеими точками.

Ученик, подумав, старательно выводит между ними извилистую линию.

— Вот так кратчайший путь! — удивляется учительница. — Кто тебя так научил?

— Мой папа. Он шофер такси.

Чертеж наивного школьника, конечно, анекдотичен, но разве не улыбнулись бы вы, если бы вам сказали, что пунктирная дуга на рис. 1 — самый короткий путь от мыса Доброй Надежды до южной оконечности Австралии!

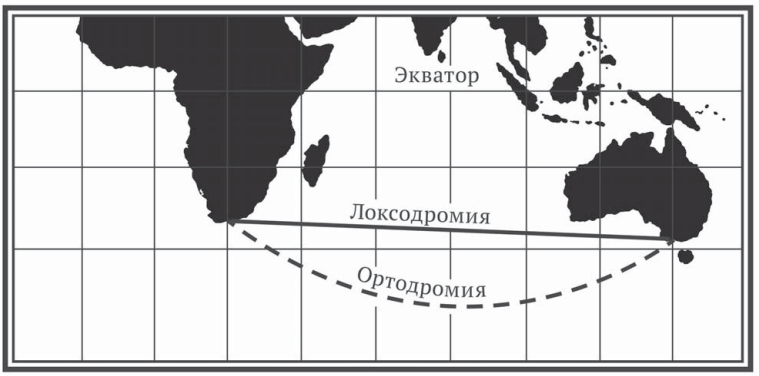


Рис. 1. На морской карте кратчайший путь от мыса Доброй Надежды до южной оконечности Австралии обозначается не прямой линией («локсодромией»), а кривой («ортодромией»)

Еще поразительнее следующее утверждение: изображенный на рис. 2 кружный путь из Японии к Панамскому каналу короче прямой линии, проведенной между ними на той же карте!

Все это похоже на шутку, а между тем перед вами — бесспорные истины, хорошо известные картографам.

Для разъяснения вопроса придется сказать несколько слов о картах вообще и о морских в частности. Изображение на бумаге частей земной поверхности — дело непростое даже в принципе, потому что Земля — шар, а известно, что никакую часть шаровой поверхности нельзя развернуть на плоскости без складок и разрывов. Поневоле приходится мириться с неизбежными искажениями на картах. Придумано много способов черчения карт, но все карты не свободны от недостатков: на одних имеются искажения одного рода, на других иного рода, но карт вовсе без искажений нет.

Моряки пользуются картами, начерченными по способу старинного голландского картографа и математика XVI в. Меркатора. Способ этот называется «меркаторской проекцией». Узнать морскую карту легко по ее прямоугольной сетке: меридианы изображены на ней в виде ряда параллельных прямых линий; круги широты — тоже прямыми линиями, перпендикулярными к первым (см. рис. 5).

Вообразите теперь, что требуется найти кратчайший путь от одного океанского порта до другого, лежащего на той же *параллели*. На океане все пути доступны, и осуществить там путешествие по крат-

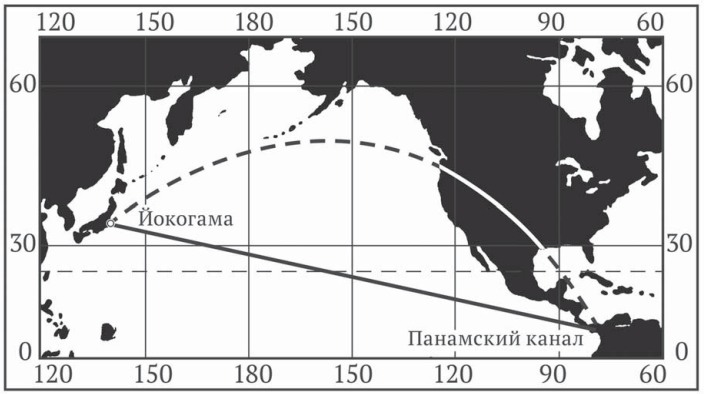


Рис. 2. Кажется невероятным, что криволинейный путь, соединяющий на морской карте Йокогаму с Панамским каналом, короче прямой линии, проведенной между теми же точками

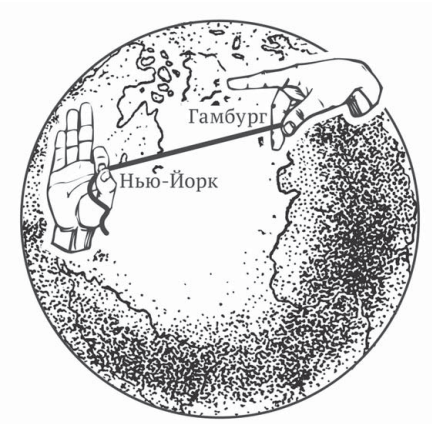


Рис. 3. Простой способ отыскания действительно кратчайшего пути между двумя пунктами: надо на глобусе натянуть нитку между этими пунктами

чайшему пути всегда возможно, если знать, как он пролегает. В нашем случае естественно думать, что кратчайший путь идет вдоль той параллели, на которой лежат оба порта: ведь на карте — это прямая линия, а что может быть короче прямого пути! Но мы ошибаемся: путь по параллели вовсе не кратчайший.

В самом деле: на поверхности шара кратчайшее расстояние между двумя точками есть соединяющая их дуга *большого* круга*. Но круг параллели — *малый* круг. Дуга большого круга менее искривлена, чем дуга любого малого круга, проведенного через те же две точки: большему радиусу отвечает меньшая кривизна. Натяните на глобусе нить между нашими двумя точками (ср. рис. 3); вы убедитесь, что она вовсе не ляжет вдоль параллели. Натянутая нить — бесспорный указатель кратчайшего пути, а если она на глобусе не совпадает с параллелью, то и на морской карте кратчайший путь не обозначается прямой линией: вспомним, что круги параллелей изображаются на такой карте прямыми линиями, всякая же линия, не совпадающая с прямой, есть *кривая*.

После сказанного становится понятным, почему кратчайший путь на морской карте изображается не прямой, а кривой линией.

Рассказывают, что при выборе направления для Николаевской (ныне Октябрьской) железной дороги велись нескончаемые споры

* *Большим кругом* на поверхности шара называется всякий круг, центр которого совпадает с центром этого шара. Все остальные круги на шаре называются *малыми*.

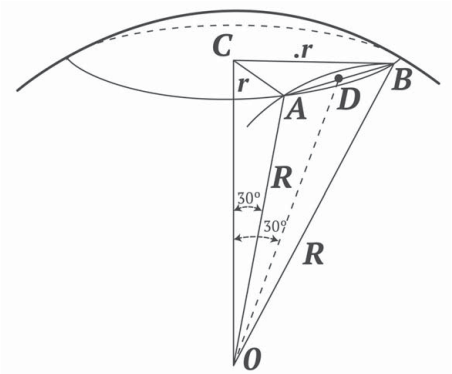


Рис. 4. К вычислению расстояний между точками *A* и *B* на шаре по дуге параллели и по дуге большого круга

о том, по какому пути ее проложить. Конец спорам положило вмешательство царя Николая I, который решил задачу буквально «прямолинейно»: соединил Петербург с Москвой по линейке. Если бы это было сделано на меркаторской карте, получилась бы конфузная неожиданность: вместо прямой дорога вышла бы кривой.

Кто не избегает расчетов, тот несложным вычислением может убедиться, что путь, кажущийся нам на карте кривым, в действительности короче того, который мы готовы считать прямым. Пусть обе наши гавани лежат на 60-й параллели и разделены расстоянием в 60°. (Существуют ли в действительности такие две гавани — для расчета, конечно, безразлично.)

На рис. 4 точка *O* — центр земного шара, *AB* — дуга круга широты, на котором лежат гавани *A* и *B*; в ней 60°. Центр круга широты — в точке *C*. Вообразим, что из центра *O* земного шара проведена через те же гавани дуга *большого* круга: ее радиус *OB* = *OA* = *R*; она пройдет близко к начерченной дуге *AB*, но не совпадет с нею.

Вычислим длину каждой дуги. Так как точки *A* и *B* лежат на широте 60°, то радиусы *OA* и *OB* составляют с *OC* (осью земного шара) угол в 30°. В прямоугольном треугольнике *ACO* катет *AC* (=*r*), лежащий против угла в 30°, равен половине гипотенузы *AO*; значит, $r = \frac{R}{2}$. Длина дуги *AB* составляет одну шестую длины круга широты, а так как круг этот имеет вдвое меньшую длину, чем большой круг (соответственно вдвое меньшему радиусу), то длина дуги малого круга $AB = \frac{1}{6} \times \frac{40\,000}{2} = 3333$ км.

Чтобы определить теперь длину дуги большого круга, проведенного между теми же точками (т. е. кратчайшего пути между ними), надо узнать величину угла AOB. Хорда AB, стягивающая дугу в 60° (малого круга), есть сторона правильного шестиугольника, вписанного в тот же малый круг; поэтому $AB = r = \frac{R}{2}$.

Проведя прямую OD, соединяющую центр O земного шара с серединой D хорды AB, получаем прямоугольный треугольник ODA, где угол D — прямой:

$$DA = \frac{1}{2} AB \quad \text{и} \quad OA = R.$$

Значит,

$$\sin AOD = AD : AO = \frac{R}{4} : R = 0{,}25.$$

Отсюда находим (по таблицам):

$$\angle AOD = 14^\circ 28',5$$

и, следовательно,

$$\angle AOB = 28^\circ 57'.$$

Теперь уже нетрудно найти искомую длину кратчайшего пути в километрах. Расчет можно упростить, если вспомнить, что длина минуты большого круга земного шара есть морская миля, т. е. около 1,85 км. Следовательно, $28^\circ 57' = 1737' \approx 3213$ км.

Мы узнаем, что путь по кругу широты, изображенный на морской карте прямой линией, составляет 3333 км, а путь по большому кругу — по кривой на карте — 3213 км, т. е. на 120 км короче.

Вооружившись ниткой и имея под руками глобус, вы легко можете проверить правильность наших чертежей и убедиться, что дуги больших кругов действительно пролегают так, как показано на чертежах. Изображенный на рис. 1 будто бы «прямой» морской путь из Африки в Австралию составляет 6020 миль, а «кривой» — 5450 миль, т. е. короче на 570 миль, или на 1050 км. «Прямой» на морской карте воздушный путь из Лондона в Шанхай перерезает Каспийское море, между тем как действительно кратчайший путь пролегает к северу от Петербурга. Понятно, какую роль играют эти вопросы в экономии времени и горючего.

Если в эпоху парусного судоходства не всегда дорожили временем — тогда «время» еще не считалось «деньгами», — то с появлением паровых судов приходится платить за каждую излишне израсходо-

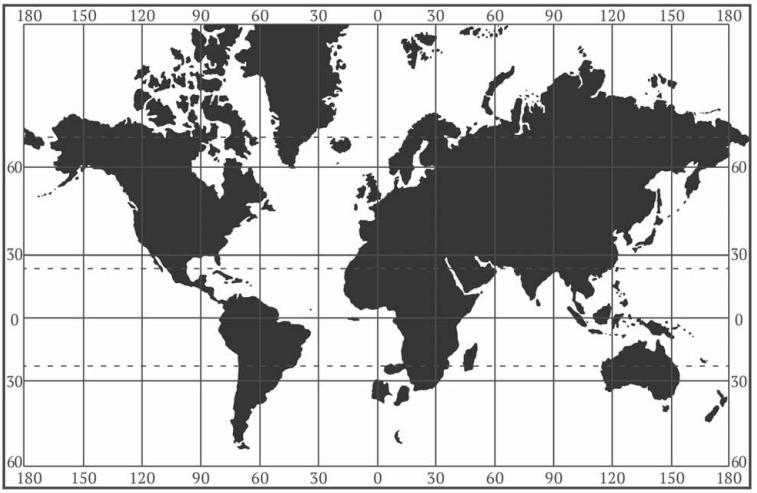


Рис. 5. Морская, или меркаторская, карта земного шара. На подобных картах сильно преувеличены размеры контуров, удаленных от экватора. Что, например, больше: Гренландия или Австралия? (Ответ в тексте)

ванную тонну угля. Вот почему в наши дни ведут суда по действительно кратчайшему пути, пользуясь нередко картами, выполненными не в меркаторской, а в так называемой «центральной» проекции: на этих картах дуги больших кругов изображаются прямыми линиями.

Почему же прежние мореплаватели пользовались столь обманчивыми картами и избирали невыгодные пути? Ошибочно думать, что в старину не знали о сейчас указанной особенности морских карт. Дело объясняется, конечно, не этим, а тем, что карты, начерченные по способу Меркатора, обладают наряду с неудобствами весьма ценными для моряков выгодами. Такая карта, во-первых, изображает отдельные небольшие части земной поверхности без искажения, сохраняя углы контура. Этому не противоречит то, что с удалением от экватора все контуры заметно растягиваются. В высоких широтах растяжение так значительно, что морская карта внушает человеку, незнакомому с ее особенностями, совершенно ложное представление об истинной величине материков: Гренландия кажется такой же величины, как Африка, Аляска больше Австралии, хотя Гренландия в 15 раз меньше Африки, а Аляска вместе с Гренландией вдвое меньше Австралии. Но моряка, хорошо знакомого с этими особенно-

стями карты, они не могут ввести в заблуждение. Он мирится с ними, тем более что в пределах небольших участков морская карта дает точное подобие натуры (рис. 5).

Зато морская карта весьма облегчает решение задач штурманской практики. Это — единственный род карт, на которых путь корабля, идущего постоянным курсом, изображается прямой линией. Идти «постоянным курсом» — значит держаться неизменно одного направления, одного определенного «румба», иначе говоря, идти так, чтобы пересекать все меридианы под равным углом. Но этот путь («локсодромия») может изобразиться прямой линией только на такой карте, на которой все меридианы — прямые линии, параллельные друг другу*. А так как на земном шаре круги широты пересекаются с меридианами под прямыми углами, то на такой карте и круги широты должны быть прямыми линиями, перпендикулярными к линиям меридианов. Короче говоря, мы приходим именно к той координатной сетке, которая составляет характерную особенность морской карты.

Пристрастие моряков к картам Меркатора теперь понятно. Желая определить курс, которого надо держаться, идя к назначенному порту, штурман прикладывает линейку к конечным точкам пути и измеряет угол, составляемый ею с меридианами. Держась в открытом море все время этого направления, штурман безошибочно доведет судно до цели. Вы видите, что «локсодромия» — хотя и не самый короткий и не самый экономный, но зато в известном отношении весьма удобный для моряка путь. Чтобы дойти, например, от мыса Доброй Надежды до южной оконечности Австралии (см. рис. 1), надо неизменно держаться одного курса S 87° 50′. Между тем, чтобы довести судно до того же конечного пункта кратчайшим путем (по «ортодромии»), приходится, как видно из рисунка, непрерывно менять курс судна: начать с курса S 42° 50′, а кончить курсом N 53° 50′ (в этом случае кратчайший путь даже и неосуществим — он упирается в ледяную стену Антарктики).

Оба пути — по «локсодромии» и по «ортодромии» — совпадают только тогда, когда путь по большому кругу изображается на морской карте прямой линией: при движении по экватору или по меридиану. Во всех прочих случаях пути эти различны.

* В действительности локсодромия есть спиралевидная линия, винтообразно наматывающаяся на земной шар.

Градус долготы и градус широты

ЗАДАЧА

Читатели, без сомнения, имеют достаточное представление о географических долготе и широте. Но я уверен, не все дадут правильный ответ на следующий вопрос:

Всегда ли градусы широты длиннее градусов долготы?

РЕШЕНИЕ

Большинство уверено, что каждый параллельный круг меньше круга меридиана. И так как градусы долготы отсчитываются по параллельным кругам, градусы же широты — по меридианам, то заключают, что первые нигде не могут превышать по длине вторых. При этом забывают, что Земля — не правильный шар, а эллипсоид, слегка раздутый на экваторе. На земном эллипсоиде не только экватор длиннее круга меридиана, но и ближайшие к экватору параллельные круги также длиннее кругов меридиана. Расчет показывает, что примерно до 5° широты градусы параллельных кругов (т. е. долготы) длиннее градусов меридиана (т. е. широты).

Куда полетел Амундсен?

ЗАДАЧА

В какую сторону горизонта направился Амундсен, возвращаясь с Северного полюса, и в какую — возвращаясь с Южного?

Дайте ответ, не заглядывая в дневники великого путешественника.

РЕШЕНИЕ

Северный полюс — самая северная точка земного шара.

Куда бы мы оттуда ни направлялись, — мы всегда отправились бы на юг.

Возвращаясь с Северного полюса, Амундсен мог направиться только на юг; иного направления оттуда не было. Вот выписка из дневника его полета к Северному полюсу на дирижабле «Норвегия»:

«„Норвегия“ описала круг около Северного полюса. Затем мы продолжали путь... Курс был взят на юг в первый раз с того времени,

как дирижабль оставил Рим». Точно так же с Южного полюса Амундсен мог идти только к *северу*.

У Козьмы Пруткова есть шуточный рассказ о турке, попавшем в «самую восточную» страну. «И впереди восток, и с боков восток. А запад? Вы думаете, может быть, что он все-таки виден, как точка какая-нибудь, едва движущаяся вдали?.. Неправда! И сзади восток. Короче: везде и всюду нескончаемый восток».

Такой страны, окруженной со всех сторон востоком, на земном шаре существовать не может. Но место, окруженное всюду югом, на Земле имеется, как и пункт, охваченный со всех сторон «нескончаемым» севером. На Северном полюсе можно было бы соорудить дом, все четыре стены которого обращены на юг. И это в самом деле могли бы сделать наши славные советские полярники, побывавшие на Северном полюсе.

Пять родов счета времени

Мы так привыкли пользоваться карманными и стенными часами, что не отдаем себе даже отчета в значении их показаний. Среди читателей — я убежден — лишь немногие смогут объяснить, что, собственно, хотят они сказать, когда говорят:

— Теперь семь часов вечера.

Неужели только то, что малая стрелка часов показывает цифру семь? Что же означает эта цифра? Она показывает, что после полудня протекло $\frac{7}{24}$ суток. Но после *какого* полудня и прежде всего $\frac{7}{24}$ *каких* суток? Что такое сутки? Те сутки, о которых говорит известная поговорка «день и ночь — сутки прочь», представляют собой промежуток времени, в течение которого земной шар успевает один раз обернуться вокруг своей оси по отношению к Солнцу. На практике его измеряют так: наблюдают два последовательных прохождения Солнца (вернее, его центра) через ту линию на небе, которая соединяет точку, находящуюся над головой наблюдателя («зенит»), с точкой юга на горизонте. Промежуток этот не всегда одинаков: Солнце приходит на указанную линию то немного раньше, то позже. Регулировать часы по этому «истинному полудню» невозможно, самый искусный мастер не в состоянии выверить часы так, чтобы они шли строго по Солнцу: для этого оно чересчур неаккуратно. «Солнце показывает время обманчиво», — писали парижские часовщики на своем гербе сто лет назад.

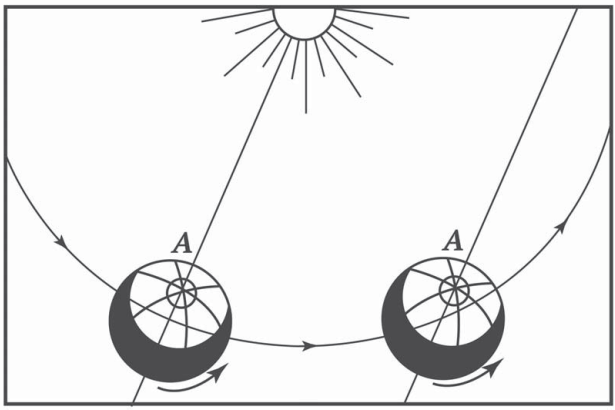


Рис. 6. Почему солнечные сутки длиннее звездных?

Часы наши регулируются не по реальному Солнцу, а по некоему воображаемому солнцу, которое не светит, не греет, а придумано только для правильного счета времени. Представьте себе, что в природе существует небесное светило, которое движется в течение всего года равномерно, обходя Землю ровно во столько же времени, во сколько обходит вокруг Земли — конечно, кажущимся образом — наше подлинно существующее Солнце. Это созданное воображением светило в астрономии именуется «средним солнцем». Момент прохождения его через линию зенит — юг называется «средним полуднем»; промежуток между двумя средними полуднями есть «средние солнечные сутки», а время, так исчисляемое, называется «средним солнечным временем». Карманные и стенные часы идут именно по этому среднему солнечному времени, между тем как солнечные часы, в которых стрелкой служит тень стерженька, показывают истинное солнечное время для данного места. У читателя после сказанного составилось, вероятно, такое представление, что неравенство истинных солнечных суток вызвано неравномерным вращением Земли вокруг своей оси. Земля действительно вращается неравномерно, но неравенство суток обусловлено неравномерностью другого движения Земли, а именно — ее движения по орбите вокруг Солнца. Мы сейчас поймем, как это может отразиться на длине суток. На рис. 6 вы видите два последовательных положения земного шара. Рассмотрим левое положение. Стрелки внизу показывают, в каком направлении Земля вращается вокруг оси: против часовой стрелки, если смотреть на Северный полюс. В точке *A* теперь полдень: эта

точка лежит как раз против Солнца. Представьте себе теперь, что Земля сделала один полный оборот вокруг оси; за это время она успела переместиться по орбите направо и заняла другое место. Радиус Земли, проведенный в точке *A*, имеет такое же направление, как и сутки назад, но точка *A* оказывается уже лежащей не прямо против Солнца. Для человека, стоящего в точке А, полдень еще не наступил: Солнце левее прочерченной линии. Земле надо вращаться еще несколько минут, чтобы в точке *A* наступил новый полдень.

Что же отсюда следует? То, что промежуток между двумя истинными солнечными полуднями *длиннее* времени полного оборота Земли вокруг оси. Если бы Земля равномерно двигалась вокруг Солнца по *кругу*, в центре которого находилось бы Солнце, то разница между действительной продолжительностью оборота вокруг оси и той кажущейся, которую мы устанавливаем по Солнцу, была бы изо дня в день одна и та же. Ее легко определить, если принять во внимание, что из этих небольших добавок должны в течение года составиться целые сутки (Земля, двигаясь по орбите, делает в год один лишний оборот вокруг оси); значит, действительная продолжительность каждого оборота равняется

$$365\,\frac{1}{4}\text{ суток} : 366\,\frac{1}{4} = 23\text{ ч. }56\text{ м. }4\text{ с.}$$

Заметим, кстати, что «действительная» продолжительность суток есть не что иное, как период вращения Земли по отношению к любой звезде; оттого такие сутки и называют «звездными».

Итак, звездные сутки в *среднем* короче солнечных на 3 м. 56 с., круглым счетом — на 4 м. Разница не остается постоянной, потому что: 1) Земля обходит около Солнца не равномерным движением по круговой орбите, а по эллипсу, в одних частях которого (более близких к Солнцу) она движется быстрее, в других (более отдаленных) — медленнее, и 2) ось вращения Земли наклонена к плоскости ее орбиты. Обе эти причины обусловливают то, что истинное и среднее солнечное время в разные дни расходятся между собой на различное число минут, достигающее в некоторые дни до 16. Только четыре раза в год оба времени совпадают:

15 апреля, 1 сентября,
14 июня, 24 декабря.

Напротив, в дни

12 февраля,
3 ноября

разница между истинным и средним временем достигает наибольшей величины — около четверти часа. Кривая на рис. 7 показывает, как велико это расхождение в разные дни года.

До 1919 г. граждане СССР жили по местному солнечному времени. Для каждого меридиана земного шара средний полдень наступает в различное время («местный» полдень), поэтому каждый город жил по *своему* местному времени; только прибытие и отход поездов назначались по общему для всей страны времени: по петроградскому. Граждане различали «городское» и «вокзальное» время; первое — местное среднее солнечное время — показывали городские часы, а второе — петроградское среднее солнечное время — показывали часы железнодорожного вокзала. В настоящее время в России все железнодорожное движение ведется по московскому времени.

С 1919 г. у нас в основу счета времени дня положено не местное, а так называемое «поясное» время. Земной шар разделен меридианами на 24 одинаковых «пояса», и все пункты одного пояса исчисляют одинаковое время, именно то среднее солнечное время, которое отвечает времени среднего меридиана данного пояса. На всем земном шаре в каждый момент «существует» поэтому только 24 различных времени, а не множество времен, как было до введения поясного счета времени.

К этим трем родам счета времени — 1) истинному солнечному, 2) среднему местному солнечному и 3) поясному — надо прибавить четвертый, употребляемый только астрономами. Это — 4) «звездное» время, исчисляемое по упомянутым ранее звездным суткам,

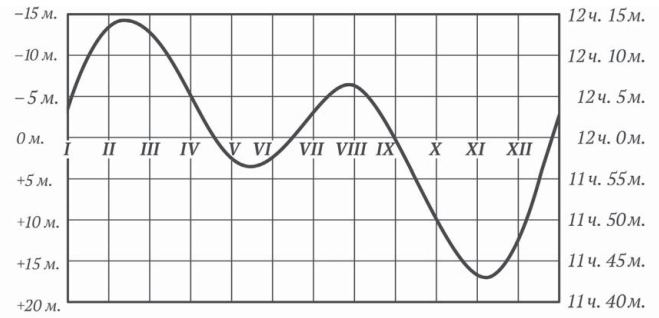


Рис. 7. Этот график, именуемый «графиком уравнения времени», показывает, как велико в тот или иной день расхождение между истинным и средним полуднем (левая шкала). Например, 1 апреля в истинный полдень верные механические часы должны показать 12 ч. 5 м.; иными словами, кривая дает среднее время в истинный полдень (правая шкала)

которые, как мы уже знаем, короче средних солнечных примерно на 4 минуты. 22 сентября оба счета времени совпадают, но с каждым следующим днем звездное время опережает среднее солнечное на 4 минуты.

Наконец, существует еще и пятый вид времени — 5) так называемое *декретное* время, — то, по которому в течение летнего сезона живет все население России и большинство западных стран.

Декретное время идет ровно на один час впереди поясного. Цель этого мероприятия состоит в следующем: в светлое время года — с весны до осени — важно начинать и кончать трудовой день пораньше, чтобы снизить расход электроэнергии на искусственное освещение. Это достигается официальным переводом часовой стрелки вперед. Такой перевод в западных государствах делается каждую весну (в час ночи стрелка переставляется к цифре 2), а каждую осень часы вновь переводятся назад.

Декретное время впервые было введено у нас в 1917 г.*; в течение некоторого периода стрелка часов была переведена на два и даже на три часа вперед; после нескольких лет перерыва оно вновь введено в СССР с весны 1930 г. и отличается от поясного на один час.

Продолжительность дня

Точная продолжительность дня для каждого места и любой даты года может быть вычислена по таблицам астрономического ежегодника. Нашему читателю едва ли, однако, понадобится для обиходных целей подобная точность; если он готов удовольствоваться сравнительно грубым приближением, то хорошую службу сослужит ему прилагаемый чертеж (рис. 8). Вдоль левого его края показана в часах *продолжительность дня*. Вдоль нижнего края нанесено угловое расстояние Солнца от небесного экватора. Это расстояние, измеряемое в градусах, называется «склонением» Солнца. Наконец, косые линии отвечают различным широтам мест наблюдения.

Чтобы пользоваться чертежом, надо знать, как велико угловое расстояние («склонение») Солнца от экватора в ту или иную сторону для различных дней года. Соответствующие данные указаны в табличке ниже.

* Этот законопроект был предложен Я. И. Перельманом. — *Примеч. ред.*

Дни года	Склонение Солнца	Дни года	Склонение Солнца
21 января	–20°	24 июля	+20°
8 февраля	–15	12 августа	+15
23 февраля	–10	28 августа	+10
8 марта	–5	10 сентября	+5
21 марта	0	23 сентября	0
4 апреля	+5	6 октября	–5
16 апреля	+10	20 октября	–10
1 мая	+15	3 ноября	–15
21 мая	+20	22 ноября	–20
22 июня	$+23^1/_2$	22 декабря	$-23^1/_2$

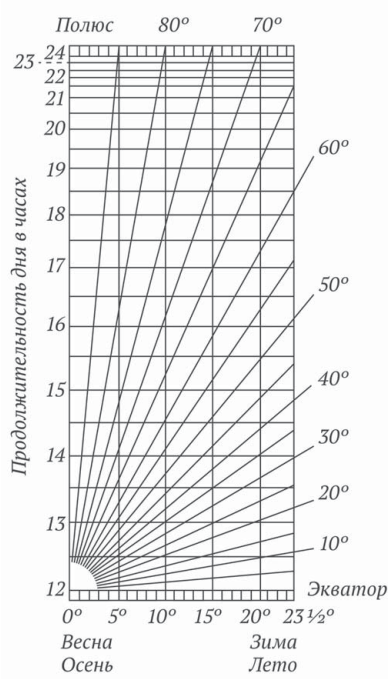


Рис. 8. Чертеж для графического определения продолжительности дня (подробности в тексте)

Покажем на примерах, как пользоваться чертежом.

1. Найти продолжительность дня в середине апреля на широте 60°.

Находим в табличке склонение Солнца в середине апреля, т. е. угловое расстояние его в эти дни от небесного экватора: +10°. На нижнем краю чертежа отыскиваем число 10° и ведем от него прямую линию под прямым углом к нижнему краю до пересечения с косой линией, отвечающей 60-й параллели. На *левом* краю точка пересечения отвечает числу $14^1/_2$, т. е. искомая продолжительность дня равна *примерно* 14 ч. 30 м.

При составлении этого чертежа учтено влияние так называемой «атмосферной рефракции» (см. с. 655, рис. 15).

2. Найти продолжительность дня 10 ноября на широте 46° северной широты.

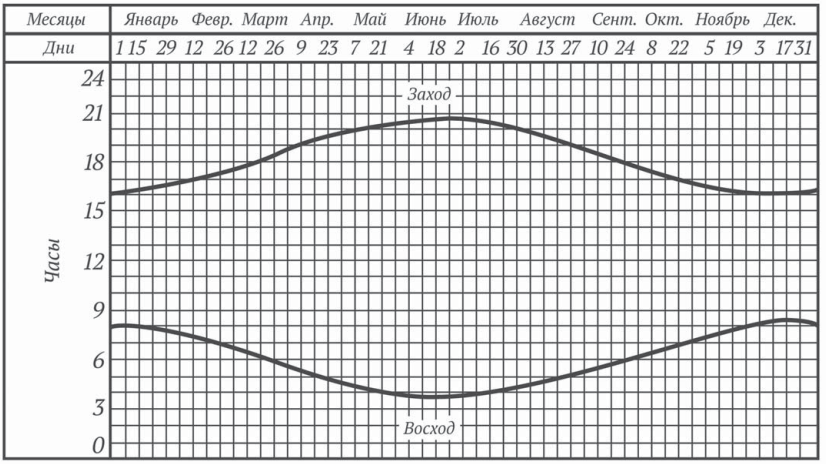


Рис. 9. График восхода и захода Солнца в течение года для 50-й параллели

Склонение Солнца 10 ноября равно −17°. (Солнце в *южном* полушарии неба.) Поступая по-прежнему, находим $14^1/_2$ часа. Но так как на этот раз склонение отрицательно, то полученное число означает продолжительность не дня, а ночи. Искомая же продолжительность дня равна $24 - 14^1/_2 = 9^1/_2$ часа.

Мы можем вычислить также и момент восхода Солнца. Разделив $9^1/_2$ пополам, получим 4 ч. 45 м. Зная из рис. 7, что 10 ноября часы в истинный полдень показывают 11 ч. 43 м., узнаем момент восхода Солнца. 11 ч. 43 м. − 4 ч. 45 м. = 6 ч. 58 м. Заход Солнца в этот день произойдет в 11 ч. 43 м. + 4 ч. 45 м. = 16 ч. 28 м., т. е. в 4 ч. 28 м. вечера. Таким образом, оба чертежа (рис. 7 и 8) при надлежащем использовании могут заменить соответствующие таблицы астрономического ежегодника.

Вы можете, пользуясь изложенным сейчас приемом, составить для широты места вашего постоянного жительства на весь год график восхода и захода Солнца, а также продолжительности дня. Образчик такого графика для 50-й параллели вы видите на рис. 9 (он составлен по местному, а не по декретному времени). Рассмотрев его внимательно, вы поймете, как надо чертить подобные графики. А начертив его один раз для той широты, где вы живете, вы сможете, бросив взгляд на свой чертеж, сразу сказать, в котором примерно часу взойдет или зайдет Солнце в тот или иной день года.

Необычайные тени

Воспроизведенный здесь рис. 10 может показаться загадочным: человек при полном свете Солнца почти не отбрасывает тени. Однако этот рисунок сделан с натуры, но не в наших широтах, а близ экватора, в тот момент, когда Солнце стояло почти отвесно над головой наблюдателя (как говорят, в «зените»),

В наших широтах Солнце никогда не бывает в зените; видеть такую картину у нас невозможно. Когда полуденное Солнце достигает у нас наибольшей высоты (22 июня), то оно проходит через зенит всех мест, расположенных на северной границе жаркого пояса (на тропике Рака — на параллели $23^1/_2^\circ$ северной широты). Спустя полгода, 22 декабря, Солнце проходит через зенит всех мест, расположенных на $23^1/_2^\circ$ южной широты (на тропике Козерога). Между этими границами, т. е. в жарком поясе, расположены места, где полуденное Солнце дважды в год оказывается в зените и освещает местность сверху так, что все предметы лишены теней, лучше сказать — их тени располагаются как раз под ними.

Рис. 11, относящийся к полюсу, напротив, фантастический, но все же поучительный.

Человек не может отбрасывать сразу шесть теней; этим приемом художник хотел наглядно показать своеобразную особенность по-



Рис. 10. Человек почти без тени. Рисунок воспроизводит фотографию, снятую вблизи экватора

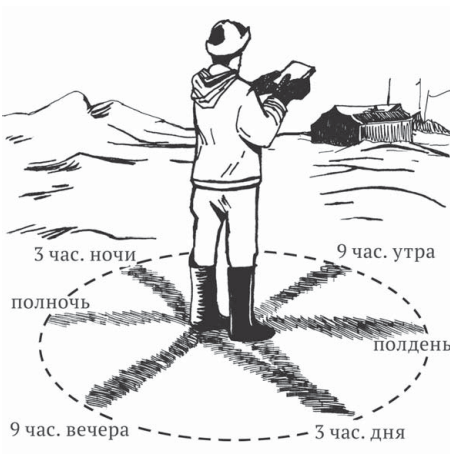


Рис. 11. Тени на полюсе не изменяют своей длины в течение суток

лярного Солнца: тени от него в течение целых суток получаются *одинаковой длины*. Причина та, что Солнце на полюсе в течение суток движется не под углом к горизонту, как у нас, а почти параллельно ему. Ошибка художника, однако, в том, что он изобразил тени чересчур короткими по сравнению с ростом человека. Если бы тени были такой длины, это указывало бы на высоту Солнца около 40°, невозможную на полюсе: Солнце никогда не поднимается там выше $23^1/_2°$. Легко вычислить — читатель, знакомый с тригонометрией, может меня проверить, — что самая короткая тень на полюсе должна быть не меньше 2,3 высоты отбрасывающего ее предмета.

Задача о двух поездах

Два совершенно одинаковых поезда идут с одинаковой скоростью в противоположные стороны (рис. 12): один с востока на запад, другой — с запада на восток. Какой из них тяжелее?

РЕШЕНИЕ

Тяжелее (т. е. сильнее давит на рельсы) тот, который движется *против* вращения Земли, с востока на запад. Этот поезд медленнее движется вокруг оси земного шара; поэтому вследствие центробежного эффекта он теряет из своего веса меньше, чем поезд, идущий на восток.

Как велика разница? Сделаем расчет для поездов, идущих вдоль 60-й параллели со скоростью 72 км/ч, или 20 м/с. Точки земной поверхности на указанной параллели движутся вокруг оси со скоростью 230 м/с. Значит, поезд, идущий на восток, в направлении вращения Земли, обладает круговой скоростью в 230 + 20, т. е. 250 м/с, а идущий на запад, против движения Земли, — скоростью в 210 м/с. Центростремительное ускорение для первого составляет

$$\frac{V_1^2}{R} = \frac{25\,000^2}{320\,000\,000}\ \text{см/с}^2,$$

так как радиус кругового пути на 60-й параллели равен 3200 км.

Для второго поезда оно составляет

$$\frac{V_2^2}{R} = \frac{21\,000^2}{320\,000\,000}\ \text{см/с}^2.$$

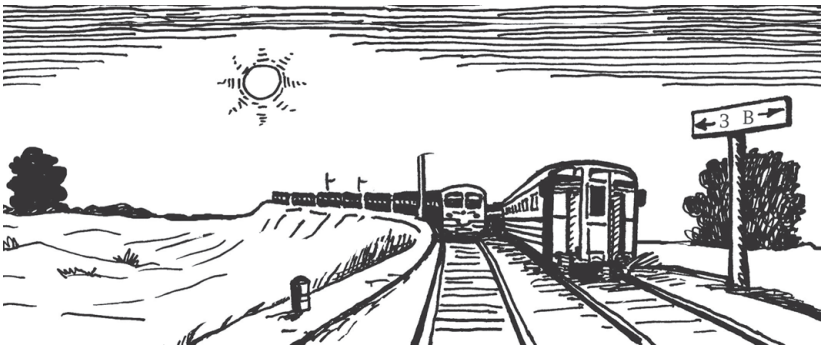


Рис. 12. Задача о двух поездах

Разница в величине центростремительного ускорения обоих поездов равна

$$\frac{V_1^2 - V_2^2}{R} = \frac{25\,000^2 - 21\,000^2}{320\,000\,000} \approx 0{,}6 \text{ см/с}^2.$$

Так как направление центростремительного ускорения составляет с направлением тяжести угол в 60°, то принимаем во внимание только соответствующую часть центростремительного ускорения, именно 0,6 см/с² × cos 60° = 0,3 см/с².

Это составляет от ускорения тяжести $\frac{0{,}3}{980}$, или около 0,0003.

Значит, поезд, идущий на восток, легче идущего в западном направлении на 0,0003 своего веса. Если поезд состоит, например, из паровоза и 45 груженых товарных вагонов, т. е. весит 3500 т, то разница в весе будет равняться

$$3500 \times 0{,}0003 = 1{,}05 \text{ т} = 1050 \text{ кг}$$

Для крупного парохода водоизмещением в 20 000 т, движущегося со скоростью 35 км/ч (20 узлов), разница составляла бы 3 т. Уменьшение веса при движении судна на восток должно отразиться, между прочим, на показаниях ртутного барометра; при отмеченной скорости высота барометра должна быть на 0,00015 × 760, т. е. на 0,1 мм меньше на пароходе, идущем в восточном направлении, нежели на идущем к западу. Даже пешеход, шагающий по улице Петербурга с запада на восток, при скорости ходьбы 5 км/ч становится примерно на 1,5 г легче, чем идя с востока на запад.

Стороны горизонта по карманным часам

Способ находить в солнечный день стороны горизонта по карманным часам общеизвестен. Циферблат располагают так, чтобы часовая стрелка была направлена на Солнце. Угол между этой стрелкой и линией 6–12 делят пополам: равноделящая укажет тогда направление на юг. Нетрудно понять основание этого способа. Солнце в суточном движении обходит небо в 24 часа, часовая же стрелка обходит циферблат в 12 часов, т. е. описывает в одинаковое время вдвое бóльшую дугу. Значит, если в полдень часовая стрелка указывала на Солнце, то спустя некоторое время она опередит его, описав своим концом вдвое бóльшую дугу. Вот почему, разделив при указанном раньше положении циферблата пополам дугу, описанную стрелкой, мы должны найти то место неба, где находилось Солнце в полдень, т. е. направление на юг (рис. 13).

Испытание показывает, однако, что прием этот крайне неточен, греша на десятки градусов. Чтобы понять, почему так происходит, надо разобраться в рекомендуемом способе. Основная причина неточности та, что циферблат располагается параллельно плоскости горизонта, суточный же путь Солнца лежит в горизонтальной плоскости только на полюсе, на всех же других широтах он составляет с горизонтом разные углы — вплоть до прямого (на экваторе). Поэтому при ориентировании по карманным часам неизбежна бóльшая или меньшая погрешность.

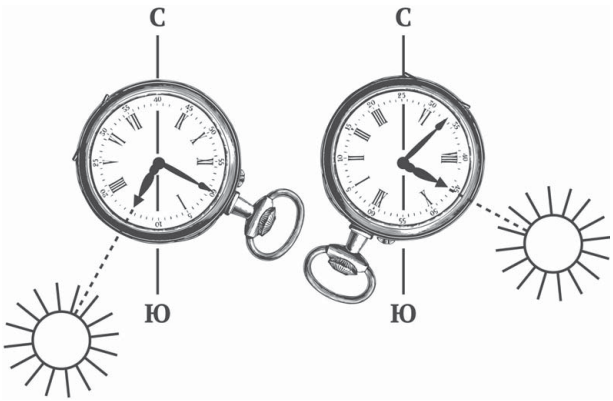


Рис. 13. Простой, но неточный прием определения сторон света с помощью наручных или карманных часов

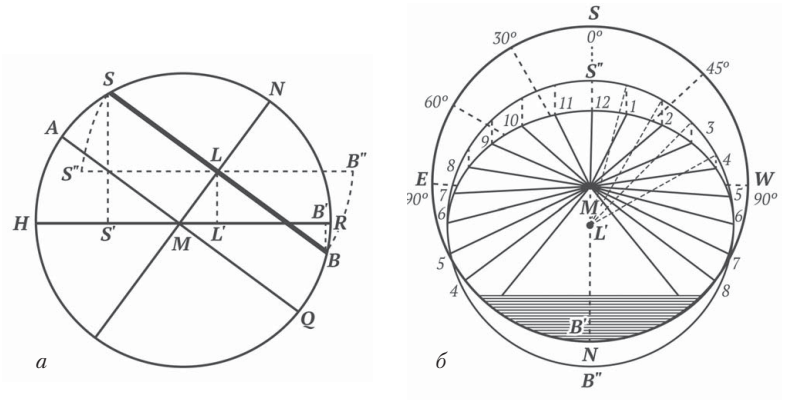


Рис. 14. Почему карманные часы в роли компаса дают неверные показания

Обратимся к чертежу (рис. 14, *а*). Пусть наблюдатель расположен в точке *M*; точка *N* — полюс мира; круг *HASNRBQ* — небесный меридиан — проходит через зенит наблюдателя и через полюс. На какой широте находится наблюдатель, легко определить; для этого достаточно измерить транспортиром высоту полюса над горизонтом *NR*; она равна широте места*. Глядя из *M* в направлении *H*, наблюдатель имеет перед собою точку юга. Суточный путь Солнца на этом чертеже изобразится прямой линией, которая частью лежит над линией горизонта (дневной путь), частью же под нею (ночной путь). Прямая *AQ* изображает путь Солнца в дни равноденствий; как видим, дневной путь равен тогда ночному. *SB* — путь Солнца летом; он параллелен *AQ*, но бóльшая часть его лежит выше горизонта, и только незначительная часть (вспомним короткие летние ночи) находится под горизонтом. По этим кругам Солнце ежечасно проходит 24-ю долю их полной длины, т. е. $\frac{360^\circ}{24} = 15^\circ$. И все же через три часа после полудня Солнце не оказывается в юго-западной точке горизонта, как можно ожидать ($15^\circ \times 3 = 45^\circ$); причина расхождения та, что проекции равных дуг солнечного пути на плоскость горизонта не равны между собой.

Это станет нагляднее, если мы разберемся в рис. 14, *б*. На нем *SWNE* изображает круг горизонта, видимый с зенита; прямая *SN* — небесный меридиан. Наблюдатель помещается в точке *M*; центр

* Почему это так, объяснено в моей книге «Занимательная геометрия», в главе «Геометрия Робинзонов».

круга, описываемого на небе Солнцем за сутки, проектируется на плоскость горизонта в точке L' (см. рис. 14, *а*); сам круг солнечного пути проектируется на плоскость горизонта эллипсом $S'B'$.

Построим теперь проекции точек деления круга солнечного пути SB на плоскости горизонта. Для этого повернем круг SB параллельно плоскости горизонта (положение $S''B''$, рис. 14, *а*), разделим его на 24 равные части и спроектируем на плоскость горизонта. Для построения точек деления эллипса $S'B'$ — проекции круга солнечного пути на плоскость горизонта — из точек деления круга $S''B''$ проведем отрезки, параллельные SN. Ясно, что мы получим при этом неравные дуги; они будут казаться наблюдателю еще более неравными, потому что он рассматривает их не из центра L' эллипса, а из точки M в стороне от него.

Проследим теперь, как велика может быть погрешность определения по циферблату стран горизонта в летний день для взятой нами широты (53°). Солнце восходит тогда между 3 и 4 часами утра (граница заштрихованного сегмента, означающего ночь). В точку E востока (90°) Солнце приходит не в 6 ч., как должно быть по циферблату, а в половине 8-го. В 60° от точки юга оно будет не в 8 ч. утра, а в $9^1/_2$ ч.; в 30° от точки юга — не в 10 ч., а в 11 ч. В точку юго-запада (45° по другую сторону от S) Солнце является не в 3 ч. дня, а в 1 ч. 40 м.; на западе оно бывает не в 6 ч. вечера, а в $4^1/_2$ ч. дня.

Если прибавить ко всему этому то, что декретное время, которое показывают карманные часы, не совпадает с местным истинным солнечным временем, то неточность в определении стран горизонта должна еще возрасти.

Итак, карманные часы хотя и могут служить компасом, но очень ненадежным. Меньше всего грешит такой компас около эпохи равноденствия (отпадает эксцентрическое положение наблюдателя) и в зимнее время.

Белые ночи и черные дни

С середины апреля Петербург вступает в период белых ночей — того «прозрачного сумрака» и «блеска безлунного», в фантастическом свете которого родилось столько поэтических замыслов. Литературные традиции так тесно связали белые ночи именно с Петербургом, что многие готовы считать их достопримечательностью исключительно нашей бывшей столицы. В действительности белые

ночи, как явление астрономическое, характерны для всех мест, лежащих выше определенной широты.

Если отвлечься от поэзии и обратиться к астрономической прозе этого явления, то белая ночь — не что иное, как слияние вечерних и утренних сумерек. Александр Сергеевич Пушкин правильно определил сущность этого феномена как смыкание двух зорь — вечерней и утренней: «И, не пуская тьму ночную на золотые небеса, одна заря сменить другую спешит...» В тех широтах, где Солнце в своем суточном движении по небесному своду опускается ниже горизонта не глубже $17^1/_2^\circ$, — там вечерняя заря не успевает еще померкнуть, как уже загораются лучи утренней, не давая ночи и получаса.

Разумеется, ни Питер, ни какой-либо другой пункт не имеют привилегии быть единственным местом, где наблюдается это явление. Граница зоны белых ночей вычисляется астрономически. И оказывается, что слияние зорь наблюдается гораздо южнее широты Петербурга.

Москвичи тоже могут любоваться белыми ночами приблизительно со средних чисел мая по конец июля. Здесь они не так светлы, как в Петербурге в те же дни, но петербургские *майские* белые ночи могут быть наблюдаемы в Москве в течение всего *июня* и начала июля.

Южная граница зоны белых ночей проходит на широте 49° ($66^1/_2$–$17^1/_2^\circ$). Здесь бывает одна белая ночь в году — именно 22 июня. К северу, начиная с этой широты, белые ночи становятся все светлее, а период их — длиннее. Есть белые ночи и в Самаре, и в Казани, и в Пскове, и в Кирове, и в Енисейске, но так как пункты эти южнее Петербурга, то белые ночи охватывают там меньший период (по обе стороны от 22 июня) и не достигают такой яркости. Зато в Пудоже они еще светлее, чем в Питере, а особенно светлы в Архангельске, расположенном уже недалеко от зоны незаходящего Солнца. Белые ночи Стокгольма ничем не отличаются от петербургских.

Когда нижняя часть суточного пути Солнца совсем не погружается под горизонт, а лишь слегка скользит по нему, мы имеем не только слияние двух зорь, но и непрерывный день. Это впервые можно наблюдать на 65°42′ широты: здесь начинается царство полуночного Солнца. Еще севернее — с 67°24′ — можно наблюдать также и непрерывную ночь, слияние утренней зари с вечерней *через полдень*, а не через полночь. Это «черный день», противоположность белой ночи, хотя степень их освещения одинакова. Страна черных дней — та же страна полуночного Солнца, только в другое время го-

да. Где можно видеть незаходящее Солнце в июне*, там в декабре господствует многосуточный мрак, обусловленный невосходящим Солнцем.

Смена света и тьмы

Белые ночи — наглядное доказательство того, что усвоенное нами с детства представление о правильной смене дня и ночи на земном шаре слишком упрощенно охватывает картину этого чередования. На самом деле периодическая смена света и темноты на нашей планете гораздо разнообразнее и не укладывается в привычную схему дня и ночи. В этом отношении обитаемый нами шар можно разделить на пять поясов, каждый из которых имеет свой порядок чередования света и тьмы.

Первый пояс — если идти от экватора к обоим полюсам — простирается до 49° параллели: здесь и только здесь *каждые сутки бывают полный день и полная ночь*.

Второй пояс — между 49 и $65\frac{1}{2}^\circ$, включающий все места севернее параллели 49°, — имеет около времени летнего солнцестояния период непрерывных сумерек; это — *пояс белых ночей*.

В третьем узком поясе между $65\frac{1}{2}^\circ$ и $67\frac{1}{2}^\circ$ Солнце около 22 июня в течение ряда суток вовсе не заходит: это — *пояс полуночного Солнца*.

Для четвертого пояса, между $67\frac{1}{2}^\circ$ и $83\frac{1}{2}^\circ$, характерна, кроме непрерывного дня в июне, еще многосуточная ночь в декабре: Солнце в течение ряда суток вовсе не восходит, утренние и вечерние сумерки поглощают день. Это — *пояс черных дней*.

Самый сложный случай чередования света и темноты мы имеем в пятом поясе, севернее $83\frac{1}{2}^\circ$. Та брешь, которую пробивают в однообразной смене дней и ночей петербургские белые ночи, достигает здесь полного разрыва с привычным порядком. Все полугодие от летнего до зимнего солнцестояния, т. е. от 22 июня до 22 декабря, разделяется на пять периодов, на пять времен года, если хотите. В течение первого периода стоит непрерывный день; в течение второго — дни чередуются с сумерками около полуночи, но полных ночей не бывает (слабым подобием их и являются летние петербургские ночи); в течение третьего периода стоят непрерывные сумерки —

* В бухте Амбарчик Солнце не погружается под горизонт с 19 мая по 26 июля, а близ бухты Тикси — с 12 мая по 1 августа.

полных дней и ночей вовсе не бывает; в течение четвертого периода эти сплошные сумерки сгущаются около полуночи в полную ночь; наконец, в пятый период царит сплошная ночь. В следующем полугодии — с декабря по июнь — те же явления повторяются в обратном порядке.

По другую сторону экватора, в Южном полушарии, на соответствующих географических широтах наблюдаются, конечно, такие же явления.

Правда, параллель, отвечающая в Южном полушарии широте Санкт-Петербурга, не пересекает ни одного клочка твердой земли, — вся лежит в океане; любоваться «белыми ночами юга» могут только южнополярные мореплаватели. В последние годы в Антарктиде появилось много исследовательских станций. Обитатели этих станций и участники экспедиций вглубь материка могут наблюдать явления, характерные для четвертого и пятого поясов.

Загадка полярного Солнца

ЗАДАЧА

Полярные путешественники отмечают любопытную особенность лучей летнего Солнца в высоких широтах. Лучи его слабо греют там землю, зато оказывают неожиданно сильное действие на все предметы, возвышающиеся отвесно.

Заметно нагреваются крутые склоны скал и стены домов, быстро тают ледяные горы, растопляется смола в бортах деревянных судов, обжигается кожа лица и т. п.

Чем же объяснить подобное действие лучей полярного Солнца на вертикально стоящие предметы?

РЕШЕНИЕ

Мы имеем здесь неожиданное следствие физического закона, который гласит, что действие лучей тем значительнее, чем отвеснее падают они на поверхность тела. Солнце в полярных странах даже летом стоит невысоко: его высота за полярным кругом не может превышать половины прямого угла, а в высоких широтах значительно меньше половины прямого угла.

Легко сообразить, что если солнечные лучи составляют с горизонтальной поверхностью угол меньше половины прямого, то с от-

весной линией они должны составлять угол больше половины прямого, иначе говоря, встречать вертикальные поверхности довольно круто.

Теперь понятно, что по той же причине, по какой лучи полярного Солнца слабо греют землю, они должны сильно нагревать все отвесно возвышающиеся предметы.

Когда начинаются времена года

Бушует ли 21 марта снежная метель, стоит ли крепкий мороз или, наоборот, установилась мягкая оттепель, — день этот в Северном полушарии считается концом зимы и началом весны — весны астрономической. Многим представляется совершенно непонятным, почему именно указанная сейчас дата, 21 марта (в иные годы — 22), избрана служить границей между зимой и весной, хотя в эту пору может еще в полной силе господствовать суровый мороз или же, напротив, давно уже стоит теплая погода.

Дело в том, что начало астрономической весны определяется вовсе не изменчивыми и ненадежными признаками погоды. Уже одно то, что момент наступления весны устанавливается один для всех мест данного полушария Земли, должно навести на мысль, что особенности погоды не имеют здесь существенного значения. Не может же на целой половине земного шара стоять всюду одинаковая погода!

И действительно, при установлении сроков наступления сезонов года астрономы руководствуются явлениями не метеорологическими, а астрономическими: высотой полуденного Солнца и вытекающей отсюда продолжительностью дня. Та или иная погода является уже обстоятельством сопутствующим.

День 21 марта отличается от других дней года тем, что в это время граница света и тени на нашей планете проходит как раз через оба географических полюса. Взяв в руки глобус и держа его соответственно повернутым к лампе, вы убедитесь, что граница освещения следует тогда по линии земного меридиана, пересекая экватор и все параллельные круги под прямым углом. Поворачивайте глобус в таком положении вокруг оси, освещая его лампой: каждая точка поверхности глобуса опишет при этом круг, ровно половина которого погружена в тень и ровно половина находится на свету. Это означает, что в указанный момент года продолжительность дня равняется

продолжительности ночи. Равенство дня и ночи наблюдается в эту пору на всем земном шаре от Северного до Южного полюса. А так как день длится тогда 12 часов — половину суток, то Солнце восходит всюду в 6 часов и закатывается в 18 часов (конечно, по местному времени).

Итак, вот чем выделяется дата 21 марта: день и ночь равны тогда между собой на всей поверхности нашей планеты. Астрономическое наименование этого замечательного момента — «весеннее равноденствие», — весеннее потому, что равноденствие это не единственное в году. Спустя полгода, 23 сентября, снова бывает момент равенства дня и ночи — «осеннее равноденствие», отмечающее конец лета и начало осени. Когда в Северном полушарии весеннее равноденствие, тогда по другую сторону экватора, в Южном полушарии, равноденствие осеннее, и наоборот. По одну сторону экватора зима сменяется весной, по другую — лето сменяется осенью. Времена года в Северном полушарии не совпадают с сезонами Южного.

Проследим также за тем, как меняется в течение года сравнительная долгота дня и ночи. Начиная с осеннего равноденствия, т. е. с 23 сентября, светлая часть суток в Северном полушарии становится короче темной. Так продолжается целое полугодие, в течение которого дни сначала укорачиваются — до 22 декабря, а затем удлиняются, пока 21 марта день не сравняется с ночью. С этого момента в течение всего остального полугодия день в Северном полушарии длиннее ночи. Дни удлиняются до 22 июня, после чего убывают, оставаясь первые три месяца длиннее ночи; они опять сравняются с ночью лишь в момент осеннего равноденствия (23 сентября).

Указанные четыре даты и определяют собой начало и конец астрономических времен года. А именно, для всех мест Северного полушария:

21 марта — день, равный ночи, — начало весны,
22 июня — самый долгий день — начало лета,
23 сентября — день, равный ночи, — начало осени,
22 декабря — самый короткий день — начало зимы.

По другую сторону экватора, в Южном полушарии Земли, с нашей весной совпадает осень, с нашим летом — зима и т. п.

Предложим читателю в заключение несколько вопросов, размышление над которыми поможет ему лучше уяснить и запомнить сказанное:

1. Где на земном шаре день равен ночи круглый год?

2. В котором часу (по местному времени) взойдет в Ташкенте Солнце 21 марта нынешнего года? В котором часу взойдет оно в тот же день в Токио? В Буэнос-Айресе?

3. В котором часу (по местному времени) закатится Солнце в Новосибирске 23 сентября нынешнего года? А в Нью-Йорке? На мысе Доброй Надежды?

4. В котором часу восходит Солнце в пунктах экватора 2 августа? 27 февраля?

5. Случаются ли июльские морозы и январские знойные дни?*

Три «если бы»

Слишком привычное уясняется нередко с бóльшим трудом, чем необычное. Особенности десятичной системы счисления, которой мы овладеваем с детства, обнаруживаются для нас только тогда, когда мы пробуем изображать числа в иной, например в семеричной или двенадцатеричной, системе. Сущность евклидовой геометрии постигается нами тогда, когда мы начинаем знакомиться с геометрией неевклидовой. Чтобы хорошо понять, какую роль в нашей жизни играет сила тяжести, надо вообразить, что она во много раз больше или меньше, чем в действительности. Мы так и поступим, когда будем говорить о тяжести. А сейчас воспользуемся способом «если бы», чтобы лучше уяснить себе условия движения Земли вокруг Солнца.

Начнем с затверженного в школе положения, что земная ось составляет с плоскостью орбиты Земли угол в $66\frac{1}{2}^\circ$ (около $\frac{3}{4}$ прямого угла). Вы хорошо поймете значение этого факта лишь тогда, когда вообразите, что угол наклона иной — составляет не $\frac{3}{4}$ прямого угла, а, например, целый прямой. Иначе говоря, представьте себе, что ось вращения Земли перпендикулярна к плоскости орбиты, как мечтали сделать члены Пушечного клуба в фантастическом романе Жюля Верна «Вверх дном». Какие изменения вызвало бы это в привычном обиходе природы?

---

* Ответы на вопросы: 1) День всегда равен ночи на экваторе, потому что граница освещения делит экватор на две равные половины во всяком положении земного шара. 2) и 3) В дни равноденствий Солнце всюду на Земле восходит в 6 часов и заходит в 18 часов по местному времени. 4) На экваторе Солнце в течение всего года восходит ежедневно в 6 часов по местному времени. 5) В средних широтах Южного полушария июльский мороз и январский летний зной — обычные явления.

Если бы земная ось была перпендикулярна к плоскости орбиты

Итак, вообразим, что предприятие жюльверновских артиллеристов «выпрямить земную ось» осуществилось, и она стала под прямым углом к плоскости орбиты нашей планеты вокруг Солнца. Какие перемены заметили бы мы в природе?

Прежде всего нынешняя Полярная звезда — альфа Малой Медведицы — перестала бы быть полярной. Продолжение земной оси не будет уже проходить близ нее, и звездный купол станет вращаться вокруг другой точки неба.

Совершенно изменилась бы, далее, смена времен года; изменилась бы в том смысле, что смены этой больше не было бы вовсе.

Чем обусловлена смена времен года? Почему летом теплее, чем зимой? Не станем уклоняться от ответа на этот банальный вопрос. В школе разъясняют его далеко не достаточно, а позднее у большинства людей не бывает досуга им заняться.

Летом в Северном полушарии становится тепло потому, во-первых, что из-за наклонного положения земной оси, северный конец которой теперь обращен больше к Солнцу, дни делаются длинными, ночи — короткими. Солнце дольше греет почву, а по ночам земля не успевает заметно остыть; приход тепла возрастает, расход уменьшается. Вторая причина та, что вследствие опять-таки наклона земной оси в сторону Солнца дневное светило ходит по небу высоко, и лучи его встречают почву под бóльшим углом. Значит, летом Солнце греет не только *долго*, *но и сильно*, ночное же остывание непродолжительно. Зимой — наоборот, Солнце греет *мало* времени и притом греет *слабо*, а ночное остывание длится долго.

В Южном полушарии те же явления происходят шестью месяцами позднее (или, если угодно, раньше). Весной и осенью оба полюса занимают одинаковое положение по отношению к солнечным лучам; круг освещения почти совпадает с меридианами, дни и ночи близки к равенству, — создается климатическая обстановка, средняя между зимой и летом.

Будут ли эти перемены происходить, если земная ось станет перпендикулярно к плоскости орбиты? Нет, потому что земной шар окажется всегда в одинаковом положении относительно лучей Солнца, и в каждой точке круглый год будет царить один и тот же сезон. Какой?

Для умеренного и полярного поясов мы можем назвать его весной, хотя он имеет столько же прав именоваться и осенью. Дни всегда и всюду будут равны ночи, как теперь бывают только в 20-х чис-

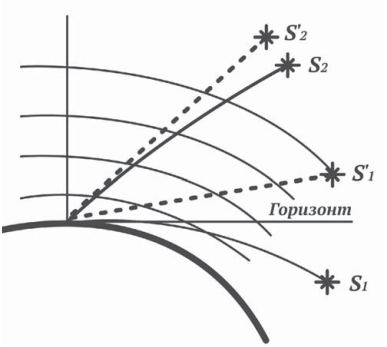


Рис. 15. Атмосферная рефракция. Луч, исходящий от светила S_2, проходя земную атмосферу, преломляется в каждом ее слое и искривляется, вследствие чего наблюдателю луч кажется вышедшим из точки S'_2, лежащей выше. Светило S_1 уже зашло за горизонт, но благодаря рефракции наблюдатель еще видит его

лах марта и сентября. (В таком примерно положении находится планета Юпитер; ее ось вращения почти перпендикулярна к плоскости движения ее вокруг Солнца.)

Так происходило бы в нынешнем умеренном поясе. В жарком поясе климатические изменения были бы не столь заметны; на полюсах, напротив, они были бы всего значительнее. Здесь вследствие атмосферной рефракции, слегка поднимающей светило над горизонтом (рис. 15), Солнце никогда не заходило бы, а круглый год скользило бы у горизонта. Стоял бы вечный день, вернее — вечное раннее утро. Хотя теплота, приносимая лучами столь низкого Солнца, незначительна, но так как нагревание длилось бы непрерывно круглый год, то суровый полярный климат был бы заметно смягчен. Вот единственная выгода от перемены угла наклона оси, выгода, не вознаграждаемая ущербом, который понесут самые культурные области земного шара.

Если бы земная ось была наклонена к плоскости орбиты на 45°

Сделаем теперь мысленно другую перемену: придадим земной оси наклон в половину прямого угла. В пору равноденствий (около 21 марта и около 23 сентября) смена дней и ночей на Земле будет такая же, как и теперь. Но в июне Солнце окажется в зените для 45-й параллели (а не для $23^1/_2^\circ$): эта широта играла бы роль тропиков. На широте 60° Солнце не доходило бы до зенита только на 15°; высота Солнца поистине тропическая! Жаркий пояс непосредственно примыкал бы к холодному, а умеренного не существовало бы вовсе. В Москве, в Харькове весь июнь царил бы непрерывный, беззакатный день. Зимой, напротив, целые декады длилась бы сплошная полярная ночь в Москве, Киеве, Харькове, Полтаве. Жаркий же пояс на это время превратился бы в умеренный, потому что Солнце поднималось бы там в полдень не выше 45°.

Тропический пояс, конечно, много потерял бы от этой перемены, так же как и умеренный. Полярная же область и на этот раз кое-что

выгадала бы: здесь после очень суровой (суровее, чем ныне) зимы наступал бы умеренно-теплый летний период, когда даже на самом полюсе Солнце стояло бы в полдень на высоте 45° и светило бы дольше полугода. Вечные льды Арктики заметно уступили бы дружному действию солнечных лучей.

Если бы земная ось лежала в плоскости орбиты

Третий мысленный опыт наш состоит в том, что мы кладем ось Земли в плоскость ее орбиты (рис. 16). Земля будет обходить Солнце «лежа», вертясь вокруг оси примерно так, как вертится далекий член нашей планетной семьи — Уран. Что произойдет?

Близ полюсов полугодовой день, в течение которого Солнце спирально поднималось бы вверх от горизонта к самому зениту и снова спускалось бы к горизонту по такой же спиральной линии, сменялся бы полугодовой ночью. Их разделяли бы непрерывные многосуточные сумерки. Перед тем как скрыться под горизонтом, Солнце несколько суток обходило бы все небо, скользя по самому горизонту. В течение такого лета должны растаять все льды, накопившиеся за зиму.

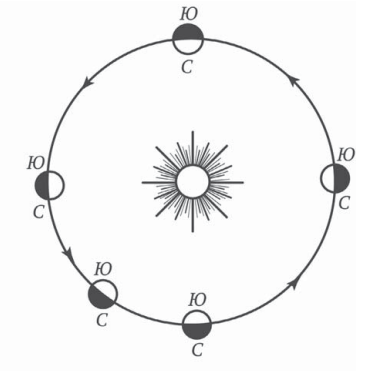


Рис. 16. Как двигался бы земной шар вокруг Солнца, если бы ось вращения Земли лежала в плоскости ее орбиты

В средних широтах дни будут быстро нарастать от начала весны, а затем в течение некоторого времени будет длиться многосуточный день. Этот долгий день наступит через столько примерно суток, на сколько градусов данное место отстоит от полюса, и будет длиться приблизительно столько суток, сколько градусов содержит удвоенная широта места.

Для Петербурга, например, многосуточный день наступил бы через 30 дней после 21 марта и длился бы 120 суток. За тридцать суток до 23 сентября снова явятся ночи. Зимой будет происходить обратное: взамен непрерывного многосуточного дня столько же времени будет сплошная ночь. И только на экваторе день всегда равнялся бы ночи.

Приблизительно в таком положении по отношению к плоскости орбиты находится, как было упомянуто, ось Урана: наклонение оси этой планеты к плоскости ее движения вокруг Солнца равно всего 8°.

Уран, можно сказать, обращается вокруг Солнца в «лежачем» положении.

После этих трех «если бы» читателю, вероятно, стала яснее тесная связь между климатическими условиями и наклоном земной оси. Не случайно слово «климат» значит по-гречески *«наклон»*.

Еще одно «если бы»

Обратимся теперь к другой стороне движения нашей планеты — к форме ее орбиты. Как и все планеты, Земля подчиняется первому закону Кеплера: каждая планета движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце.

Каков же тот эллипс, по которому движется земной шар? Сильно ли отличается он от круга?

В учебниках и книгах по начальной астрономии нередко изображают земную орбиту в перспективе, в форме довольно сильно растянутого эллипса. Такой зрительный образ, неправильно понятый, запечатлевается у многих на всю жизнь: они остаются в убеждении, что орбита Земли — заметно растянутый эллипс. Это вовсе не так: земная орбита отличается от круга настолько мало, что ее нельзя даже изобразить на бумаге иначе, как в форме круга. При поперечнике орбиты на чертеже в целый метр отступление фигуры от круга было бы меньше толщины той линии, которой она изображена. Такого эллипса не отличил бы от круга даже изощренный глаз художника.

Познакомимся немного с геометрией эллипса. В эллипсе (рис. 17) *AB* — его «большая ось», *CD* — «малая ось». В каждом эллипсе, кроме «центра» *O*, есть еще две замечательные точки — «фокусы», лежащие на большой оси симметрично по обеим сторонам центра. Разыскива-

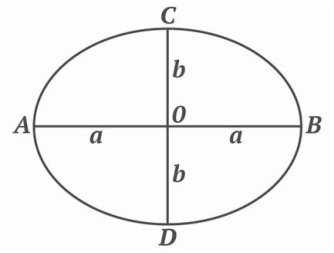


Рис. 17. Эллипс и его оси — большая (*AB*) и малая (*CD*). Точка *O* — центр эллипса

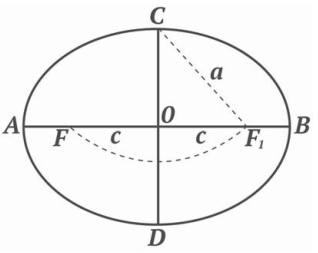


Рис. 18. Как разыскать фокусы эллипса

ют фокусы так (рис. 18): раздвигают ножки циркуля на расстояние большой полуоси OB и, установив острие в конце C малой оси, описывают дугу, пересекающую большую ось. Точки пересечения F и F_1 — фокусы эллипса. Расстояния OF и OF_1 (они равны) обозначаются обыкновенно буквой c, а оси, большая и малая, через $2a$ и $2b$. Расстояние c, отнесенное к длине a большой полуоси, т. е. дробь $\frac{c}{a}$, служит мерой растянутости эллипса и называется «эксцентриситетом». Чем больше эллипс отличается от круга, тем эксцентриситет его больше.

Мы будем иметь точное представление о форме земной орбиты, если узнаем величину ее эксцентриситета. Это можно определить и не измеряя величину орбиты. Дело в том, что Солнце помещается в одном из фокусов орбиты и кажется нам с Земли неодинаковой величины вследствие различного удаления точек орбиты от этого фокуса. Видимые размеры Солнца то увеличиваются, то уменьшаются, и отношение размеров, конечно, в точности отвечает отношению расстояний Земли от Солнца в моменты наблюдений. Пусть Солнце помещается в фокусе F_1 эллипса (рис. 18). Земля бывает в точке A орбиты около 1 июля, и тогда мы видим наименьший диск Солнца; его величина в угловой мере — 31′28″. В точке B Земля бывает около 1 января, и тогда диск Солнца кажется нам под наибольшим углом — 32′32″. Составим пропорцию:

$$\frac{31'28''}{32'32''} = \frac{BF_1}{AF_1} = \frac{a-c}{a+c},$$

из которой можно образовать так называемую производную пропорцию

$$\frac{a-c-(a+c)}{a+c+(a-c)} = \frac{31'28''-32'32''}{32'32''+31'28''},$$

или

$$\frac{64''}{64'} = \frac{c}{a}.$$

Значит,

$$\frac{c}{a} = \frac{1}{60} = 0{,}017,$$

т. е. эксцентриситет земной орбиты равен 0,017. Достаточно, как видите, тщательно измерить видимый диск Солнца, чтобы определить форму земной орбиты.

Покажем теперь, что орбита Земли весьма мало отличается от круга. Вообразим, что мы начертили ее на огромном чертеже, так что

большая полуось орбиты равна 1 м. Какой длины окажется другая — малая полуось эллипса? Из прямоугольного треугольника OCF_1 (рис. 18) имеем

$$c^2 = a^2 - b^2, \text{ или } \frac{c^2}{a^2} = \frac{a^2 - b^2}{a^2}.$$

Но $\frac{c}{a}$ есть эксцентриситет земной орбиты, т. е. $\frac{1}{60}$. Выражение $a^2 - b^2$ заменяем через $(a - b)\,(a + b)$, а $(a + b)$ — через $2a$, так как b мало отличается от a.

Имеем

$$\frac{1}{60^2} = \frac{2a\,(a - b)}{a^2} = \frac{2\,(a - b)}{a}$$

и, значит,

$$(a - b) = \frac{a}{2 \times 60^2} = \frac{1000}{7200}, \text{ т. е. менее } \frac{1}{7} \text{ мм.}$$

Мы узнали, что на чертеже даже столь крупного масштаба разница в длине большой и малой полуосей земной орбиты не превышает $\frac{1}{7}$ мм. Тонкая карандашная линия имеет толщину, бóльшую, чем эта величина. Значит, мы практически не делаем никакой ошибки, когда чертим земную орбиту в форме круга.

Куда следует поместить изображение Солнца на таком чертеже? На сколько надо отодвинуть его от центра, чтобы оно оказалось в фокусе орбиты? Другими словами, чему равно расстояние OF или OF_1 на нашем воображаемом чертеже? Расчет несложен:

$$\frac{c}{a} = \frac{1}{60}, \quad c = \frac{a}{60} = \frac{100}{60} = 1{,}7 \text{ см.}$$

Центр Солнца должен на чертеже отстоять на 1,7 см от центра орбиты. Но так как само Солнце должно быть изображено кружком в 1 см поперечником, то только опытный глаз художника заметил бы, что оно помещено не в центре круга.

Практический вывод из сказанного тот, что на рисунках можно чертить орбиту Земли в виде круга, помещая Солнце чуть сбоку от центра.

Может ли столь незначительная асимметрия в положении Солнца влиять на климатические условия Земли? Чтобы выяснить, в чем могло бы обнаружиться подобное влияние, произведем опять мысленный опыт, обратимся к «если бы». Допустим, что эксцентриситет земной орбиты возрос до более заметной величины — например, до 0,5. Это значит, что фокус эллипса делит его полуось пополам; такой эллипс будет иметь вытянутость примерно куриного яйца. Ни одна

из орбит главных планет Солнечной системы не обладает столь значительным эксцентриситетом; орбита Плутона, самая вытянутая, имеет эксцентриситет 0,25. (Но астероиды и кометы движутся и по более вытянутым эллипсам.)

Если бы путь Земли был вытянут сильнее

Вообразим же, что орбита Земли заметно вытянута и фокус делит ее большую полуось пополам. На рис. 19 изображена эта новая орбита. Земля по-прежнему бывает 1 января в точке *A*, ближайшей к Солнцу, а 1 июля в точке *B*, наиболее удаленной. Так как *FB* втрое больше, чем *FA*, то в январе Солнце было бы втрое ближе к нам, чем в июле. Январский поперечник Солнца втрое превышал бы июльский, а количество посылаемого тепла было бы в январе в 9 раз больше, чем в июле (обратно пропорционально квадрату расстояния). Что осталось бы тогда от нашей северной зимы? Только то, что Солнце стояло бы низко на небе и дни были бы короткие, а ночи долгие. Но холодов не было бы: большая близость Солнца с избытком покрыла бы невыгодные условия освещения.

Сюда присоединится еще обстоятельство, вытекающее из второго закона Кеплера, который гласит, что площади, описываемые радиусом-вектором в равные промежутки времени, равны.

«Радиусом-вектором» орбиты называется прямая линия, соединяющая Солнце с планетой, в нашем случае — с Землей. Так как Земля перемещается по орбите, то движется и радиус-вектор, который описывает при этом некоторую площадь; закон Кеплера устанавливает, что части площади эллипса, описываемые в равные времена,

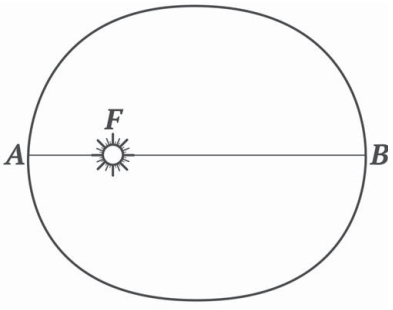


Рис. 19. Какую форму имела бы орбита Земли, если бы эксцентриситет земной орбиты был равен 0,5. В фокусе *F* — Солнце

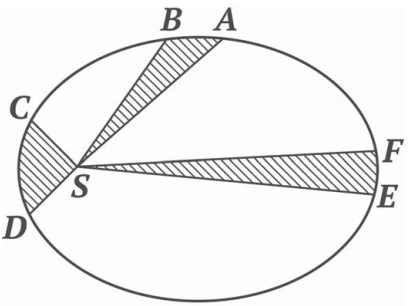


Рис. 20. Иллюстрация второго закона Кеплера: если дуги *AB*, *CD* и *EF* пройдены планетой в одинаковые промежутки времени, то заштрихованные площади равны

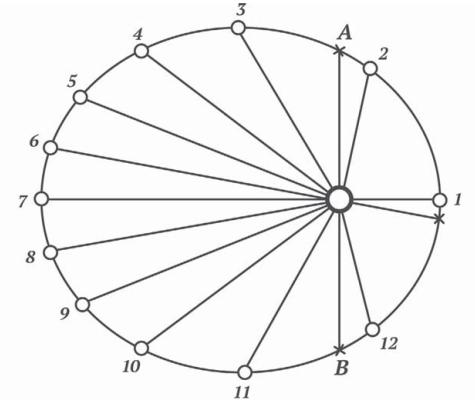


Рис. 21. Как двигалась бы вокруг Солнца Земля по сильно вытянутому эллипсу (расстояния между соседними точками, отмеченными цифрами, проходятся планетой за равные промежутки времени — за месяц)

равны между собой. В точках своего пути, близких к Солнцу, Земля должна двигаться по орбите быстрее, чем в точках, удаленных от Солнца; иначе площадь, описанная коротким радиусом-вектором, не могла бы равняться площади, образованной более длинным радиусом-вектором (рис. 20).

Применяя сказанное к нашей воображаемой орбите, заключаем, что в декабре — феврале, когда Земля значительно ближе к Солнцу, она должна двигаться по своей орбите быстрее, чем в июне — августе. Другими словами, зима должна на севере промчаться скоро, лето же, напротив, должно тянуться долго, как бы вознаграждая этим за скупо изливаемую Солнцем теплоту.

На рис. 21 дается более точное представление о продолжительности времен года при наших воображаемых условиях. Эллипс изображает форму новой земной орбиты (с эксцентриситетом 0,5). Числа 1–12 делят путь Земли на части, пробегаемые ею в равные промежутки времени; по закону Кеплера доли эллипса, на которые он рассекается начерченными в нем радиусами-векторами, равны по площади.

В точке *1* Земля бывает 1 января, в точке *2* — 1 февраля, в точке *3* — 1 марта и т. д. Из чертежа видно, что весеннее равноденствие (*A*) должно наступить на подобной орбите уже в первых числах февраля, а осеннее (*B*) — в конце ноября. Значит, зимнее время года длилось бы в Северном полушарии лишь два с небольшим месяца — от

конца ноября до начала февраля. Период же долгих дней и высокого полуденного Солнца в странах Северного полушария — от весеннего до осеннего равноденствия — охватывал бы более $9^1/_2$ месяца.

В Южном полушарии Земли происходило бы как раз обратное. Низкое стояние Солнца и короткие дни совпадали бы с удалением от дневного светила и 9-кратным оскудением теплового потока, им изливаемого; высокое же стояние Солнца и длинные дни — с 9-кратным усилением солнечного излучения. Зима была бы значительно суровее, чем северная, и длилась бы гораздо дольше ее. Лето, напротив, было бы невыносимо знойное, хотя и короткое.

Отметим еще одно следствие нашего «если бы». В январе быстрое движение Земли по орбите создало бы значительные расхождения между моментами среднего и истинного полудня, — расхождение, достигающее целых часов. Жить по среднему солнечному времени, как мы живем, было бы тогда неудобно.

Мы знаем теперь, в чем может сказаться для нас эксцентрическое положение Солнца в земной орбите: в том прежде всего, что зима Северного полушария должна быть короче и мягче, а лето — длиннее, чем в Южном. Наблюдается ли это в действительности? Безусловно. Земля в январе ближе к Солнцу, чем в июле, на $2 \times \frac{1}{60}$, т. е. на $\frac{1}{30}$; количество получаемого от него тепла возрастает поэтому в $\left(\frac{61}{59}\right)^2$ раз, т. е. на 6%. Это несколько смягчает суровость северных зим. С другой стороны, северные осень и зима вместе примерно на 8 суток короче южных; лето Северного полушария вместе с весной на столько же длиннее, чем в Южном. Большее обледенение Южного полюса объясняется, вероятно, этим обстоятельством. Вот точная продолжительность времен года в Северном и в Южном полушариях:

Северное полушарие	Продолжительность	Южное полушарие
Весна	92 суток 19 ч.	Осень
Лето	93 суток 15 ч.	Зима
Осень	89 суток 19 ч.	Весна
Зима	89 суток 0 ч.	Лето

Вы видите, что северное лето длиннее зимы на 4,6 суток, а северная весна длиннее осени на 3,0 суток.

Такое преимущество Северного полушария не будет сохраняться вечно. Большая ось земной орбиты медленно перемещается в пространстве: она переносит наиболее удаленные от Солнца и ближайшие к нему точки земного пути в другие места. Полный цикл этих движений завершается в 21 тысячу лет. Вычислено, что около 10 700 г. нашей эры указанное сейчас преимущество Северного полушария Земли перейдет к Южному.

Самый эксцентриситет земной орбиты не остается неизменным: его величина подвержена медленным вековым колебаниям почти от нуля (0,003), когда орбита Земли превращается почти в круг, до 0,077, когда она получает наибольшую растянутость и уподобляется по форме орбите Марса. В настоящее время ее эксцентриситет находится в периоде убывания; он будет уменьшаться еще 24 тысячелетия — до 0,003, затем станет увеличиваться в течение 40 тысячелетий. Разумеется, что столь медлительные изменения имеют для нас только теоретическое значение.

Когда мы ближе к Солнцу: в полдень или вечером?

Если бы Земля двигалась по строго круговой орбите, в центре которой находится Солнце, то ответить на поставленный в заголовке вопрос было бы очень просто: мы ближе к Солнцу в полдень, когда соответствующие точки земной поверхности вследствие вращения Земли вокруг оси выступают по направлению к Солнцу. Наибольшая величина этого приближения к Солнцу была бы для точек экватора 6400 км (длина земного радиуса).

Но орбита Земли — эллипс, а Солнце помещается в его фокусе (рис. 22). Земля бывает поэтому то ближе к Солнцу, то дальше от него.

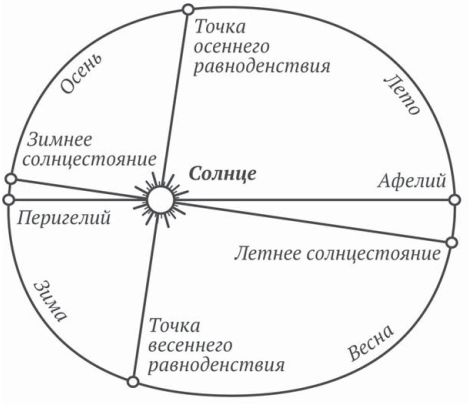


Рис. 22. Схематическое изображение пути Земли вокруг Солнца

В течение полугодия (с 1 января по 1 июля) Земля удаляется от Солнца, в течение другого полугодия — приближается к нему. Разница между наибольшим и наименьшим расстоянием достигает $2 \times \frac{1}{60} \times 150\,000\,000$, т. е. 5 000 000 км.

Это изменение расстояния составляет в среднем около 28 000 км в сутки. Поэтому за время от полудня до заката Солнца (четверть суток) расстояние точек земной поверхности от дневного светила успевает измениться в среднем на 7500 км, т. е. больше, чем от вращения Земли вокруг оси.

Значит, на вопрос, поставленный в заголовке, приходится ответить так: в период с января до июля мы бываем в полдень ближе к Солнцу, чем вечером, а с июля до января — наоборот.

На один метр дальше

ЗАДАЧА

Земля обращается вокруг Солнца на расстоянии 150 000 000 км. Вообразите, что расстояние это увеличилось на 1 м. На сколько удлинился бы при этом путь Земли вокруг Солнца и на сколько возросла бы от этого продолжительность года (принимая, что скорость движения Земли по орбите не изменилась) (см. рис. 23)?

РЕШЕНИЕ

1 м — величина сама по себе небольшая; но, вспоминая об огромном протяжении орбиты Земли, мы склонны думать, что эта незначительная прибавка расстояния должна дать весьма заметную прибавку длины, а следовательно, и продолжительности года.

Однако, выполнив вычисление, мы получаем настолько ничтожный результат, что готовы заподозрить ошибку в выкладках. Удивляться незначительности разницы не приходится; она и должна быть весьма мала. Разность длины двух концентрических окружностей зависит не от величины радиусов этих окружностей, а только от *разности* этих радиусов. У двух окружностей, начерченных на полу комнаты, она совершенно та же, что и у окружностей космических размеров, если радиусы в обоих случаях разнятся на 1 м. В этом убеждает нас расчет. Если радиус земной орбиты (принимаемой за круг) равен R м, то длина ее равна $2\pi R$. При удлинении радиуса на 1 м

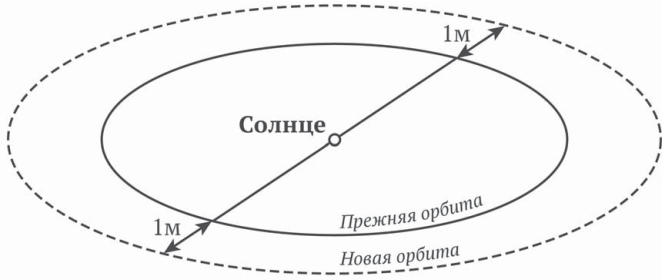


Рис. 23. На сколько удлинилась бы земная орбита, если бы наша планета удалилась от Солнца еще на 1 м? (Решение задачи в тексте)

новая длина орбиты будет равна $2\pi\ (R + 1) = 2\pi R + 2\pi$. Прибавка длины орбиты составляет, как видим, всего 2π, т. е. 6,28 м, и не зависит от величины радиуса.

Итак, путь Земли около Солнца при увеличении расстояния на 1 м удлинился бы всего на $6^1/_4$ м. На длине года это почти не отразилось бы, так как Земля делает по орбите 30 000 м в секунду: год удлинился бы всего на 5000-ю долю секунды — величину, конечно, неощутимую.

С разных точек зрения

Роняя из рук вещь, вы видите ее падающей по отвесной линии, и вам странно думать, что кому-нибудь другому путь ее падения может представиться не прямой линией. А между тем именно так и произойдет для каждого наблюдателя, не участвующего вместе с нами в движении земного шара.

Попробуем мысленно взглянуть на падение тела глазами такого наблюдателя. На рис. 24 изображен тяжелый шар, свободно падающий с высоты 500 м. Падая, он, конечно, участвует одновременно во всех движениях земного шара. Этих привходящих и притом гораздо более быстрых движений падающего тела мы не замечаем потому только, что сами в них участвуем. Освободимся от участия в одном из движений нашей планеты, и мы увидим то же тело движущимся уже не отвесно вниз, а по совершенно иной линии.

Вообразим, например, что мы следим за падением тела не с земной поверхности, а с Луны. Луна сопутствует Земле в ее движении вокруг Солнца, но не разделяет вращательного ее движения вокруг

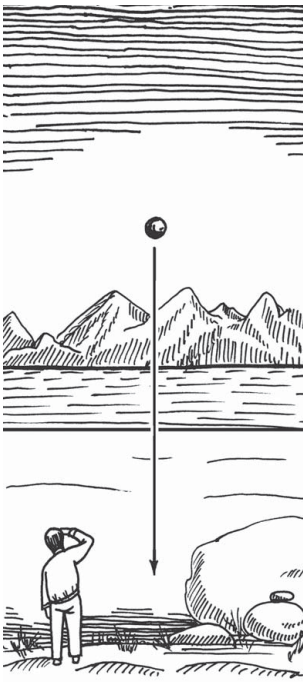


Рис. 24. Для земного наблюдателя путь свободно падающего тела — прямая линия

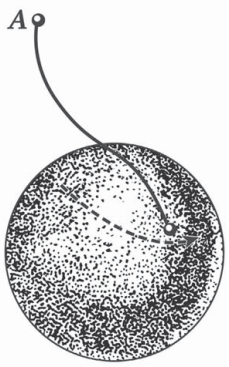


Рис. 25. Тот же путь представляется лунному наблюдателю искривленным

оси. Поэтому, наблюдая с Луны за падением, мы увидели бы тело, совершающее два движения: одно — отвесно вниз и второе движение, прежде не замечавшееся, — по касательной к земной поверхности на восток. Оба одновременных движения, конечно, складываются по правилам механики, и так как одно из них (падение) неравномерное, а другое равномерное, то результирующее движение будет происходить по кривой линии. На рис. 25 изображена эта кривая: по такому пути двигалось бы падающее на Земле тело для достаточно зоркого наблюдателя, помещающегося на Луне.

Сделаем еще шаг: перенесемся мысленно на Солнце, захватив с собой сверхмощный телескоп, чтобы следить за падением на Землю тяжелого шара. Находясь на Солнце, мы не участвуем уже не только во вращении Земли вокруг оси, но и в ее обращении по орбите. Следовательно, с Солнца мы можем заметить три движения, совершаемые падающим телом одновременно (рис. 26):

1) отвесное падение к земной поверхности;

2) движение на восток по касательной к земной поверхности;

3) движение вокруг Солнца.

Первое перемещение равно 0,5 км. Второе — за 10 секунд времени падения тела — равно по широте Москвы 0,3 × × 10 = 3 км. Третье движение — самое быстрое — 30 км в одну секунду. За 10 с, пока длится падение, тело переместится по земной орбите на 300 км. По сравнению со столь значительным перемещением оба предыдущих движения — $^1/_2$ км вниз и 3 км в сторону — будут едва за-

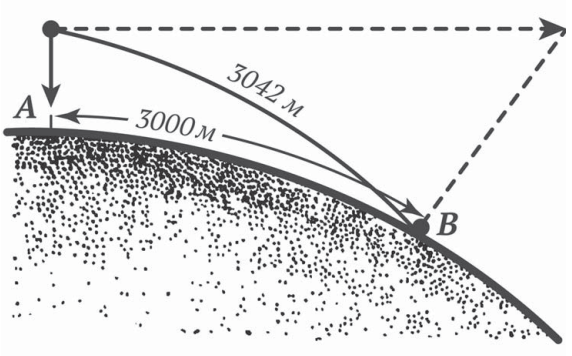


Рис. 26. Тело, свободно падающее на Землю, движется одновременно в направлении касательной к тому круговому пути, который описывают точки земной поверхности вследствие вращения Земли

метны; наблюдая с Солнца, мы обратим внимание лишь на самое значительное перемещение. Что же мы увидим? Примерно то, что показано (без соблюдения масштаба) на рис. 27. Земля переместится налево, а падающее тело — из точки на Земле в правом положении в соответствующую точку (только чуть пониже) на Земле в левом положении. На рисунке, мы сказали, масштаб не соблюден: центр Земли за 10 с передвинется не на 14 000 км, как изобразил для наглядности художник, а только на 300 км.

Остается сделать еще шаг: перенестись на какую-нибудь звезду, т. е. на отдаленное солнце, освободив себя от участия в движении нашего собственного Солнца. Оттуда мы заметим, что, помимо трех рассмотренных ранее движений, падающее тело совершает еще и четвертое — по отношению к этой звезде. Величина и направление четвертого движения зависят от того, на какую именно звезду мы

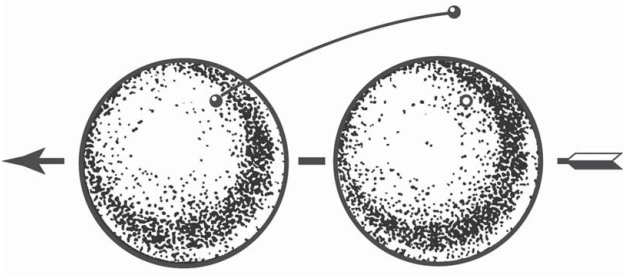


Рис. 27. Что видел бы наблюдатель, следящий с Солнца за отвесным падением тела на Землю, как показано на рис. 24 (масштаб не соблюден)

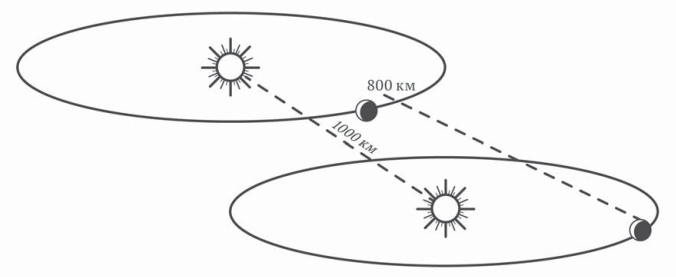


Рис. 28. Как представлялось бы падение тела на Землю наблюдателю, следящему за ним с отдаленной звезды

перенеслись, т. е. какое движение совершает вся Солнечная система по отношению к этой звезде.

На рис. 28 изображен один из возможных случаев, когда Солнечная система движется по отношению к выбранной звезде под острым углом к плоскости земной орбиты со скоростью 100 км в секунду (скорости такого порядка у звезд наблюдаются и в действительности). Движение это за 10 с перенесет падающее тело на 1000 км по своему направлению и, конечно, еще более усложнит его путь. При наблюдении с другой звезды путь этот имел бы иную величину и иное направление.

Можно было бы идти и еще дальше: поставить вопрос о том, какой вид имеет путь падающего на Землю тела для наблюдателя, расположенного вне Млечного Пути и не участвующего в быстром движении, которое увлекает нашу Звездную систему по отношению к другим островам Вселенной. Но нет нужды забираться так далеко. Читателю ясно теперь, что с каждой новой точки зрения путь одного и того же падающего тела представляется совершенно иным.

Неземное время

Вы час работали, час отдыхали. Одинаковы ли оба промежутка времени? Безусловно одинаковы, если они измерены с помощью хорошо выверенного часового механизма, — ответит большинство людей. Какой же часовой механизм мы должны считать верным? Тот, конечно, который проверен астрономическими наблюдениями, иначе говоря, согласован с движением земного шара, вращающегося идеально равномерно: он повертывается на равные углы в строго одинаковые промежутки времени.

Но откуда, собственно говоря, известно, что земной шар вращается равномерно? Почему мы уверены, что два последовательных оборота вокруг оси совершаются нашей планетой в одинаковое время? Проверить это нет возможности до тех пор, пока вращение Земли само служит мерой времени.

В последнее время астрономы сочли полезным для некоторых целей этот издавна узаконенный образец равномерного движения временно заменять другим. Изложим поводы и последствия такой замены.

Тщательное изучение небесных движений обнаружило, что некоторые светила в своем движении отступают от теоретически предуказанного, и эти отступления нельзя объяснить законами небесной механики. Такие как бы беспричинные отклонения установлены для Луны, для первого и второго спутников Юпитера, для Меркурия и даже для *видимого* годового движения Солнца, т. е. для движения нашей собственной планеты по ее орбите. Луна, например, уклоняется от теоретического пути на величину, достигающую в некоторые эпохи до $^1/_6$ минуты дуги, а Солнце — до 1 секунды дуги. Анализ этих неправильностей обнаружил в них общую черту: все движения в некоторый период времени совершались ускоренно, а затем, в следующий период, опять-таки все разом стали замедляться. Естественно возникает мысль об общей причине, вызывающей такие уклонения.

Не кроется ли общая причина в «неверности» наших природных часов, в неудачном выборе вращения Земли как образца равномерного движения?

Был поставлен вопрос о замене земных часов. «Земные часы» были временно отвергнуты, и исследуемые движения были измерены другими природными часами, основанными либо на движениях того или другого спутника Юпитера, либо на движениях Луны или Меркурия.

Оказалось, что такие замены сразу вносят удовлетворительную правильность в движение названных небесных тел. Зато вращение Земли, измеренное новыми часами, представляется уже неравномерным: оно то немного замедляется в течение десятков лет, то в следующий ряд десятилетий ускоряется, чтобы затем начать замедляться.

В 1897 г. сутки были на 0,0035 с длиннее, чем в предшествовавшие годы, а в 1918 г. — на столько же короче, чем в промежутке 1897–1918 гг. Нынешние сутки примерно на 0,002 с длиннее, чем 100 лет назад.

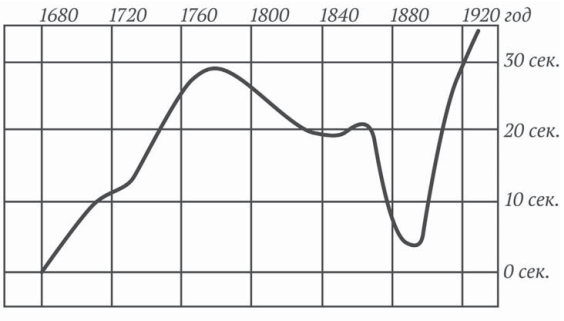


Рис. 29. Эта кривая показывает, как с 1680 по 1920 г. вращение Земли уклонялось от равномерного вращения. Если бы Земля вращалась равномерно, то на графике это изобразилось бы горизонтальной прямой. Подъемы кривой соответствуют удлинению суток, т. е. замедлению вращения Земли; понижения — ускорению вращения.

В этом смысле мы можем сказать, что наша планета вращается неравномерно по отношению к некоторым другим ее движениям, а также к движениям, совершающимся в нашей планетной системе и условно принимаемым за движения равномерные.

Размер уклонений Земли от строго равномерного (в указанном смысле) вращения весьма невелик: в течение целого столетия от 1680 до 1780 г. Земля вращалась замедленно, сутки удлинялись, и планета наша накопила около 30 с разницы между «своим» и «чужим» временем; затем до начала XIX в. сутки укорачивались, в первые же 20 лет XX в. движение Земли снова замедлялось, сутки опять стали удлиняться, а затем вновь стали укорачиваться (рис. 29).

Предполагаемые причины этих изменений могут быть различны: лунные приливы, изменение диаметра земного шара* и т. п. Здесь возможны важные открытия в будущем, когда явление это получит всестороннее освещение.

Где начинаются месяцы и годы?

В Москве пробило двенадцать, — наступило 1 января. На запад от Москвы простирается еще 31 декабря, а на восток — 1 января. Но на шарообразной Земле восток и запад неизбежно должны встретиться;

* Изменение длины земного диаметра может ускользать от непосредственных измерений, так как величина эта известна лишь с точностью до 100 м; между тем удлинения или укорочения земного диаметра на несколько метров было бы уже достаточно, чтобы вызвать те изменения продолжительности суток, о которых шла речь.

значит, должна где-то существовать и граница, отделяющая 1-е число от 31-го, январь от декабря, наступивший год от предыдущего.

Граница эта существует и называется «линией перемены даты»; она проходит через Берингов пролив и тянется по водам Тихого океана приблизительно вдоль меридиана 180°. Ее точное положение определяется международным соглашением.

На этой-то воображаемой линии, пересекающей безлюдные просторы Тихого океана, совершается впервые на земном шаре смена чисел, месяцев, лет. Здесь как бы помещаются входные двери нашего календаря; отсюда приходят на Землю новые числа месяца, здесь же находится и колыбель нового года. Раньше, чем где бы то ни было, наступает здесь каждый новый день месяца; родившись, он бежит на запад, обегает земной шар и снова возвращается к месту рождения, чтобы исчезнуть.

Россия раньше всех стран мира принимает на свою территорию новый день месяца: на мысе Дежнева каждое число месяца, только что родившееся в водах Берингова пролива, вступает в населенный мир, чтобы начать свое шествие через все части света. И здесь же, у восточной оконечности Азии, дни кончаются, исполнив свою 24-часовую службу.

Итак, смена дней происходит на линии перемены даты. Первые кругосветные путешественники, не установившие этой линии, сбились в счете дней. Вот подлинный рассказ Антония Пигафетты, спутника Магеллана в его кругосветном путешествии:

> «19 июля, в *среду* мы увидели острова Зеленого Мыса и стали на якорь... Чтобы узнать, правильно ли вели мы наши корабельные журналы, мы велели спросить на берегу, какой сегодня день недели. Ответили, что *четверг*. Это нас удивило, потому что по нашим журналам была только *среда*. Нам казалось невозможным, что мы все ошиблись на один день...
>
> Впоследствии мы узнали, что в нашем исчислении не было ни малейшей ошибки: плывя постоянно к западу, мы следовали движению Солнца и, возвратившись в тот же пункт, должны были выгадать 24 часа по сравнению с оставшимися на месте. Нужно только подумать над этим, чтобы согласиться».

Как же поступают теперь мореплаватели, когда пересекают линию даты? Чтобы не сбиваться в счете дней, моряки пропускают один день, если идут с востока на запад; когда же пересекают линию даты с запада на восток, то считают один и тот же день дважды, т. е. после 1-го числа опять считают 1-е. Вот почему невозможна в действитель-

ности история, рассказанная Жюлем Верном в романе «Вокруг света за 80 дней», где путешественник, объехавший вокруг света, «привез» на родину воскресенье, когда там был еще только предшествующий день — суббота. Это могло произойти лишь в эпоху Магеллана, потому что тогда не было еще соглашения о «линии даты». Невозможны в наши дни и приключения вроде того, о котором рассказал Эдгар По в шутке «Три воскресенья на одной неделе»: моряк, объехавший Землю с востока на запад, встретился на родине с другим, совершившим кругосветное плавание в обратном направлении. Один утверждал, что воскресенье было вчера, другой — что оно будет завтра, а их приятель, никуда не отправлявшийся, объявил, что воскресенье — сегодня.

Чтобы при кругосветном путешествии не было расхождения с календарем, следует, двигаясь на восток, как бы приостанавливаться немного в счете дней, давая Солнцу себя догнать, т. е. считать одни и те же сутки *дважды*; при движении же на запад надо, напротив, *пропускать* одни сутки, чтобы не отстать от Солнца.

Все это как будто не особенно хитрые вещи, однако даже в наше время, спустя четыре столетия после Магеллана, далеко не все умеют в них сознательно разобраться.

Сколько пятниц в феврале?

ЗАДАЧА

Какое наибольшее и какое наименьшее число пятниц возможно в феврале?

РЕШЕНИЕ

Обычно отвечают, что наибольшее число пятниц в феврале — 5, наименьшее — 4. Безусловно верно, что если 1 февраля високосного года падает на пятницу, то и 29-е число придется в пятницу, всех пятниц окажется тогда 5.

Однако можно насчитать и вдвое больше пятниц в течение одного февраля. Вообразите корабль, совершающий рейсы между восточным берегом Сибири и Аляской; он регулярно покидает азиатский берег каждую пятницу. Сколько насчитает капитан этого корабля пятниц в феврале такого високосного года, в котором 1-е число пришлось на пятницу? Так как он пересекает линию даты с запада на

восток и пересекает в пятницу, то будет иметь еженедельно по две пятницы кряду, а всех пятниц насчитает 10. Напротив, капитан, покидающий берега Аляски каждый четверг и идущий к берегам Сибири, будет в счете дней пропускать как раз пятницу; за весь месяц он не насчитает ни одной пятницы.

Итак, вот правильный ответ на вопрос задачи: наибольшее число пятниц, возможных в феврале, — 10, наименьшее — нуль.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ЛУНА И ЕЕ ДВИЖЕНИЯ

Молодой или старый месяц?

Видя на небе неполный диск Луны, не всякий безошибочно определит, молодой ли это месяц, или он уже на ущербе. Узкий серп недавно народившегося месяца и серп старой Луны различаются только тем, что обращены выпуклостью в противоположные стороны. В Северном полушарии молодой месяц всегда направлен выпуклой стороной вправо, старый — влево. Как запомнить надежно и безошибочно, куда какой месяц смотрит?

Позволю себе предложить такую примету.

По сходству серпа или полумесяца с буквами *P* или *C* легко определить, *растущий* ли перед нами месяц (т. е. молодой) или *старый*.

Мнемоническая примета имеется и у французов. Они советуют мысленно приставлять к рогам полумесяца прямую линию; получаются латинские буквы *d* или *p*. Буква *d* — начальная в слове «dernier» (последний) — указывает на последнюю четверть, т. е. старый месяц. Буква *p* — начальная в слове «premier» (первый) — указывает, что Луна в фазе первой четверти, вообще — молодая. У немцев тоже существует правило, связывающее форму Луны с определенными буквами.

Этими правилами можно пользоваться только в Северном полушарии Земли. Для Австралии или Трансвааля смысл примéт как раз обратный. Но и в Северном полушарии они могут оказаться неприменимыми — именно в южных широтах.

Уже в Крыму и в Закавказье серп и полумесяц сильно клонятся набок, а еще южнее они совсем ложатся. Близ экватора висящий на горизонте серп Луны кажется либо гондолой, качающейся на волнах («челнок Луны» арабских сказок), либо светлой аркой. Здесь не годятся ни русская, ни французская приметы — из лежачей дужки можно сделать по желанию обе пары букв: *P* и *C*, *p* и *d*.

Чтобы и в этом случае не ошибиться в возрасте Луны, надо обратиться к астрономическим признакам: молодой месяц виден вечером в западной части неба; старый — поутру в восточной части неба.

Луна на флагах

ЗАДАЧА

На рис. 30 перед нами — флаг Турции (прежний). На нем имеется изображение лунного серпа и звезды. Это наводит нас на следующие вопросы:

1. Серп какого месяца изображен на флаге — молодого или старого?

2. Могут ли лунный серп и звезда наблюдаться на небе в том виде, в каком они показаны на флаге?

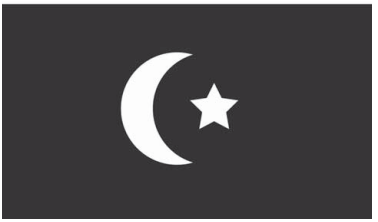


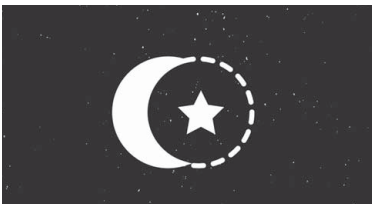
Рис. 30. Флаг Турции (прежний)

РЕШЕНИЕ

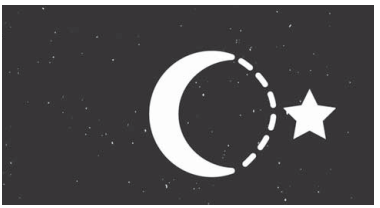
1. Вспомнив указанную только что примету и приняв во внимание, что флаг принадлежит стране Северного полушария, устанавливаем, что месяц на флаге *старый*.

2. Звезда не может быть видна внутри диска Луны, дополненного до круга (рис. 31, *а*). Все небесные светила гораздо дальше Луны и, следовательно, должны ею заслоняться. Их можно видеть только за краем неосвещенной части Луны, как показано на рис. 31, *б*.

Любопытно, что на современном флаге Турции, тоже содержащем изображение лунного серпа и звезды, звезда отодвинута от серпа именно так, как на рис. 31, *б*.



а



б

Рис. 31. Почему звезда не может быть видна между рогами месяца

Загадки лунных фаз

Луна получает свой свет от Солнца, и потому выпуклая сторона лунных серпов должна быть, разумеется, обращена к Солнцу. Художники частенько об этом забывают. На выставках картин не редкость

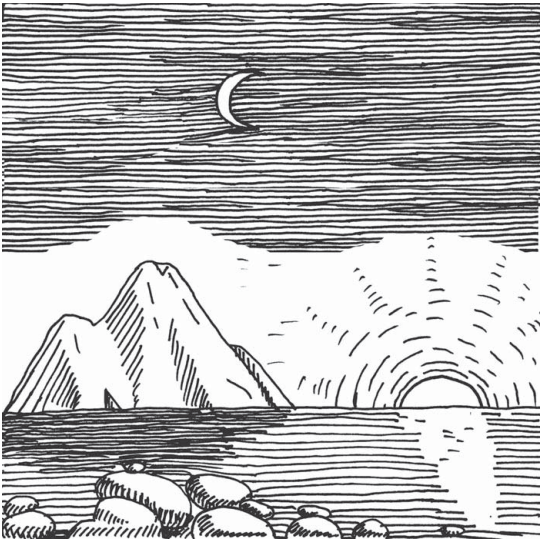


Рис. 32. На ландшафте допущена астрономическая ошибка. Какая? (Ответ в тексте)

увидеть ландшафт с полумесяцем, обращенным к Солнцу своей прямой стороной; попадается и лунный серп, повернутый к Солнцу своими рогами (рис. 32).

Надо, впрочем, заметить, что правильно нарисовать молодой месяц не так просто, как кажется. Даже опытные художники рисуют наружную и внутреннюю дуги лунного серпа в форме полукругов (рис. 33, *б*). Между тем полукруглую форму имеет только наружная дуга, внутренняя же представляет собой *полуэллипс*, потому что это полукруг (граница освещенной части), видимый в *перспективе* (рис. 33, *а*).

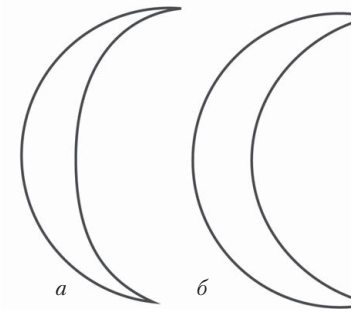


Рис. 33. Как надо (*а*) и как не надо (*б*) изображать лунный серп

Нелегко дать лунному серпу и правильное положение на небе. Полумесяц и лунный серп нередко располагаются по отношению к Солнцу довольно озадачивающим образом. Казалось бы, раз Луна освещается Солнцем, то прямая линия, соединяющая концы месяца, должна составлять прямой угол с лучом, идущим от Солнца к ее середине (рис. 34).



Рис. 34. Положение лунного серпа относительно Солнца

Иначе говоря, центр Солнца должен находиться на перпендикуляре, проведенном через середину прямой, соединяющей концы месяца. Однако правило это соблюдается только для узкого серпа, расположенного неподалеку от Солнца. На рис. 35 показано положение месяца в разных фазах относительно лучей Солнца. Впечатление получается такое, словно лучи Солнца искривляются, прежде чем достичь Луны.

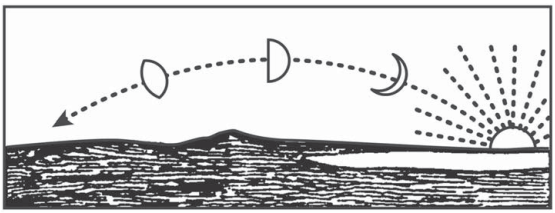


Рис. 35. В каком положении относительно Солнца мы видим Луну в разных фазах

Разгадка кроется в следующем. Луч, идущий от Солнца к Луне, в действительности перпендикулярен к линии, соединяющей концы месяца, и в пространстве представляет собой прямую линию. Но глаз наш рисует на небе не эту прямую, а ее проекцию на вогнутый небесный свод, т. е. кривую линию. Вот почему нам и представляется, что Луна на небе «повешена неправильно». Художник должен изучить эти особенности и уметь переносить их на полотно.

Двойная планета

Двойная планета — это Земля с Луной. Они имеют право на это название потому, что спутник наш резко выделяется среди спутников других планет значительной величиной и массой по отношению к своей центральной планете. Есть в Солнечной системе спутники *абсолютно* более крупные и более тяжелые, но по сравнению со

своей центральной планетой они гораздо мельче, чем наша Луна по отношению к Земле. В самом деле, поперечник нашей Луны больше четверти земного, а поперечник относительно самого крупного спутника других планет составляет только 10-ю долю поперечника своей планеты (Тритон — спутник Нептуна). Далее, масса Луны составляет $^{1}/_{81}$ массы Земли; между тем самый тяжелый из спутников, какой существует в Солнечной системе, — III спутник Юпитера — составляет менее 10 000-й доли массы своей центральной планеты.

Какую долю от массы центральной планеты составляет масса крупных спутников, показывает табличка ниже. Вы видите из этого сопоставления, что наша Луна по своей массе составляет самую крупную долю своей центральной планеты.

Планета	Ее спутник	Масса (в долях массы планеты)
Земля	Луна	0,0123
Юпитер	Ганимед	0,00008
Сатурн	Титан	0,00021
Уран	Титания	0,00003
Нептун	Тритон	0,00129

Третье, что дает системе Земля — Луна право притязать на наименование «двойной планеты», — это тесная близость обоих небесных тел. Многие спутники других планет кружатся на гораздо бóльших расстояниях: некоторые спутники Юпитера (например, девятый, рис. 36) кружатся в 65 раз дальше.

В связи с этим находится тот любопытный факт, что путь, описываемый Луной вокруг Солнца, очень мало отличается от пути Земли. Это покажется невероятным, если вспомнить, что Луна движется вокруг Земли на расстоянии почти 400 000 км. Не забудем, однако, что, пока Луна совершает один оборот вокруг Земли, сама Земля успевает перенестись вместе с нею примерно на 13-ю долю



Рис. 36. Система Земля — Луна по сравнению с системой Юпитера (размеры самих небесных тел показаны без соблюдения масштаба)

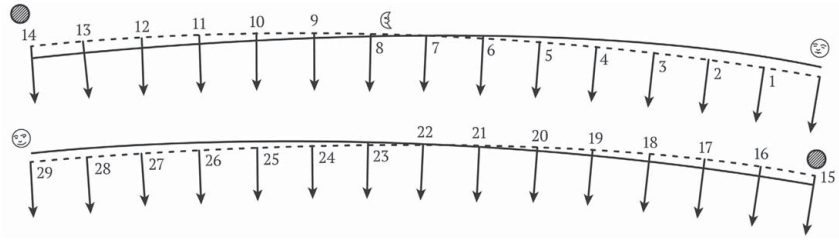


Рис. 37. Месячный путь Луны (сплошная линия) и Земли (пунктир) вокруг Солнца

своего годового пути, т. е. на 70 000 000 км. Представьте же себе круговой путь Луны — 2 500 000 км — растянутым вдоль расстояния, в 30 раз большего. Что останется от его круговой формы? Ничего. Вот почему путь Луны около Солнца почти сливается с орбитой Земли, уклоняясь от нее лишь тринадцатью едва заметными выступами. Можно доказать несложным расчетом (которым мы не станем здесь обременять изложения), что путь Луны при этом всюду обращен к Солнцу своей *вогнутостью*. Грубо говоря, он по виду похож на выпуклый тринадцатиугольник с мягко округленными углами.

На рис. 37 вы видите точное изображение путей Земли и Луны в течение одного месяца. Пунктирная линия — путь Земли, сплошная — путь Луны. Они так близки друг к другу, что для раздельного их изображения пришлось взять очень крупный масштаб чертежа: поперечник земной орбиты здесь равен $^1/_2$ м. Если бы взять для него 10 см, то наибольшее расстояние на чертеже между обоими путями было бы меньше толщины изображающих их линий. Смотря на этот чертеж, вы наглядно убеждаетесь, что Земля и Луна движутся вокруг Солнца почти по одному и тому же пути и что наименование двойной планеты присвоено им астрономами вполне справедливо*.

Итак, для наблюдателя, помещенного на Солнце, путь Луны представился бы слегка волнистой линией, почти совпадающей с орбитой Земли. Это нисколько не противоречит тому, что по отношению к Земле Луна движется по небольшому эллипсу.

Причина, конечно, в том, что, глядя с Земли, мы не замечаем переносного движения Луны вместе с Землей по земной орбите, так как сами в нем участвуем.

* Внимательно рассматривая чертеж, можно заметить, что движение Луны изображено на нем не строго равномерным. Так в действительности и есть. Луна движется вокруг Земли по эллипсу, в фокусе которого находится Земля, а потому согласно второму закону Кеплера на участках, близких к Земле, она бежит быстрее, чем на удаленных. Эксцентриситет лунной орбиты довольно велик: 0,055.

Почему Луна не падает на Солнце?

Вопрос может показаться наивным. С какой стати Луне падать на Солнце? Ведь Земля притягивает ее сильнее далекого Солнца и, естественно, заставляет обращаться вокруг себя.

Читатели, так думающие, будут удивлены, узнав, что дело обстоит как раз наоборот: Луна сильнее притягивается именно Солнцем, а не Землей!

Что это так, показывает расчет. Сравним силы, притягивающие Луну: силу Солнца и силу Земли. Обе силы зависят от двух обстоятельств: от величины притягивающей массы и от расстояния этой массы до Луны. Масса Солнца больше массы Земли в 330 000 раз; во столько же раз Солнце притягивало бы Луну сильнее, нежели Земля, если бы расстояние до Луны было в обоих случаях одинаково.

Но Солнце примерно в 400 раз дальше от Луны, чем Земля. Сила притяжения убывает пропорционально квадрату расстояния; поэтому притяжение Солнца надо уменьшить в 400^2, т. е. в 160 000 раз. Значит, солнечное притяжение сильнее земного в $\frac{333\,000}{160\,000}$, т. е. в два с лишним раза.

Итак, Луна притягивается Солнцем вдвое сильнее, чем Землей. Почему же тогда, в самом деле, Луна не обрушивается на Солнце? Почему Земля все же заставляет Луну обращаться вокруг нее, а не берет верх действие Солнца?

Луна не падает на Солнце по той же причине, по какой не падает на него и Земля; Луна обращается около Солнца вместе с Землей, и притягательное действие Солнца расходуется без остатка на то, чтобы постоянно переводить оба эти тела с прямого пути на искривленную орбиту, т. е. превращать прямолинейное движение в криволинейное. Достаточно бросить взгляд на рис. 38, чтобы убедиться в сказанном.

У иных читателей, может быть, осталось некоторое сомнение. Как же это все-таки выходит? Земля тянет Луну к себе. Солнце тянет Луну с большей силой, а Луна, вместо того чтобы падать на Солнце, кружится около Земли? Это действительно было бы странно, если бы Солнце притягивало к себе *только* Луну. Но оно притягивает Луну *вместе с Землей*, всю «двойную планету», и, так сказать, не вмешивается во внутренние отношения членов этой пары между собой. Строго говоря, к Солнцу притягивается общий центр тяжести системы Земля — Луна; этот центр (называемый барицентром) и обращается вокруг Солнца под действием солнечного притяжения. Он нахо-

дится на расстоянии $^2/_3$ земного радиуса от центра Земли по направлению к Луне. Луна и центр Земли обращаются вокруг барицентра, совершая один оборот в течение месяца.

Видимая и невидимая стороны Луны

Среди эффектов, доставляемых стереоскопом, ничто не поражает так, как вид Луны. Здесь воочию видишь, что Луна действительно шарообразна, между тем как на подлинном небе она кажется плоской, как чайный поднос.

Но как трудно получить подобную стереоскопическую фотографию нашего спутника, — многие даже не подозревают. Для изготовления ее надо быть хорошо знакомым с особенностями капризных движений ночного светила.

Дело в том, что Луна обходит Землю так, что обращена к ней все время одной и той же своей стороной. Обегая вокруг Земли, Луна вращается вместе с тем и вокруг своей оси, причем оба движения завершаются в один и тот же промежуток времени.

На рис. 38 вы видите эллипс, который должен наглядно изображать орбиту Луны. Чертеж намеренно усиливает вытянутость лунного эллипса; на самом деле эксцентриситет лунной орбиты 0,055 или $^1/_{18}$. Представить точно на маленьком чертеже лунную орбиту так, чтобы глаз отличил ее от круга, невозможно: при величине большой полуоси даже в целый метр малая полуось была бы короче ее всего на 1 мм; Земля отстояла бы от центра только на 5,5 см. Чтобы

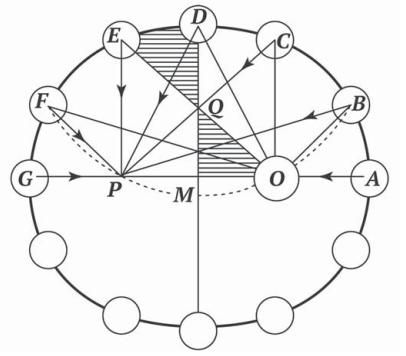


Рис. 38. Как Луна движется вокруг Земли по своей орбите (подробности в тексте)

легче было понять дальнейшее объяснение, на рисунке начерчен более вытянутый эллипс.

Итак, вообразите, что эллипс на рис. 38 есть путь Луны вокруг Земли. Земля помещена в точке *O* — в одном из фокусов эллипса. Законы Кеплера относятся не только к движениям планет вокруг Солнца, но и к движениям спутников вокруг центральных планет, в частности к обращению Луны. Согласно второму закону Кеплера Луна за четверть месяца проходит такой путь *AE*, что площадь *OABCDE* равняется $^1/_4$ площади эллипса, т. е. площади *MABCD* (равенство площадей *OAE* и *MAD* на нашем чертеже подтверждается приблизительным равенством площадей *MOQ* и *EQD*). Итак, за четверть месяца Луна проходит путь от *A* до *E*. Вращение же Луны, как и вообще вращение планет, в отличие от их обращения вокруг Солнца, происходит равномерно: за $^1/_4$ месяца она поворачивается ровно на 90°. Поэтому, когда Луна оказывается в *E*, радиус Луны, обращенный к Земле в точке *A*, опишет дугу в 90° и будет направлен не к точке *M*, а к некоторой другой точке, левее *M*, неподалеку от другого фокуса *P* лунной орбиты. Оттого что Луна чуть отвернет свое лицо от земного наблюдателя, он сможет увидеть с правой стороны узкую полоску прежде невидимой ее половины. В точке *F* Луна показывает земному наблюдателю уже более узкую полоску своей обычно невидимой стороны, потому что угол *OFP* меньше угла *OEP*. В точке *G* — в апогее орбиты — Луна занимает такое же положение по отношению к Земле, как и в перигее *A*. При дальнейшем своем движении Луна отворачивается от Земли уже в противоположную сторону, показывая нашей планете другую полоску своей невидимой стороны: полоска эта сначала расширяется, потом суживается, и в точке *A* Луна занимает прежнее положение.

Мы убедились, что вследствие эллиптической формы лунного пути спутник наш обращен к Земле не строго одной и той же своей половиной. Луна неизменно обращена одной и той же стороной не к Земле, а к другому фокусу своей орбиты. Для нас же она покачивается около среднего положения наподобие весов; отсюда и астрономическое наименование этого покачивания: «либрация» — от латинского слова «libra», означающего «весы». Величина либрации в каждой точке измеряется соответствующим углом; например, в точке *E* либрация равна углу *OEP*. Наибольшая величина либрации 7°53′, т. е. почти 8°.

Интересно проследить за тем, как нарастает и убывает угол либрации с передвижением Луны по орбите. Поставим в *D* острие цир-

куля и опишем дугу, проходящую через фокусы *O* и *P*. Она пересечет орбиту в точках *B* и *F*. Углы *OBP* и *OFP* как вписанные равны половине центрального угла *ODP*. Отсюда выводим, что при движении Луны от *A* до *D* либрация растет сначала быстро, в точке *B* достигает половины максимальной, затем продолжает нарастать медленно; на пути от *D* до *F* либрация убывает сначала медленно, потом быстро. На второй половине эллипса либрация меняет свою величину тем же темпом, но в обратную сторону. (Величина либрации в каждой точке орбиты приблизительно пропорциональна расстоянию Луны от большой оси эллипса.)

То покачивание Луны, которое мы сейчас рассмотрели, называется либрацией по долготе. Спутник наш подвержен еще и другой либрации — по широте. Плоскость лунной орбиты наклонена к плоскости экватора Луны на $6^1/_2^\circ$. Поэтому мы видим Луну с Земли в одних случаях чуть с юга, в других — с севера, заглядывая немного в «невидимую» половину Луны через ее полюсы. Эта либрация по широте достигает $6^1/_2^\circ$.

Объясним теперь, как пользуется астроном-фотограф описанными легкими покачиваниями Луны около среднего положения, чтобы получить стереоскопические снимки ее. Читатель догадывается, вероятно, что для этого надо подстеречь два таких положения Луны, при которых в одном она была бы повернута по отношению к другому на достаточный угол*. В точках *A* и *B*, *B* и *C*, *C* и *D* и т. д. Луна занимает настолько различные по отношению к Земле положения, что стереоскопические снимки возможны. Но здесь перед нами новое затруднение: в этих положениях разница в *возрасте* Луны, $1^1/_2$–2 суток, чересчур велика, так что полоска лунной поверхности возле круга освещения на одном снимке уже выходит из тени. Это для стереоскопических снимков недопустимо (полоска будет блестеть, как серебряная). Возникает трудная задача: подстеречь одинаковые фазы Луны, которые отличаются величиной либрации (по долготе) так, чтобы круг освещения проходил по одним и тем же деталям лунной поверхности. Но и этого недостаточно: в обоих положениях должны быть еще одинаковые либрации по *широте*.

---

* Для получения стереоскопического эффекта достаточен поворот Луны на 1°. (Подробнее об этом см. мою «Занимательную физику».)

Вы видите теперь, как трудно получить хорошие стереофотографии Луны, и не удивитесь, узнав, что нередко один снимок стереоскопической пары делается на несколько лет позже другого.

Наш читатель едва ли станет изготовлять лунные стереофотографии. Способ их получения объяснен здесь, конечно, не с практической целью, а лишь для того, чтобы ради него рассмотреть особенности лунного движения, дающие астрономам возможность увидеть небольшую полоску обычно недоступной наблюдателю стороны нашего спутника. Благодаря обеим лунным либрациям мы видим, в общем, не половину всей лунной поверхности, а 59% ее. До запуска в Советском Союзе третьей космической ракеты в сторону Луны 41% лунной поверхности был недоступен изучению. Как устроена эта часть поверхности Луны, никто не знал. Делались остроумные попытки, продолжив обратно части лунных хребтов и светлые полосы, переходящие с невидимой части Луны на видимую, набросать гадательно некоторые подробности недоступной нам половины. В результате запуска 4 октября 1959 г. автоматической межпланетной станции «Луна-3» получены фотографии обратной стороны Луны. Советские ученые получили право дать названия вновь открытым лунным образованиям. Кратеры названы именами выдающихся деятелей науки и культуры — Ломоносова, Циолковского, Жолио-Кюри и других, присвоены названия двум новым морям — Морю Москвы и Морю Мечты. Вторично обратная сторона Луны была сфотографирована советской станцией «Зонд-3», запущенной 18 июля 1965 г.

В 1966 г. «Луна-9» мягко прилунилась и передала на Землю изображение лунного пейзажа. В 1969 г. лунному Морю Спокойствия пришлось испытать беспокойство. На сухое дно этого «моря» опустилась посадочная кабина американского космического корабля «Аполлон-11». Астронавты Нейл Армстронг и Эдвин Олдрин стали первыми землянами, которые ступили на поверхность Луны. Они установили несколько приборов, взяли образцы лунного грунта и вернулись на корабль, ожидавший их на орбите. Пилотировал «Аполлон-11» Майкл Коллинз. До конца 1972 г. на Луне побывали еще пять американских экспедиций.

Одновременно в СССР запускались к Луне автоматические станции. В 1970 г. «Луна-16», опустившись на поверхность Луны, впервые взяла образцы лунного грунта и доставила их на Землю. В том же году «Луна-17» выпустила на поверхность нашего спутника самоходный «Луноход-1». Этот восьмиколесный робот, похожий одновременно на черепаху и на армейскую полевую кухню, за 301 сутки прошел почти 11 километров и передал на Землю 20 000 снимков, 200 панорам и в 500 точках проводил исследование грунта.

Чуть позже «Луна-20» привезла на Землю образцы грунта из горного района Луны, недоступного для астронавтов. В 1973 г. «Луна-21» отправила в поход «Луноход-2», который за 4,5 месяца проехал 37 км, исследуя рельеф местности и состав грунта. Оба колесных робота управлялись с Земли по радио и систематически передавали в ЦУП снимки лунных пейзажей, результаты анализа грунта. Автоматическая станция «Луна-24» (1976 г.) пробурила лунный грунт на глубину 2 м и доставила 170 г его образцов на Землю.

Высказываемая нередко мысль о существовании атмосферы и воды на обратной стороне Луны не обоснована и противоречит законам физики: если нет атмосферы и воды на одной стороне Луны, то не может быть их и на другой (к этому вопросу мы еще вернемся).

Вторая Луна и луна Луны

В печати время от времени появляются сообщения, что тому или иному наблюдателю удалось видеть второй спутник Земли, вторую ее Луну.

Вопрос о существовании второго спутника Земли не нов. Он имеет за собой длинную историю. Кто читал роман Жюля Верна «Из пушки на Луну», тот помнит, вероятно, что уже там упоминается о второй Луне. Она так мала и скорость ее так велика, что жители Земли наблюдать ее не могут. Французский астроном Пти, говорит Жюль Верн, заподозрил ее существование и определил период ее обращения вокруг Земли в 3 ч. 20 м. Расстояние ее от поверхности Земли равно 8140 км. Любопытно, что английский журнал «Знание», в статье об астрономии у Жюля Верна, считает ссылку на Пти, как и самого Пти, попросту вымышленными. Ни в одной энциклопедии об этом астрономе действительно не упоминается. И все-таки сообщение романиста не вымышлено. Директор Тулузской обсерватории Пти в 1850-х гг. действительно отстаивал существование второй Луны — метеорита с периодом обращения в 3 ч. 20 м., кружащегося, правда, не в 8000, а в 5000 км от земной поверхности. Мнение это разделялось и тогда лишь немногими астрономами, впоследствии же было совершенно забыто. Теоретически в допущении существования второго, очень мелкого спутника Земли нет ничего противонаучного. Но подобное небесное тело должно было бы наблюдаться не только в те редкие моменты, когда оно проходит (кажущимся образом) по диску Луны или Солнца. Даже если оно обращается так близко к Земле, что должно при каждом обороте погружаться в широкую земную

тень, то и в таком случае можно было бы его видеть на утреннем и вечернем небе сияющим яркой звездой в лучах Солнца. Быстрым движением и частыми возвращениями звезда эта привлекла бы к себе внимание многих наблюдателей. В моменты полного солнечного затмения вторая Луна также не ускользнула бы от взора астрономов. Словом, если бы Земля действительно обладала вторым спутником, его случалось бы наблюдать довольно часто. Между тем бесспорных наблюдений не было ни одного.

Строго говоря, у Земли имеются, кроме Луны, еще два спутника. Не искусственных, а вполне естественных. И не крошечных, а такого же размера, как и сама Луна. Но хотя эти «Луны» были открыты уже давно (в 1956 г., польским астрономом Кордылевским), видеть их очень мало кому удавалось. Все дело в том, что эти спутники целиком состоят из пыли. Эти пылевые «Луны» перемещаются среди звезд по той же трассе, что и настоящая Луна, и с той же скоростью. Одна опережает Луну на 60 градусов, другая на столько же отстает. И от Земли их отделяет такое же расстояние, как и Луну. Края этих «Лун» размыты, что очень затрудняет наблюдение.

Наряду с проблемой второй Луны ставился также вопрос о том, нет ли у нашей Луны своего маленького спутника — «луны Луны».

Но непосредственно удостовериться в существовании подобного лунного спутника очень трудно. Астроном Мультон высказывает об этом следующие соображения:

«Когда Луна светит полным светом, ее свет или свет Солнца не позволяют различить в соседстве с нею очень маленькое тело. Только в моменты лунных затмений спутник Луны мог бы освещаться Солнцем, в то время как соседние участки неба были бы свободны от влияния рассеянного света Луны. Таким образом, лишь во время лунных затмений можно было бы надеяться открыть небольшое тело, обращающееся около Луны. Такого рода исследования уже производились, но реальных результатов не дали».

Почему на Луне нет атмосферы?

Вопрос этот принадлежит к тем, которые уясняются, если сначала их, так сказать, перевернуть. Прежде чем говорить о том, почему Луна не удерживает вокруг себя атмосферу, поставим вопрос: почему удерживается атмосфера вокруг нашей собственной планеты? Вспом-

ним, что воздух, как и всякий газ, представляет хаос не связанных между собой молекул, стремительно движущихся в различных направлениях. Средняя их скорость при $t = 0°$ С — около $^1/_2$ км/с (скорость ружейной пули). Почему же не разлетаются они в мировое пространство? По той же причине, по какой не улетает в мировое пространство и ружейная пуля. Истощив энергию своего движения на преодоление силы тяжести, молекулы падают обратно на Землю. Вообразите близ земной поверхности молекулу, летящую отвесно вверх со скоростью $^1/_2$ км/с. Как высоко может она взлететь? Нетрудно вычислить: скорость v, высота подъема h и ускорение силы тяжести g связаны следующей формулой:

$$v^2 = 2gh.$$

Подставим вместо v его значение — 500 м/с, вместо g — 10 м/с^2, имеем

$$250\,000 = 20h,$$

откуда

$$h = 12\,500 \text{ м} = 12^1/_2 \text{ км}.$$

Но если молекулы воздуха не могут взлетать выше $12^1/_2$ км, то откуда берутся воздушные молекулы выше этой границы? Ведь кислород, входящий в состав нашей атмосферы, образовался близ земной поверхности (из углекислого газа в результате деятельности растений). Какая же сила подняла и удерживает их на высоте 500 и более километров, где безусловно установлено присутствие следов воздуха? Физика дает здесь тот же ответ, какой услышали бы мы от статистика, если бы спросили его: «Средняя продолжительность человеческой жизни 70 лет; откуда же берутся 80-летние старики?» Все дело в том, что выполненный нами расчет относится к *средней*, а не реальной молекуле. Средняя молекула обладает секундной скоростью в $^1/_2$ км, но реальные молекулы движутся одни медленнее, другие быстрее средней. Правда, процент молекул, скорость которых заметно отклоняется от средней, невелик и быстро убывает с возрастанием величины этого отклонения. Из всего числа молекул, заключающихся в данном объеме кислорода при 0°, только 20% обладают скоростью от 400 до 500 м/с; приблизительно столько же молекул движется со скоростью 300–400 м/с, 17% — со скоростью 200–300 м/с, 9% — со скоростью 600–700 м/с, 8% — со скоростью 700–800 м/с, 1% — со скоростью 1300–1400 м/с. Небольшая часть

(меньше миллионной доли) молекул имеет скорость 3500 м/с, а эта скорость достаточна, чтобы молекулы могли взлететь даже на высоту 600 км.

Действительно, $3500^2 = 20h$, откуда $h = \frac{12\,250\,000}{20}$, т. е. свыше 600 км.

Становится понятным присутствие частиц кислорода на высоте сотен километров над земной поверхностью: это вытекает из физических свойств газов. Молекулы кислорода, азота, водяного пара, углекислого газа не обладают, однако, скоростями, которые позволили бы им совсем покинуть земной шар. Для этого нужна скорость не меньше 11 км/с, а подобными скоростями при невысоких температурах обладают только единичные молекулы названных газов. Вот почему Земля так прочно удерживает свою атмосферную оболочку. Вычислено, что для потери половины запаса даже самого легкого из газов земной атмосферы — водорода — должно пройти число лет, выражающееся 25 цифрами. Миллионы лет не внесут никакого изменения в состав и массу земной атмосферы.

Чтобы разъяснить теперь, почему Луна не может удерживать вокруг себя подобной же атмосферы, остается досказать немного.

Напряжение силы тяжести на Луне в шесть раз слабее, чем на Земле; соответственно этому скорость, необходимая для преодоления там силы тяжести, тоже меньше и равна всего 2360 м/с. А так как скорость молекул кислорода и азота при умеренной температуре может превышать эту величину, то понятно, что Луна должна была бы непрерывно терять свою атмосферу, если бы она у нее образовывалась.

Когда улетучатся наиболее быстрые из молекул, критическую скорость приобретут другие молекулы (таково следствие закона распределения скоростей между частицами газа), и в мировое пространство должны безвозвратно ускользать всё новые и новые частицы атмосферной оболочки.

По истечении достаточного промежутка времени, ничтожного в масштабе мироздания, вся атмосфера покинет поверхность столь слабо притягивающего небесного тела.

Можно доказать математически, что если средняя скорость молекул в атмосфере планеты даже втрое меньше предельной (т. е. составляет для Луны 2360 : 3 = 790 м/с), то такая атмосфера должна наполовину рассеяться в течение нескольких недель. (Устойчиво сохраняться атмосфера небесного тела может лишь при условии, что средняя скорость ее молекул меньше одной пятой доли от предельной скорости.)

Высказывалась мысль — вернее, мечта, — что со временем, когда земное человечество посетит и покорит Луну, оно окружит ее искусственной атмосферой и сделает таким образом пригодной для обитания. После сказанного читателю должна быть ясна несбыточность подобного предприятия.

Отсутствие атмосферы у нашего спутника — не случайность, не каприз природы, а закономерное следствие физических законов.

Понятно также, что причины, по которым невозможно существование атмосферы на Луне, должны обусловливать ее отсутствие вообще на всех мировых телах со слабым напряжением силы тяжести: на астероидах и на большинстве спутников планет.

Размеры лунного мира

Об этом, конечно, с полной определенностью говорят числовые данные: величина диаметра Луны (3500 км), поверхности, объема. Но числа, незаменимые при расчетах, бессильны дать то наглядное представление о размерах, какого требует наше воображение. Полезно будет обратиться для этого к конкретным сопоставлениям.

Сравним лунный материк (ведь Луна — сплошной материк) с материками земного шара (рис. 39). Это скажет нам больше, нежели

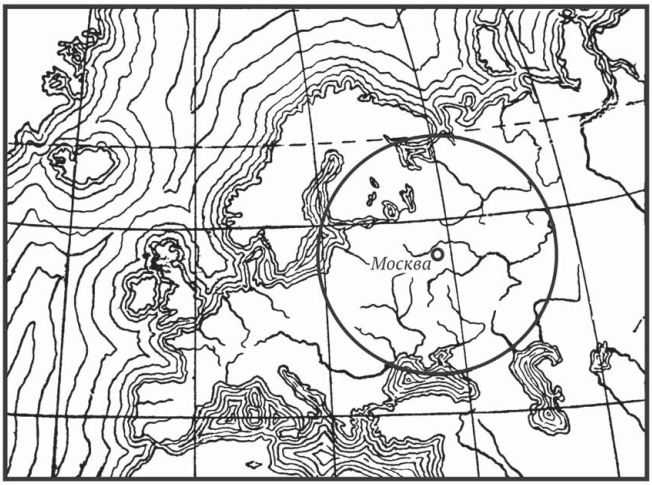


Рис. 39. Размеры Луны по сравнению с материком Европы (не следует, однако, заключать, что поверхность лунного шара меньше поверхности Европы)



Рис. 40. Земные моря по сравнению с лунными. Черное и Каспийское моря, перенесенные на Луну, были бы там больше всех лунных морей

отвлеченное утверждение, что полная поверхность лунного шара в 14 раз меньше земной поверхности. По числу квадратных километров поверхность нашего спутника лишь немногим меньше поверхности обеих Америк. А та часть Луны, которая обращена к Земле и доступна нашему наблюдению, почти в точности равна площади Южной Америки.

Чтобы сделать наглядными размеры лунных «морей» по сравнению с земными, на рис. 40 на карту Луны наложены в том же масштабе контуры Черного и Каспийского морей. Сразу видно, что лунные «моря» не особенно велики, хотя и занимают заметную часть диска. Море Ясности (170 000 км^2), например, приблизительно в $2\frac{1}{2}$ раза меньше Каспийского.

Зато среди кольцевых гор Луны имеются подлинные гиганты, каких нет на Земле. Например, круговой вал горы Гримальди охватывает поверхность, бóльшую, нежели площадь озера Байкал. Внутри этой горы могло бы целиком поместиться небольшое государство, например Бельгия или Швейцария.

Лунные пейзажи

Фотографии лунной поверхности воспроизводятся в книгах так часто, что вид характерных особенностей лунного рельефа — кольцевых гор (рис. 41), «кратеров» — знако́м, вероятно, каждому из наших читателей. Возможно, что иные наблюдали лунные горы и в небольшую трубу; для этого достаточна труба с объективом в 3 см.

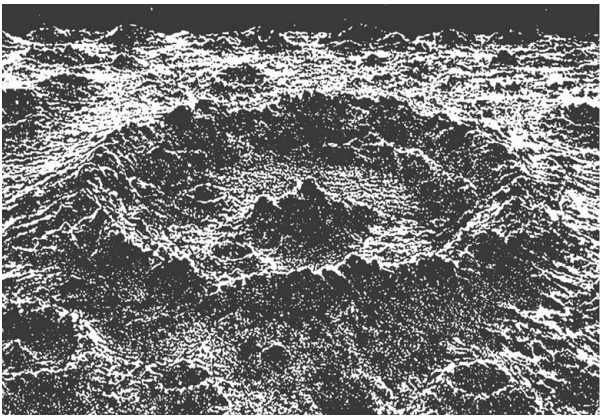


Рис. 41. Типичные кольцевые горы Луны

Но ни фотографии, ни наблюдения в телескоп не дают представления о том, какой казалась бы лунная поверхность наблюдателю на самой Луне. Стоя непосредственно возле лунных гор, наблюдатель видел бы их в иной перспективе, чем в телескоп. Одно дело рассматривать предмет с большой высоты и совсем иное — сбоку вблизи. Покажем на нескольких примерах, в чем проявляется это различие. Гора Эратосфен представляется с Земли в виде кольцевого вала с пиком внутри. В телескоп она вырисовывается рельефно и резко благодаря четким, не размытым теням. Взгляните, однако, на ее профиль (рис. 42): вы видите, что по сравнению с огромным поперечником

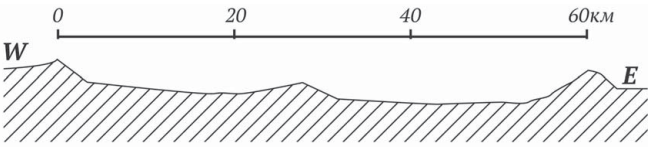


Рис. 42. Профиль большой кольцевой горы

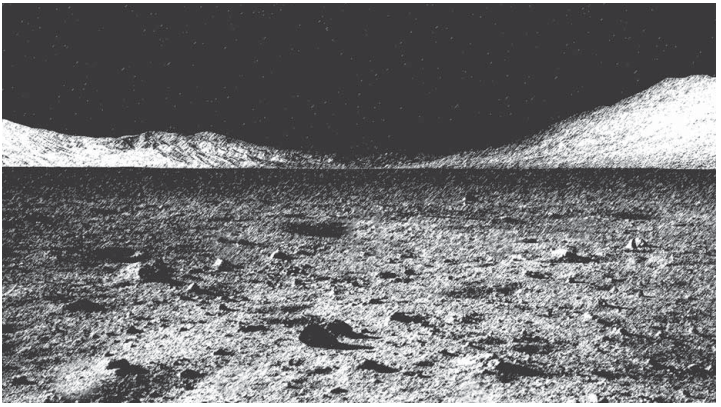


Рис. 43. Какую картину увидел бы наблюдатель, стоящий в центре большой кольцевой горы на Луне

кратера — 60 км — высота вала и внутреннего конуса очень мала; отлогость склонов еще более скрадывает их высоту.

Вообразите себя теперь бродящим внутри этого кратера и помните, что поперечник его равен расстоянию от Ладожского озера до Финского залива. Едва ли уловите вы тогда кольцеобразную форму вала; к тому же выпуклость почвы скроет от вас его нижнюю часть, так как лунный горизонт вдвое теснее земного (соответственно вчетверо меньшему диаметру лунного шара). На Земле человек среднего роста, стоя на ровной местности, может видеть вокруг себя не далее 5 км. Это вытекает из формулы дальности горизонта*

$$D = \sqrt{2Rh},$$

где D — дальность в км, h — высота глаза в км, R — радиус планеты в км.

Подставив в нее данные для Земли и для Луны, узна́ем, что для человека среднего роста дальность горизонта

на Земле ..... 4,8 км,
на Луне ..... 2,5 км.

Какая картина представилась бы наблюдателю внутри большого лунного кратера, показывает рис. 43. (Ландшафт изображен для другого большого кратера — Архимеда.) Не правда ли: обширная рав-

* О вычислении дальности горизонта см. мою «Занимательную геометрию», главу «Где небо с землею сходятся».



Рис. 44. Половина горошины отбрасывает при косом освещении длинную тень

нина с цепью холмов на горизонте мало похожа на то, что обычно представляют себе при словах «лунный кратер»?

Очутившись по другую сторону вала, вне кратера, наблюдатель также увидел бы не то, что ожидает. Наружный скат кольцевой горы (ср. рис. 42) поднимается столь отлого, что путнику она вовсе не представится горой, а главное, он не сможет убедиться, что видимая им холмистая гряда есть кольцевая гора, имеющая круглую котловину. Для этого придется перебраться через ее гребень, да и тут, как мы уже объяснили, лунного альпиниста не ожидает ничего примечательного.

Кроме огромных кольцевых лунных гор, на Луне имеется, правда, и множество мелких кратеров, которые легко охватить взором, даже стоя в непосредственной близи. Но высота их ничтожна; наблюдатель едва ли будет здесь поражен чем-либо необычайным. Зато лунные горные хребты, носящие название земных гор: Альпы, Кавказ, Апеннины и т. д., соперничают с земными по высоте и достигают 7–8 км. На сравнительно маленькой Луне они выглядят весьма внушительно.

Отсутствие атмосферы на Луне и связанная с этим резкость теней создают при наблюдении в трубу любопытную иллюзию: малейшие неровности почвы усиливаются и представляются весьма рельефными. Положите половину горошины выпуклостью вверх. Велика ли она? А посмотрите, какую длинную тень она отбрасывает (рис. 44). При боковом освещении на Луне тень бывает в 20 раз больше высоты того тела, которое ее отбрасывает, и это сослужило астрономам хорошую службу: благодаря длинным теням можно наблюдать в телескоп на Луне предметы высотой в 30 м. Но то же обстоятельство заставляет нас преувеличивать неровности лунной почвы. Гора Пико, например, так резко обрисовывается в телескоп, что невольно представляешь ее себе в виде острой и крутой скалы (рис. 45). Так ее и изображали в прежнее время. Но, наблюдая ее с лунной поверхности, вы увидели бы совсем иную картину, — то, что изображено на рис. 46.

Зато другие особенности лунного рельефа нами, наоборот, недооцениваются. В телескоп мы наблюдаем на поверхности Луны тонкие, едва заметные трещины, и нам кажется, что они не могут играть существенной роли в лунном пейзаже.

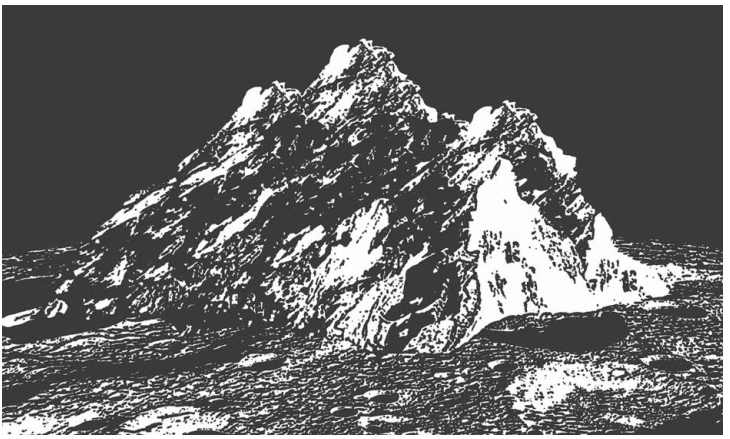


Рис. 45. Гору Пико раньше считали крутой и острой



Рис. 46. На самом деле гора Пико имеет очень отлогие склоны

Но, перенесенные на поверхность нашего спутника, мы увидели бы в этих местах у своих ног глубокую черную пропасть, простирающуюся далеко за горизонт. Еще пример. На Луне есть так называемая «Прямая стена» — отвесный уступ, прорезывающий одну из ее равнин. Видя эту стену в телескоп (рис. 47), мы забываем, что она имеет 300 м высоты; находясь у основания стены, мы были бы подавлены ее грандиозностью. На рис. 48 художник попытался изобразить эту отвесную стену, видимую снизу: ее конец теряется где-то за

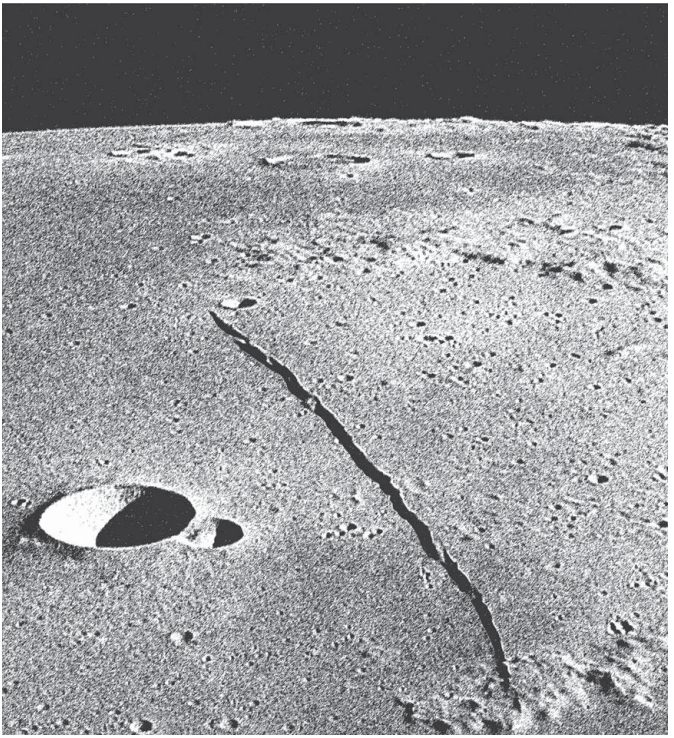


Рис. 47. Так называемая «Прямая стена» на Луне; вид в телескоп

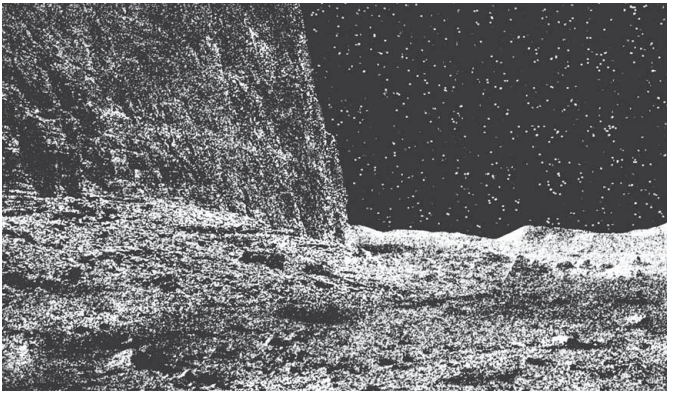


Рис. 48. Какой должна казаться «Прямая стена» наблюдателю, находящемуся близ ее основания



Рис. 49. Одна из лунных «трещин», наблюдаемая в непосредственной близости

горизонтом: ведь она тянется на 100 км! Точно так же и тонкие трещины, различаемые в сильный телескоп на лунной поверхности, должны в натуре представлять огромные провалы (рис. 49).

Лунное небо

Черный небосвод

Если бы житель Земли мог очутиться на Луне, внимание его привлекли бы прежде других три необычайных обстоятельства.

Сразу же бросился бы в глаза странный цвет дневного неба на Луне: вместо привычного голубого купола расстилался бы совершенно черный небосвод, усеянный — при ярком сиянии Солнца! — множеством звезд, четко выделяющихся, но совершенно не мерцающих. Причина этого явления заключается в отсутствии на Луне атмосферы*.

«Голубой свод ясного и чистого неба, — говорит Фламмарион свойственным ему живописным языком, — нежный румянец зорь, величественное зарево вечерних сумерек, чарующая красота пустынь, туманная даль полей и лугов, и вы, зеркальные воды озер, издревле

* Первый в мире человек, совершивший замечательный космический рейс, советский летчик-космонавт Ю. А. Гагарин во время полета на корабле-спутнике «Восток» 12 апреля 1961 г. видел именно такую картину. Ю. А. Гагарин рассказывает: «...Картина горизонта очень своеобразна и красива. Можно видеть необыкновенный по красочности переход от светлой поверхности Земли к совершенно черному небу, на котором видны звезды... Солнце в космосе светит в несколько десятков раз ярче, чем у нас на Земле. Звезды видны очень хорошо: они яркие, четкие. Вся картина небосвода значительно контрастнее, чем мы видим ее с нашей Земли». — *Примеч. ред.*

отражающие в себе далекие лазурные небеса, вмещающие целую бесконечность в своих глубинах, — ваше существование и вся красота ваша зависят исключительно лишь от той легкой оболочки, которая простирается над земным шаром. Без нее ни одной из этих картин, ни одной из этих пышных красок не существовало бы. Вместо лазурно-голубого неба вас окружало бы беспредельное черное пространство; вместо величественных восходов и закатов Солнца дни резко, без переходов, сменялись бы ночами и ночи — днями. Вместо нежного полусвета, царящего всюду, куда прямо не попадают ослепительные лучи Солнца, яркий свет был бы лишь в местах, прямо озаренных дневным светилом, а во всех остальных царила бы густая тень».

Земля на небе Луны

Вторая достопримечательность на Луне — висящий в небе огромный диск Земли. Путешественнику покажется странным, что тот земной шар, который при отлете на Луну был оставлен *внизу*, неожиданно очутился здесь *вверху*.

Во Вселенной нет одного для всех миров верха и низа, и вас не должно удивлять, что, оставив Землю внизу, вы увидели бы ее вверху, находясь на Луне.

Висящий в лунном небе диск Земли огромен: поперечник его приблизительно вчетверо больше поперечника знакомого нам лунного диска на земном небе. Это — третий поражающий факт, который ожидает лунного путешественника. Если в лунные ночи ландшафты наши достаточно хорошо освещены, то ночи на Луне, при лучах полной Земли с диском в 14 раз большим лунного, должны быть необычайно светлы. Яркость светила зависит не только от его диаметра, но и от отражательной способности его поверхности. В этом отношении земная поверхность в шесть раз превосходит лунную*; поэтому свет полной Земли должен освещать Луну в 90 раз сильнее, чем полный месяц освещает Землю. В «земные ночи» на Луне можно было бы читать мелкую печать. Освещение лунной почвы Землей настолько ярко, что позволяет нам с расстояния 400 000 км различать

* Лунная почва, следовательно, вовсе не белая, как часто думают, а скорее темная. Это не противоречит тому факту, что она сияет белым светом. «Солнечный свет, отраженный даже от черного предмета, остается белым. Если бы Луна была одета в самый черный бархат, она все-таки красовалась бы на небе как серебристый диск», — пишет Тиндаль в своей книге о свете. Способность лунной почвы рассеивать озаряющие ее солнечные лучи в среднем одинакова с рассеивающей способностью темных вулканических пород.

ночную часть лунного шара в виде неясного мерцания внутри узкого серпа; оно носит название «пепельного света» Луны. Вообразите 90 полных лун, льющих с неба свой свет, да примите еще во внимание отсутствие на нашем спутнике атмосферы, поглощающей часть света, и вы получите некоторое представление о феерической картине лунных пейзажей, залитых среди ночи сиянием полной Земли.

Мог ли бы лунный наблюдатель различать на земном диске очертания материков и океанов? Распространено ошибочное мнение, будто Земля в небе Луны представляет нечто похожее на школьный глобус. Так ее и изображают художники, когда им приходится рисовать земной шар в мировом пространстве: с контурами материков, со снежной шапкой в полярных областях и т. п. подробностями. Все это надо отнести к области фантазии. На земном шаре при наблюдении извне нельзя различать таких деталей. Не говоря уже об облаках, обычно застилающих половину земной поверхности, сама атмосфера наша сильно рассеивает солнечные лучи; поэтому Земля должна казаться столь же яркой и столь же непроницаемой для взора, как Венера. Исследовавший этот вопрос пулковский астроном Г. А. Тихов писал:

> «Смотря на Землю из пространства, мы увидели бы диск цвета сильно белесоватого неба и едва ли различили бы какие-либо подробности самой поверхности. Значительная доля падающего на Землю солнечного света успевает рассеяться в пространстве атмосферой и всеми ее примесями раньше, чем дойдет до поверхности самой Земли. А то, что отражается самою поверхностью, успеет опять-таки сильно ослабеть вследствие нового рассеяния в атмосфере».

Итак, в то время как Луна отчетливо показывает нам все подробности своей поверхности, Земля скрывает свое лицо от Луны, да и от всей Вселенной под сияющим покрывалом атмосферы.

Но не только этим отличается лунное ночное светило от земного. На нашем небе месяц восходит и заходит, описывая свой путь вместе со звездным куполом. На лунном небе Земля такого движения не совершает. Она не восходит там и не заходит, не принимает участия в стройном, чрезвычайно медленном шествии звезд. Почти неподвижно висит она на небе, занимая для каждого пункта Луны определенное положение, в то время как звезды медленно *скользят позади нее*. Это — следствие уже рассмотренной нами особенности лунного движения, состоящей в том, что Луна обращена к Земле всегда одной и той же частью своей поверхности. Для лунного наблюдателя Земля почти неподвижно висит на небесном своде. Если

Земля стоит в зените какого-нибудь лунного кратера, то она никогда не покидает своего зенитного положения. Если с какого-нибудь пункта она видна на горизонте, она вечно остается на горизонте этого места. Только лунные либрации, о которых мы уже беседовали, несколько нарушают эту неподвижность. Звездное небо совершает позади земного диска свое медленное, в $27^1/_3$ наших суток, вращение, Солнце обходит небо в $29^1/_2$ суток, планеты совершают подобные же движения, и лишь одна Земля почти неподвижно покоится на черном небе.

Но, оставаясь на одном месте, Земля быстро, в 24 часа, вращается вокруг своей оси, и, если бы наша атмосфера была прозрачна, Земля могла бы служить для будущих пассажиров межпланетных кораблей удобнейшими небесными часами. Кроме того, Земля имеет такие же фазы, какие показывает Луна на нашем небе. Значит, наш мир не всегда сияет на лунном небе полным диском: он появляется то в виде полукруга, то в виде серпа, более или менее узкого, то в виде неполного круга, смотря по тому, какая часть озаренной Солнцем половины Земли обращена к Луне. Начертив взаимное расположение Солнца, Земли и Луны, вы легко убедитесь, что Земля и Луна должны показывать друг другу *противоположные* фазы.

Когда мы наблюдаем новолуние, лунный наблюдатель должен видеть полный диск Земли — «полноземлие»; напротив, когда у нас полнолуние, на Луне «новоземлие» (рис. 50). Когда мы видим узкий серп молодого месяца, с Луны можно было бы любоваться Землей на ущербе, причем до полного диска не хватает как раз такого серпа, какой показывает нам в этот момент Луна. Впрочем, фазы Земли очерчены не так резко, как лунные: земная атмосфера размывает границу света, создает тот постепенный переход от дня к ночи и обратно,



Рис. 50. «Новоземлие» на Луне. Черный диск Земли окружен яркой каймой сияющей земной атмосферы

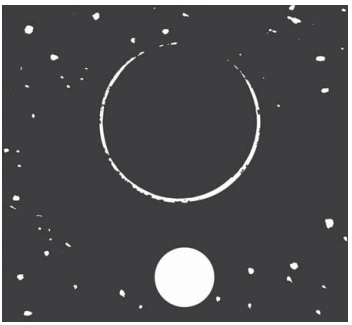


Рис. 51. «Молодая» Земля на небе Луны. Белый кружок под земным серпом — Солнце

который мы на Земле наблюдаем в виде сумерек.

Другое отличие земных фаз от лунных состоит в следующем. На Земле мы никогда не видим Луну в самый момент новолуния. Хотя она обычно стоит при этом выше или ниже Солнца (иногда на 5°, т. е. на 10 своих поперечников), так что узкий, озаренный Солнцем край лунного шара мог бы быть виден, — он все же недоступен нашему зрению: блеск Солнца забивает скромное сияние серебряной нити новой Луны. Мы замечаем новую Луну обычно лишь в возрасте двух суток, когда она успевает отойти на достаточное расстояние от Солнца, и лишь в редких случаях (весной) — в возрасте одних суток. Не то бывает при наблюдении «новоземлия» с Луны: там нет атмосферы, рассеивающей вокруг дневного светила сияющий ореол. Звезды и планеты не теряются там в лучах Солнца, а четко выделяются на небе в непосредственном соседстве с ним. Поэтому, когда Земля оказывается не прямо перед Солнцем (т. е. не в моменты затмений), а несколько выше или ниже его, она всегда видна на черном, усеянном звездами небе нашего спутника в форме тонкого серпа с рогами, обращенными от Солнца (рис. 51). По мере отхода от Земли влево от Солнца серп словно перекатывается вправо.

Явление, соответствующее сейчас описанному, можно видеть, наблюдая Луну в небольшую трубу: в полнолуние диск ночного светила не усматривается нами в виде полного круга; так как центры Луны и Солнца не лежат на одной прямой с глазом наблюдателя, то на лунном диске не хватает узкого серпа, который темной полоской скользит близ края освещенного диска влево по мере отхода Луны вправо. Но Земля и Луна всегда показывают друг другу противоположные фазы; поэтому в описанный момент лунный наблюдатель должен был бы видеть тонкий серп «новоземлия».

Мы заметили уже вскользь, что либрации Луны должны сказываться в том, что Земля не совсем неподвижна на лунном небе: она колеблется около среднего положения в северо-южном направлении на 14°, а в западно-восточном — на 16°. Для тех пунктов Луны, где Земля видна на самом горизонте, планета наша должна поэтому ка-

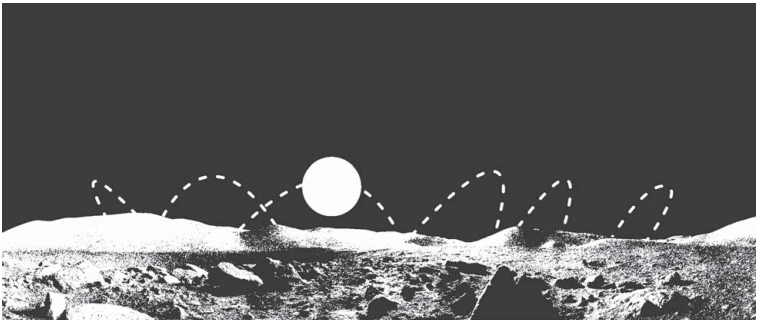


Рис. 52. Медленные движения Земли близ лунного горизонта вследствие либрации. Пунктирные линии — путь центра земного диска

заться иногда заходящей и вскоре затем вновь восходящей, описывая странные кривые (рис. 52). Такой своеобразный восход или заход Земли в одном месте горизонта, без обхода всего неба, может длиться много земных суток.

Затмения на Луне

Набросанную сейчас картину лунного неба дополним описанием тех небесных зрелищ, которые называются *затмениями.* На Луне бывают затмения двух родов: солнечные и «земные». Первые не похожи на знакомые нам солнечные затмения, но по-своему чрезвычайно эффектны. Они происходят на Луне в те моменты, когда на Земле бывают затмения лунные, так как тогда Земля помещается на линии, соединяющей центры Солнца и Луны. Наш спутник погружается в эти моменты внутрь тени, отбрасываемой земным шаром. Кому случалось видеть Луну в такие моменты, тот знает, что она не совсем лишается света, не исчезает для глаза; она бывает видна обычно в вишнево-красных лучах, проникающих внутрь конуса земной тени. Если бы мы перенеслись в этот момент на поверхность Луны и взглянули оттуда на Землю, то ясно поняли бы причину красного освещения: на небе Луны земной шар, помещаясь впереди яркого, хотя и гораздо меньшего Солнца, представляется черным диском, окруженным багровой каймой своей атмосферы. Эта-то кайма и освещает красноватым светом погруженную в тень Луну (рис. 53).

Затмения Солнца длятся на Луне не несколько минут, как на Земле, а более 4 часов — столько, сколько у нас лунные, потому что, в сущности, это и есть наши лунные затмения, только наблюдаемые не с Земли, а с Луны.

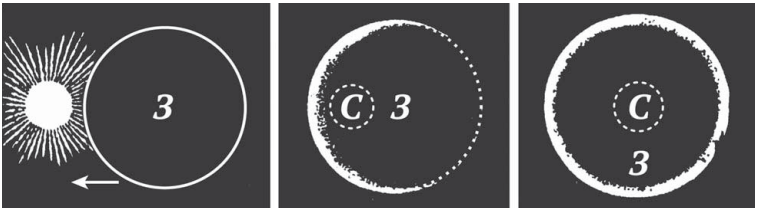


Рис. 53. Ход солнечного затмения на Луне: Солнце *С* постепенно заходит за земной диск *З*, неподвижно висящий на лунном небе

Что же касается затмений «земных», то они так мизерны, что едва заслуживают наименования затмений. Они происходят в те моменты, когда на Земле видны солнечные затмения. На большом диске Земли лунные наблюдатели видели бы тогда маленький движущийся черный кружок — то счастливые участки земной поверхности, откуда можно любоваться затмением Солнца.

Надо заметить, что таких затмений, как наши солнечные, нельзя наблюдать вообще ни в каком другом месте планетной системы. Этим исключительным зрелищем обязаны мы случайному обстоятельству: Луна, заслоняющая от нас Солнце, ровно во столько раз ближе к нам, нежели Солнце, во сколько раз лунный поперечник меньше солнечного, — совпадение, не повторяющееся ни на какой иной планете.

Для чего астрономы наблюдают затмения?

Благодаря сейчас отмеченной случайности длинный конус тени, которую постоянно влачит за собой наш спутник, доходит как раз до земной поверхности (рис. 54). Собственно говоря, *средняя* длина конуса лунной тени меньше *среднего* расстояния Луны от Земли, и если

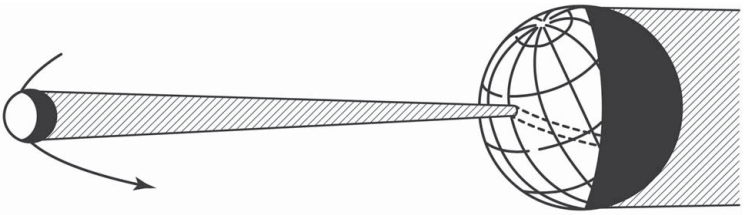


Рис. 54. Конец конуса лунной тени скользит по земной поверхности; в покрытых им местах наблюдается солнечное затмение

бы мы имели дело только со средними величинами, то пришли бы к выводу, что полных солнечных затмений у нас никогда не бывает. Они случаются в действительности потому, что Луна движется вокруг Земли по эллипсу и в одних частях орбиты бывает на 42 200 км ближе к поверхности Земли, чем в других: расстояние Луны меняется от 363 300 до 405 500 км.

Скользя по земной поверхности, конец лунной тени чертит на ней «полосу видимости солнечного затмения». Полоса эта не шире 300 км, так что число населенных мест, награждаемых зрелищем солнечного затмения, каждый раз довольно ограниченно. Если прибавить к этому, что продолжительность полного солнечного затмения исчисляется минутами (не более восьми), то станет понятным, что полное солнечное затмение — зрелище чрезвычайно редкое. Для каждого данного пункта земного шара оно случается один раз в два-три столетия.

Ученые буквально охотятся поэтому за солнечными затмениями, снаряжая специальные экспедиции в те, иной раз весьма отдаленные для них, места земного шара, откуда это явление можно наблюдать. Затмение Солнца 1936 г. (19 июня) видно было как полное только в пределах Советского Союза, и ради двухминутного наблюдения его к нам приехало 70 иностранных ученых из десяти различных государств. При этом труды четырех экспедиций пропали даром из-за пасмурной погоды. Размах работ советских астрономов по наблюдению этого затмения был чрезвычайно большим. Советских экспедиций в полосу полного затмения было послано около 30.

В 1941 г., несмотря на войну, Советское правительство организовало ряд экспедиций, расположившихся вдоль полосы полного затмения от Азовского моря до Алма-Аты. А в 1947 г. советская экспедиция отправилась в Бразилию для наблюдения полного затмения 20 мая. Особенно большой размах приняли в СССР наблюдения солнечных затмений 25 февраля 1952 г., 30 июня 1954 г. и 15 февраля 1961 г. 30 мая 1965 г. советская экспедиция наблюдала затмение на крошечном острове Мануаэ в юго-западной части Тихого океана.

Затмения лунные хотя и случаются в полтора раза реже солнечных, но *наблюдаются* гораздо чаще. Этот астрономический парадокс объясняется очень просто.

Солнечное затмение можно наблюдать на нашей планете лишь в ограниченной зоне, для которой Солнце заслоняется Луной; в пределах этой узкой полосы оно для одних точек — полное, для других — частное (т. е. Солнце заслоняется лишь частично). Момент

наступления солнечного затмения также неодинаков для различных пунктов полосы не потому, что существует различие в счете времени, а потому, что лунная тень перемещается по земной поверхности и разные точки покрываются ею в разное время.

Совсем иначе протекает затмение лунное. Оно наблюдается сразу на всей половине земного шара, где в это время Луна видна, т. е. стоит над горизонтом. Последовательные фазы лунного затмения наступают для всех точек земной поверхности в один и тот же момент; разница обусловлена лишь различием в счете времени.

Вот почему за лунными затмениями астроному не надо «охотиться»: они являются к нему сами. Но чтобы «поймать» затмение солнечное, приходится совершать иной раз весьма далекие путешествия. Астрономы снаряжают экспедиции на тропические острова, далеко на запад или на восток для того только, чтобы в течение нескольких минут наблюдать покрытие солнечного диска черным кругом Луны.

Есть ли смысл ради столь быстротечных наблюдений снаряжать дорогостоящие экспедиции? Разве нельзя производить те же наблюдения, не дожидаясь случайного заслонения Солнца Луной? Почему астрономы не производят солнечного затмения искусственно, заслоняя в телескопе изображение Солнца непрозрачным кружком? Тогда можно будет, казалось бы, наблюдать без хлопот те окрестности Солнца, которые так интересуют астрономов во время затмений*.

Такое искусственное солнечное затмение не может, однако, дать того, что наблюдается при заслонении Солнца Луной. Дело в том, что лучи Солнца, прежде чем достигнуть нашего глаза, проходят через земную атмосферу и рассеиваются здесь частицами воздуха. Оттого-то небо днем и кажется нам светлым голубым сводом, а не черным, усеянным звездами, каким представлялось бы оно нам даже днем при отсутствии атмосферы. Закрыв Солнце кружком, но оставаясь на дне воздушного океана, мы хотя и защищаем глаз от прямых лучей дневного светила, однако атмосфера над нами по-прежнему залита солнечным светом и продолжает рассеивать лучи, затмевая звезды. Этого не бывает, если заслоняющий экран находится за пределами атмосферы. Луна есть именно такой экран, находящийся в сто раз дальше ощутимой границы атмосферы. Лучи Солнца задерживаются этим экраном до того, как проникают в земную атмосфе-

* Такие наблюдения производят, начиная с 1930 г., благодаря особому «внезатменному коронографу» Б. Лио (Франция). Он дает возможность изучать внутреннюю корону и хромосферу. Однако лучшие снимки короны получаются все же во время полных солнечных затмений. — *Примеч. ред.*

ру, и рассеивания света в затененной полосе поэтому не происходит. Правда, не полностью: в область тени проникают все же немногие лучи, рассеиваемые окружающими светлыми областями, и потому небо в момент полного солнечного затмения никогда не бывает так черно, как в полночь; звезды видны только самые яркие.

Какие задачи ставят себе астрономы при наблюдении полного солнечного затмения? Отметим главные из них.

Первая — наблюдение так называемого «обращения» спектральных линий в наружной оболочке Солнца. Линии солнечного спектра, при обычных условиях темные на светлой ленте спектра, на несколько секунд становятся светлыми на темном фоне после момента полного покрытия Солнца диском Луны: спектр поглощения превращается в спектр испускания. Это так называемый «спектр вспышки». Хотя это явление, дающее драгоценный материал для суждения о природе наружной оболочки Солнца, может при известных условиях наблюдаться и не только во время затмения, оно обнаруживается при затмениях настолько четко, что астрономы стремятся не упускать подобного случая.

Вторая задача — исследование *солнечной короны*. Корона — самое замечательное из явлений, наблюдаемых в моменты полного солнечного затмения: вокруг совершенно черного круга Луны, окаймленного огненными выступами (протуберанцами) наружной оболочки Солнца, сияет жемчужный ореол различных размеров и формы в разные затмения (рис. 55). Длинные лучи этого сияния нередко в несколько раз больше солнечного поперечника, а яркость составляет обычно лишь половину яркости полной Луны.

Во время затмения 1936 г. солнечная корона оказалась исключительной яркости, ярче полной Луны, что бывает редко. Длинные, несколько размытые лучи короны простирались на три и более солнечных диаметра; вся корона представлялась в виде пятиконечной звезды, центр которой был занят темным диском Луны.

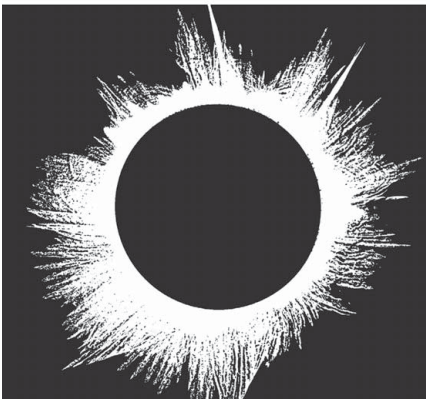


Рис. 55. В момент полного солнечного затмения вокруг черного диска Луны вспыхивает «солнечная корона»

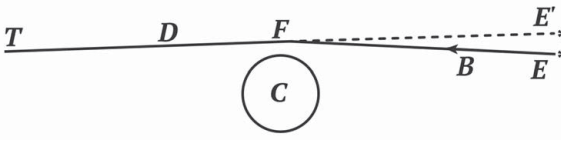


Рис. 56. Одно из следствий общей теории относительности — отклонение световых лучей под влиянием силы тяготения Солнца. Согласно теории относительности земной наблюдатель в *T* видит звезду в точке *E'* по направлению прямой *TDFE'*, между тем как в действительности звезда находится в точке *E* и посылает свои лучи по искривленному пути *EBFDT*. При отсутствии Солнца световой луч от звезды *E* к Земле *T* направлялся бы по прямой линии

Астрономы во время затмений фотографируют корону, измеряют ее яркость, исследуют ее спектр. Все это помогает изучению ее физического строения.

Третья задача, выдвинутая только в последние десятилетия, состоит в проверке одного из следствий общей теории относительности. Согласно теории относительности лучи звезд, проходя мимо Солнца, испытывают влияние его могучего притяжения и претерпевают отклонение, которое должно обнаружиться в кажущемся смещении звезд близ солнечного диска (рис. 56). Проверка этого следствия возможна только в моменты полного солнечного затмения.

Измерения во время затмений 1919, 1922, 1926 и 1936 гг. не дали, строго говоря, решающих результатов, и вопрос об опытном подтверждении указанного следствия из теории относительности остается до сих пор открытым*.

Таковы главные цели, ради которых астрономы покидают свои обсерватории и отправляются в отдаленные, иногда весьма негостеприимные места для наблюдения солнечных затмений.

Что касается самой картины полного солнечного затмения, то в нашей художественной литературе имеется прекрасное описание этого редкого явления природы (В. Г. Короленко «На затмении»; описание относится к затмению в августе 1887 г.; наблюдение производилось на берегу Волги, в городе Юрьевце). Приводим выдержку из рассказа Короленко с несущественными пропусками:

> «Солнце тонет на минуту в широком мглистом пятне и показывается из облака уже значительно ущербленным...
>
> Теперь уже это видно простым глазом, чему помогает тонкий пар, который все еще курится в воздухе, смягчая ослепительный блеск.

* Самый факт отклонения подтвердился, но полного количественного согласия с теорией не установлено. Наблюдения проф. А. А. Михайлова привели к необходимости пересмотра в некоторых отношениях самой теории этого явления. — *Примеч. ред.*

Тишина. Кое-где слышно нервное, тяжелое дыхание...

Проходит полчаса. День сияет почти все так же, облачка закрывают и открывают солнце, теперь плывущее в вышине в виде серпа.

Среди молодежи царит беспечное оживление и любопытство.

Старики вздыхают, старухи как-то истерически охают, а кто даже вскрикивает и стонет, точно от зубной боли.

День начинает заметно бледнеть. Лица людей принимают испуганный оттенок, тени человеческих фигур лежат на земле бледные, неясные. Пароход, идущий вниз, проплывает каким-то призраком. Его очертания стали легче, потеряли определенность красок. Количество света видимо убывает, но так как нет сгущенных теней вечера, нет игры отраженного на низших слоях атмосферы света, то эти сумерки кажутся необычными и странными. Пейзаж будто расплывается в чем-то; трава теряет зелень, горы как бы лишаются своей тяжелой плотности.

Однако пока остается тонкий серповидный ободок солнца, все еще царит впечатление сильно побледневшего дня, и мне казалось, что рассказы о темноте во время затмения преувеличены. „Неужели, — думалось мне, — эта остающаяся еще ничтожная искорка солнца, горящая, как последняя забытая свечка в огромном мире, так много значит?.. Неужели, когда она потухнет, вдруг должна наступить ночь?“

Но вот эта искра исчезла. Она как-то порывисто, будто вырвавшись с усилием из-за темной заслонки, сверкнула еще золотой брызгой и погасла. И вместе с этим пролилась на землю густая тьма. Я уловил мгновение, когда среди сумрака набежала полная тень. Она появилась на юге и, точно громадное покрывало, быстро пролетела по горам, по рекам, по полям, обмахнув все небесное пространство, укутала нас и в одно мгновение сомкнулась на севере. Я стоял теперь внизу, на береговой отмели, и оглянулся на толпу. В ней царило гробовое молчание... Фигуры людей сливались в одну темную массу...

Но это не была обыкновенная ночь. Было настолько светло, что глаз невольно искал серебристого лунного сияния, пронизывающего насквозь синюю тьму обычной ночи. Но нигде не было сияния, не было синевы. Казалось, тонкий, неразличимый для глаз пепел рассыпался сверху над землей или будто тончайшая и густая сетка повисла в воздухе. А там, где-то по бокам, в верхних слоях чувствуется озаренная воздушная даль, которая сквозит в нашу тьму, сливая тени, лишая темноту ее формы и густоты. И над всею смущенною природой чудной панорамой бегут тучи, а среди них происходит захватывающая борьба... Круглое, темное, враждебное тело, точно паук, впилось в яркое солнце, и они несутся вместе в заоблачной вышине. Какое-то сияние, льющееся изменчивыми переливами из-за темного щита, придает зрелищу движение и жизнь, а облака еще усиливают иллюзию своим тревожным бесшумным бегом».

Затмения *лунные* не представляют для современных астрономов того исключительного интереса, какой связан с солнечными. Наши

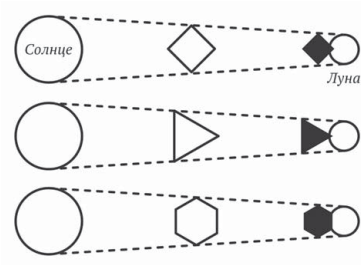


Рис. 57. Старинный рисунок, поясняющий мысль, что по виду земной тени на диске Луны можно судить о форме Земли

предки видели в затмениях Луны удобные случаи убедиться в шарообразной форме Земли. Поучительно напомнить о той роли, какую сыграло это доказательство в истории кругосветного плавания Магеллана. Когда после утомительного долгого путешествия по пустынным водам Тихого океана матросы пришли в отчаяние, решив, что они безвозвратно удалились от твердой земли в водный простор, которому не будет конца, один Магеллан не терял мужества. «Хотя церковь постоянно твердила на основании Священного Писания, что Земля — обширная равнина, окруженная водами, — рассказывает спутник великого мореплавателя, — Магеллан черпал твердость в следующем соображении: при затмениях Луны тень, бросаемая Землею, — круглая, а какова тень, таков должен быть и предмет, ее бросающий...» В старинных книгах по астрономии мы находим даже рисунки, поясняющие зависимость формы лунной тени от формы Земли (рис. 57).

Теперь мы в подобных доказательствах уже не нуждаемся. Зато лунные затмения дают возможность судить о строении верхних слоев *земной* атмосферы по яркости и окраске Луны. Как известно, Луна не бесследно исчезает в земной тени, а продолжает быть видимой в солнечных лучах, загибающихся внутрь теневого конуса. Сила освещения Луны в эти моменты и его цветовые оттенки представляют для астрономии большой интерес и находятся, как установлено, в неожиданной связи с числом солнечных пятен. Кроме того, в последнее время пользуются явлениями лунных затмений, чтобы измерять быстроту остывания лунной почвы, когда она лишается солнечного тепла (мы еще вернемся к этому дальше).

Почему затмения повторяются через 18 лет?

Задолго до нашей эры вавилонские наблюдатели неба подметили, что ряд затмений — и солнечных, и лунных — повторяется каждые 18 лет и 10 дней. Период этот называли «саросом». Пользуясь им, древние предсказывали наступление затмений, но они не знали, чем обусловливается столь правильная периодичность и почему

«сарос» имеет именно такую, а не иную продолжительность. Обоснование периодичности затмений было найдено гораздо позднее, в результате тщательного изучения движения Луны.

Чему равно время обращения Луны по ее орбите? Ответ на этот вопрос может быть различен в зависимости от того, в какой момент считать законченным оборот Луны вокруг Земли. Астрономы различают пять родов месяцев, из которых нас интересуют сейчас только два:

1. Так называемый «синодический» месяц, т. е. промежуток времени, в течение которого Луна совершает по своей орбите полный оборот, *если следить за этим движением с Солнца*. Это — период времени, протекающий между двумя одинаковыми фазами Луны, например от новолуния до новолуния. Он равен 29,5306 суток.

2. Так называемый драконический месяц, т. е. промежуток, по истечении которого Луна возвращается к тому же «узлу» своей орбиты (*узел* — пересечение лунной орбиты с плоскостью земной орбиты). Продолжительность такого месяца — 27,2122 суток.

Затмения, как легко сообразить, происходят только в моменты, когда Луна в фазе полнолуния или новолуния бывает в одном из своих узлов: тогда ее центр находится на одной прямой с центрами Земли и Солнца. Очевидно, что если сегодня случилось затмение, то оно должно наступить вновь через такой промежуток времени, который заключает *целое число синодических и драконических месяцев*: тогда повторятся условия, при которых бывают затмения.

Как находить подобные промежутки времени? Для этого надо решить уравнение

$$29{,}5306x = 27{,}2122y,$$

где x и y — целые числа. Представив его в виде пропорции

$$\frac{x}{y} = \frac{272\,122}{295\,306},$$

видим, что наименьшие *точные* решения этого уравнения таковы:

$$x = 272\,122, \quad y = 295\,306.$$

Получается огромный, в десятки тысячелетий, период времени, практически бесполезный. Древние астрономы довольствовались решением *приближенным*. Наиболее удобное средство для отыскания приближений в подобных случаях дают непрерывные дроби. Развернем дробь

$$\frac{295\,306}{272\,122}$$

в непрерывную. Выполняется это так. Исключив целое число, имеем

$$\frac{295\,306}{272\,122} = 1\,\frac{23\,184}{272\,122}.$$

В последней дроби делим числитель и знаменатель на числитель:

$$\frac{295\,306}{272\,122} = 1 + \frac{1}{11\,\frac{17\,098}{23\,182}}.$$

Числитель и знаменатель дроби $\frac{17\,098}{23\,182}$ делим на числитель и так поступаем в дальнейшем. Получаем в конечном итоге

$$\frac{295\,306}{272\,122} = 1 + \cfrac{1}{11 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{2 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{4 + \cfrac{1}{4 + \cfrac{1}{17 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{7}}}}}}}}}.$$

Из этой дроби, беря первые ее звенья и отбрасывая остальные, получаем такие последовательные приближения:

$$\frac{12}{11},\ \frac{13}{12},\ \frac{38}{35},\ \frac{51}{47},\ \frac{242}{223},\ \frac{1019}{939}\ \text{и т. д.}$$

Пятая дробь в этом ряду дает уже достаточную точность. Если остановиться на ней, т. е. принять $x = 223$, а $y = 242$, то период повторяемости затмений получится равным 223 синодическим месяцам, или 242 драконическим.

Это составляет $6585\frac{1}{3}$ суток, т. е. 18 лет 11,3 суток (или 10,3* суток).

Таково происхождение сароса. Зная, откуда он произошел, мы можем отдать себе отчет и в том, насколько точно можно с его помощью предсказывать затмения. Мы видим, что, считая сарос равным 18 годам 10 суткам, отбрасывают 0,3 суток. Это должно сказаться в том, что затмения, предусмотренные по такому укороченному периоду, будут наступать в *другие часы* дня, чем в предшествующий раз

* Смотря по тому, входит ли это в период 4 или 5 високосных лет.

(примерно на 8 часов позже), и только при пользовании периодом, равным *тройному* точному саросу, затмения будут повторяться почти в те же моменты дня. Кроме того, сарос не учитывает изменений *расстояния* Луны от Земли и Земли от Солнца, изменений, которые имеют свою периодичность; от этих расстояний зависит, будет ли солнечное затмение полным или нет. Поэтому сарос дает возможность предсказать лишь то, что в определенный день должно случиться затмение, но будет ли оно полное, частное или кольцеобразное, а также можно ли будет его наблюдать в тех же местах, как и в предыдущий раз, утверждать нельзя.

Наконец, бывает и так, что незначительное частное затмение Солнца через 18 лет уменьшает свою фазу до нуля, т. е. не наблюдается вовсе; и, наоборот, иной раз становятся видимыми небольшие частные затмения Солнца, прежде не наблюдавшиеся.

В наши дни астрономы не пользуются саросом. Капризные движения земного спутника изучены так хорошо, что затмения предвычисляются сейчас с точностью до секунды. Если бы предсказанное затмение не произошло, современные ученые готовы были бы допустить все, что угодно, только не ошибочность расчетов. Это удачно подмечено у Жюля Верна, который в романе «Страна мехов» рассказывает об астрономе, отправившемся в полярное путешествие для наблюдения солнечного затмения. Вопреки предсказанию, оно не произошло. Какой же вывод сделал из этого астроном? Он объявил окружающим, что ледяное поле, на котором они находятся, есть не материк, а плавучая льдина, вынесенная морским течением за полосу затмения. Утверждение это вскоре оправдалось. Вот пример глубокой веры в силу науки!

Возможно ли?

Очевидцы рассказывают, что во время лунного затмения им случалось наблюдать на одной стороне неба у горизонта диск Солнца и одновременно на другой сторонне — затемненный диск Луны.

Наблюдались подобные явления и в 1936 г. — в день частного лунного затмения 4 июля. «4 июля вечером в 20 ч. 31 м. взошла Луна, а в 20 ч. 46 м. садилось Солнце, и в момент восхода Луны произошло лунное затмение, хотя Луна и Солнце видны были одновременно над горизонтом. Я очень удивился этому, потому что лучи света распространяются ведь прямолинейно», — писал мне один из читателей этой книги.

Картина в самом деле загадочная: хотя, вопреки убеждению чеховской девицы, нельзя сквозь закопченное стекло «увидеть линию, соединяющую центр Солнца и Луны», но мысленно провести ее мимо Земли при таком расположении вполне возможно. Может ли наступить затмение, если Земля не заслоняет Луны от Солнца? Можно ли верить такому свидетельству очевидца?

В действительности, однако, в подобном наблюдении нет ничего невероятного. То, что Солнце и затемненная Луна видны на небе одновременно, обусловлено искривлением лучей света в земной атмосфере. Благодаря такому искривлению, называемому «атмосферной рефракцией», каждое светило кажется нам *выше* своего истинного положения (с. 655, рис. 15). Когда мы видим Солнце или Луну близ самого горизонта, они геометрически находятся *ниже* горизонта. Ничего нет поэтому невозможного в том, что диск Солнца и затемненная Луна видны оба над горизонтом в одно время.

«Обыкновенно, — говорит по этому поводу Фламмарион, — указывают на затмения 1666, 1668 и 1750 гг., когда эта странная особенность проявилась всего резче. Однако нет надобности забираться так далеко. 15 февраля 1877 г. Луна восходила в Париже в 5 ч. 29 м. Солнце же закатывалось в 5 ч. 39 м., а между тем полное затмение уже началось. 4 декабря 1880 г. произошло полное лунное затмение в Париже: в этот день Луна взошла в 4 ч., а Солнце закатилось в 4 ч. 2 м., и это было почти в середине затмения, продолжавшегося от 3 ч. 3 м. до 4 ч. 33 м. Если это не наблюдается гораздо чаще, то лишь по недостатку наблюдателей. Чтобы видеть Луну в полном затмении до заката Солнца или после его восхода, надо лишь выбрать такое место на Земле, чтобы Луна находилась на горизонте около середины затмения».

Что не всем известно о затмениях

ВОПРОСЫ

1. Сколько времени могут длиться солнечные и сколько лунные затмения?
2. Сколько всех затмений может случиться в течение одного года?
3. Бывают ли годы без солнечных затмений? А без лунных?
4. Когда будет ближайшее полное солнечное затмение, видимое в России?

5. С какой стороны при затмении надвигается на Солнце черный диск Луны — справа или слева?

6. На каком краю начинается затмение Луны — на правом или на левом?

7. Почему пятна света в тени листвы имеют во время солнечного затмения форму серпов (рис. 58)?

8. Какая разница между формой солнечного серпа во время затмения и формой обычного лунного серпа?

9. Почему на солнечное затмение смотрят через закопченное стекло?

ОТВЕТЫ

1. Наибольшая продолжительность *полной фазы солнечного* затмения $7^{3}/_{4}$ м. (на экваторе; в высших широтах — меньше). Все же фазы затмения могут захватить до $3^{1}/_{2}$ ч. (на экваторе).

Продолжительность всех фаз *лунного затмения* — до 4 ч.; время полного потемнения Луны длится не более 1 ч. 50 м.



Рис. 58. Пятна света в тени листвы дерева во время частной фазы затмения имеют серповидную форму

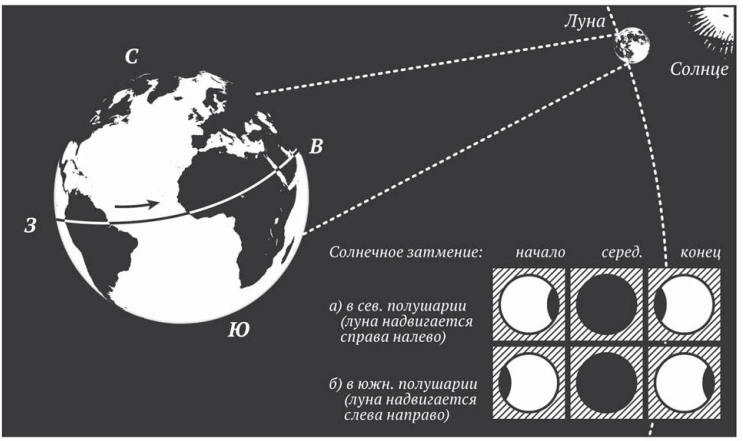


Рис. 59. Почему для наблюдателя в Северном полушарии Земли диск Луны во время затмения надвигается на Солнце *справа*, а для наблюдателя в Южном полушарии — *слева*?

2. Число всех затмений в течение года — и солнечных, и лунных — не может быть больше 7 и меньше 2. (В 1935 г. насчитывалось 7 затмений: 5 солнечных и 2 лунных.)

3. Без *солнечных* затмений не проходит ни одного года: ежегодно случается не менее 2 солнечных затмений. Годы без *лунных* затмений бывают довольно часто, примерно каждые 5 лет.

4. Ближайшее полное солнечное затмение...*

5. В Северном полушарии Земли диск Луны надвигается на Солнце *справа налево*. Первого соприкосновения Луны с Солнцем следует всегда ждать с правой стороны. В Южном полушарии — *с левой* (рис. 59).

6. В Северном полушарии Луна вступает в земную тень своим *левым* краем, в южном — *правым*.

7. Пятна света в тени листвы есть не что иное, как изображения Солнца. Во время затмения Солнце имеет вид серпа и такой же вид должны иметь его изображения в тени листвы (рис. 58).

8. *Лунный* серп ограничен снаружи полукругом, изнутри — полуэллипсом. *Солнечный* серп ограничен двумя дугами круга одного радиуса (см. с. 675–677, «Загадки лунных фаз»).

* ...видимое в России, произойдет 12 августа 2026 г. Затмение начнется на северо-востоке полуострова Таймыр, пройдет через Северный Ледовитый океан, Гренландию, Исландию и Испанию. — *Примеч. ред.*

9. На Солнце, хотя бы и частично заслоненное Луной, нельзя смотреть незащищенными глазами. Солнечные лучи обжигают наиболее чувствительную часть сетчатой оболочки глаза, заметно понижая остроту зрения на продолжительное время, а иногда и на всю жизнь.

Еще в начале XIII в. новгородский летописец отметил: «От сего же знамения в Великом Новгороде едва кто от человек видети лишился». Избежать ожога, однако, легко, если запастись густо закопченным стеклом. Закоптить его надо на свечке настолько густо, чтобы диск Солнца казался через такое стекло *резко очерченным кружком*, без лучей и ореола; для удобства закопченную сторону покрывают другим, чистым стеклом и обклеивают по краям бумагой. Так как нельзя заранее предвидеть, каковы будут условия видимости Солнца в часы затмения, то полезно заготовить несколько стекол с различной густотой затемнения.

Можно пользоваться также и цветными стеклами, если сложить вместе два стекла различных цветов (желательно «дополнительных»). Обыкновенные темные очки-консервы недостаточны для этой цели.

Какая на Луне погода?

Собственно говоря, на Луне нет никакой погоды, если это слово понимать в обычном смысле. Какая может быть погода там, где совершенно отсутствуют атмосфера, облака, водяной пар, осадки, ветер? Единственное, о чем может быть речь, — это температура почвы.

Итак, насколько нагрета почва Луны? Астрономы располагают теперь прибором, дающим возможность измерять температуру не только далеких светил, но и отдельных их участков. Устройство прибора основано на явлении термоэлектричества: в проводнике, спаянном из двух разнородных металлов, пробегает электрический ток, когда один спай теплее другого; сила возникающего тока зависит от разности температур и позволяет измерить количество поглощенной теплоты.

Чувствительность прибора поразительна. При микроскопических размерах (ответственная часть прибора не больше 0,2 мм и весит 0,1 мг) он отзывается даже на греющее действие звезд 13-й величины, повышающее температуру на *десятимиллионные доли градуса*.

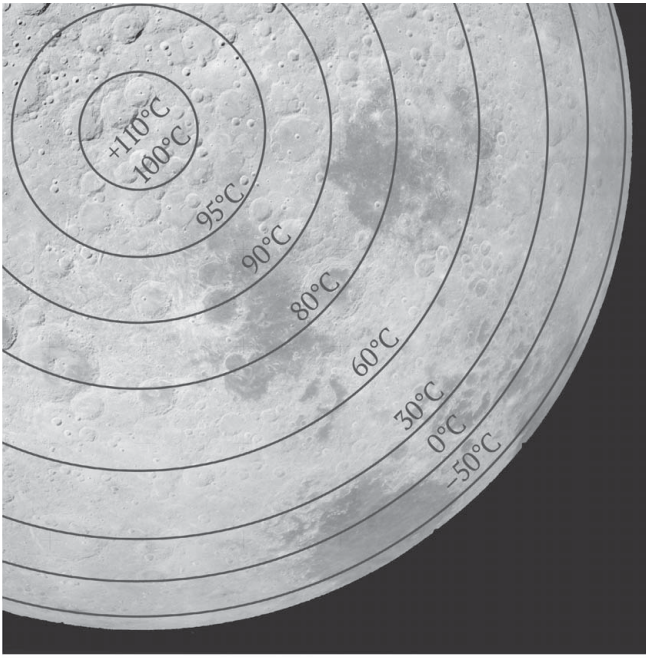


Рис. 60. Температура на Луне достигает в центре видимого диска в полнолуние +110° С и быстро падает к краям до –50° и ниже

Эти звезды не видны без телескопа; они светят в 600 раз слабее, нежели звезды, находящиеся на границе видимости простым глазом. Уловить столь ничтожное количество тепла — все равно что обнаружить теплоту свечи с расстояния нескольких километров.

Располагая таким почти чудесным измерительным прибором, астрономы вводили его в отдельные участки телескопического изображения Луны, измеряли получаемое им тепло и на этом основании оценивали температуру различных частей Луны (с точностью до 10°). Вот результаты (рис. 60): в центре диска полной Луны температура выше 100°; вылитая здесь на лунную почву вода вскипала бы даже под нормальным давлением. «На Луне нам не пришлось бы готовить себе обед на плите, — пишет один астроном, — ее роль могла бы выполнить любая ближайшая скала». Начиная от центра диска температура равномерно убывает во все стороны, но еще в 2700 км от центральной точки она не ниже 80°. Затем падение температуры идет быстрее, и близ края освещенного диска господствует мороз в –50°.

Еще холоднее на темной, отвернутой от Солнца стороне Луны, где мороз достигает −170°.

Раньше было упомянуто, что во время затмений, когда лунный шар окунается в земную тень, почва Луны, лишенная солнечного света, быстро охлаждается. Было измерено, как велико это остывание: в одном случае установлено падение температуры во время затмения с +125 до −115°, т. е. почти на 240° в течение каких-нибудь $1^1/_2$–2 часов. Между тем на Земле, при подобных же условиях, т. е. при солнечном затмении, отмечается понижение температуры всего на два, много — на три градуса. Это различие надо отнести за счет земной атмосферы, сравнительно прозрачной для видимых лучей Солнца и задерживающей невидимые «тепловые» лучи нагретой почвы.

То, что почва Луны так быстро утрачивает накопленное ею тепло, указывает одновременно и на малую теплоемкость, и на дурную теплопроводность лунной почвы, вследствие чего при ее нагревании успевает накопиться лишь небольшой запас теплоты.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ПЛАНЕТЫ

Планеты при дневном свете

Можно ли днем видеть планеты? В телескоп — безусловно: астрономы нередко наблюдали планеты днем, различая их в трубы даже средней силы, правда не так отчетливо, как ночью. В трубу с диаметром объектива 10 см можно различить характерные полосы на Юпитере. Телескопические наблюдения Меркурия, пожалуй, удобнее производить днем, — тогда планета стоит высоко над горизонтом, после же захода Солнца Меркурий бывает виден так низко на небе, что земная атмосфера заметно искажает телескопическое изображение. При благоприятных условиях некоторые планеты доступны днем и невооруженному глазу, однако, чтобы увидеть планету, надо точно знать ее местонахождение.

Особенно часто удается наблюдать на дневном небе самую яркую из планет, Венеру, конечно в пору наибольшей ее яркости. Известен рассказ Араго о Наполеоне I, который однажды во время парадного следования по улицам Парижа был обижен тем, что толпа, пораженная появлением Венеры в полдень, уделяла больше внимания этой планете, чем его высокой особе.

С улиц больших городов Венера в дневные часы видна даже чаще, чем с открытых мест: высокие дома заслоняют Солнце и тем защищают глаза от ослепляющего действия прямых его лучей. Случаи видимости Венеры днем отмечены и русскими летописцами. Так, новгородская летопись говорит, что в 1331 г. днем «явися на небеси знамение, звезда светла над церковью». Звезда эта (по исследованиям Д. О. Святского и М. А. Вильева) была Венера.

Наиболее благоприятные эпохи для видимости Венеры в дневное время повторяются каждые 8 лет. Внимательные наблюдатели неба, вероятно, имели случай видеть днем простым глазом не только Венеру, но и Юпитер и даже Меркурий.

Здесь уместно остановиться на вопросе о сравнительном блеске планет. В кругу неспециалистов возникают иногда сомнения: какая

планета достигает большего блеска — Венера, Юпитер или Марс? Конечно, если бы они сияли одновременно и размещались рядом, подобного вопроса не возникало бы. Но когда видишь их на небе в разное время порознь, нелегко решить, которая из них ярче. Вот как планеты располагаются в порядке их блеска.

Венера Марс Юпитер	Ярче Сириуса в несколько раз	Меркурий Сатурн	Слабее Сириуса, но ярче звезд первой величины

Мы еще вернемся к этой теме в следующей главе, когда познакомимся с числовой оценкой блеска небесных светил.

Планетная азбука

Для обозначения Солнца, Луны и планет современные астрономы употребляют значки весьма древнего происхождения (рис. 61). Их начертание требует пояснений, кроме, конечно, знака Луны, понятного самого по себе. Знак Меркурия есть упрощенное изображение жезла мифического бога Меркурия, покровителя этой планеты. Знаком Венеры служит изображение ручного зеркала — эмблемы женственности и красоты, присущих богине Венере. Символом для Марса, покровительствуемого богом войны, выбрано копье, заслоненное щитом, — атрибуты воина. Знак Юпитера — не что иное, как начальная буква греческого наименования Юпитера — Zeus (Z — в рукописном шрифте). Знак Сатурна, по толкованию Фламмариона,



Рис. 61. Условные знаки для Солнца, Луны и планет

есть искаженное изображение «косы времени» — традиционной принадлежности бога судьбы.

Перечисленные сейчас знаки употребляются с IX в. Знак Урана, разумеется, более позднего происхождения: планета эта открыта лишь в конце XVIII в. Ее знак — кружок с буквой H — должен напоминать нам о В. Гершеле (Herschel), открывшем Уран. Знак Нептуна (открытого в 1846 г.) отдает дань мифологии изображением трезубца бога морей. Знак для последней планеты, Плутона, понятен сам собой.

К этой планетной азбуке надо еще присоединить знак той планеты, на которой мы живем, а также знак центрального светила нашей системы — Солнца. Этот последний знак — самый древний, потому что был в употреблении у египтян еще тысячелетия назад.

Многим покажется, вероятно, странным, что теми же значками планетной азбуки западные астрономы обозначают дни недели, а именно:

воскресенье	—	знаком	Солнца
понедельник	—	»	Луны
вторник	—	»	Марса
среду	—	»	Меркурия
четверг	—	»	Юпитера
пятницу	—	»	Венеры
субботу	—	»	Сатурна

Неожиданное сближение это станет естественным, если сопоставим знаки планет не с русскими, а с латинскими или с французскими названиями дней недели, сохранившими свою связь с наименованиями планет (по-французски: понедельник — lundi — день Луны, вторник — mardi — день Марса и т. д.). Но мы не станем углубляться здесь в эту любопытную область, больше относящуюся к филологии и истории культуры, чем к астрономии.

Древними алхимиками планетная азбука употреблялась для обозначения металлов, а именно:

Знак	Солнца	—	для	золота
»	Луны	—	»	серебра
»	Меркурия	—	»	ртути
»	Венеры	—	»	меди
»	Марса	—	»	железа
»	Юпитера	—	»	олова
»	Сатурна	—	»	свинца

Связь эта объясняется воззрением алхимиков, посвящавших каждый металл одному из древних мифологических божеств.

Наконец, отголоском средневекового почтения к планетным знакам является употребление современными ботаниками и зоологами знаков Марса и Венеры для обозначения мужских и женских экземпляров. Ботаники употребляют также астрономический знак Солнца для обозначения однолетних растений, для двухлетних берется тот же знак, но видоизмененный (с двумя точками в кружке), для многолетних трав — знак Юпитера, для кустарников и деревьев — знак Сатурна.

Чего нельзя изобразить

К числу вещей, которые никак нельзя изобразить на бумаге, принадлежит точный план нашей Солнечной системы. То, что под именем плана Солнечной системы приводится в книгах по астрономии, есть чертеж планетных *путей*, а никак не Солнечной системы: самих планет на таких чертежах изобразить нельзя без грубого нарушения масштаба. Планеты по сравнению с разделяющими их расстояниями так ничтожно малы, что трудно даже составить себе сколько-нибудь правильное представление об этом соотношении. Мы облегчим работу воображения, если обратимся к уменьшенному подобию планетной системы. Тогда станет ясно и то, почему нет возможности представить Солнечную систему ни на каком чертеже. Все, что мы в состоянии сделать на чертеже, — показать сравнительные размеры планет и Солнца (рис. 62).

Изберем для земного шара самую скромную величину — булавочную головку: пусть Земля изображается шариком около 1 мм поперечником. Точнее говоря, мы будем пользоваться масштабом примерно 15 000 км в 1 мм, или 1:15 000 000 000. Луну в виде крупинки в $^1/_4$ мм диаметром надо будет поместить в 3 см от булавочной головки. Солнце величиной с мяч или крокетный шар (10 см) должно отстоять на 10 м от Земли. Мяч, помещенный в одном углу просторной комнаты, и булавочная головка в другом — вот подобие того, что представляют собой в мировом пространстве Солнце и Земля. Вы видите, что здесь в самом деле гораздо больше пустоты, чем вещества. Правда, между Солнцем и Землей есть две планеты — Меркурий и Венера, но они мало способствуют заполнению пространства; в нашей комнате прибавляются лишь две крупинки: одна в $^1/_3$ мм

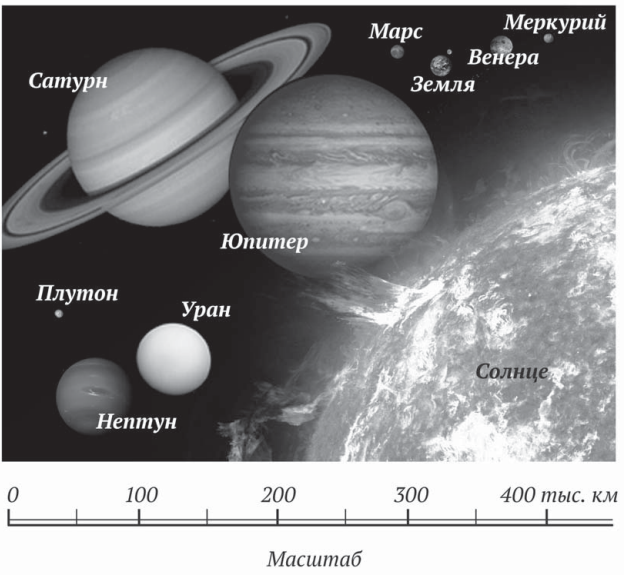


Рис. 62. Сравнительные размеры планет и Солнца. Диаметр диска Солнца в этом масштабе равен 19 см

поперечником (Меркурий) на расстоянии 4 м от мяча-Солнца и вторая — с булавочную головку (Венера) — в 7 м от мяча.

Но будут еще крупинки вещества по другую сторону от Земли. В 16 м от мяча-Солнца кружится Марс — крупинка в $^1/_2$ мм поперечником. Каждые 15 лет обе крупинки, Земля и Марс, сближаются до 4 м; так выглядит здесь кратчайшее расстояние между двумя мирами.

У Марса — два спутника, но изобразить их в нашей модели невозможно: в принятом масштабе им следовало бы придать размеры бактерий! Почти столь же ничтожные размеры должны иметь в нашей модели *астероиды* — малые планеты, известные уже в числе свыше полутора тысяч, кружащиеся между Марсом и Юпитером. Их среднее расстояние от Солнца в нашей модели — 28 м. Наиболее крупные из них имеют (в модели) толщину волоса ($^1/_{20}$ мм), мельчайшие же — величиной с бактерию.

Исполин-Юпитер будет представлен у нас шариком величиной с орех (1 см) в 52 м от мяча-Солнца. Вокруг его на расстоянии 3, 4, 7 и 12 см кружатся самые большие из 16 его крупнейших спутников (всего же их на сегодня — 63). Размеры этих больших лун — около $^1/_2$ мм, остальные представляются в модели опять-таки бактериями.

Наиболее удаленный из его спутников, IX, пришлось бы поместить в 2 м от ореха-Юпитера. Значит, вся система Юпитера имеет у нас 4 м в поперечнике. Это очень много по сравнению с системой Земля — Луна (поперечник 6 см), но довольно скромно, если сопоставить такие размеры с поперечником орбиты Юпитера (104 м) на нашей модели.

Уже и теперь очевидно, насколько безнадежны попытки уместить план Солнечной системы на одном чертеже. Невозможность эта станет в дальнейшем еще убедительнее. Планету Сатурн пришлось бы поместить в 100 м от мяча-Солнца в виде орешка 8 мм поперечником. Прославленные кольца Сатурна шириной 4 мм и толщиной $^1/_{250}$ мм будут находиться в 1 мм от поверхности орешка. Что касается планетных колец, в 1970-х гг. XX века они были обнаружены у Юпитера, Урана и Нептуна. 18 самых крупных (из 60 известных) спутников разбросаны вокруг планеты на протяжении $^1/_2$ м в виде крупинок диаметром в $^1/_{10}$ мм и менее.

Пустыни, разделяющие планеты, прогрессивно увеличиваются с приближением к окраинам системы. Уран в нашей модели отброшен на 196 м от Солнца; это — горошина в 3 мм поперечником с 27 пылинками-спутниками, разбросанными на расстоянии до 4 см от центральной крупинки.

В 300 м от центрального крокетного шара медлительно совершает свой путь Нептун: горошина с двумя (самыми большими из 13) спутниками Тритоном и Нереидой в 3 и 70 см от нее.

Еще далее обращается небольшая планета — Плутон*, расстояние которой в нашей модели выразится в 400 м, а поперечник — около половины земного.

Но и орбиту этой последней планеты нельзя считать границей нашей Солнечной системы. Кроме планет, к ней принадлежат ведь и кометы, многие из которых движутся по замкнутым путям около Солнца. Среди этих «волосатых звезд» (подлинное значение слова «комета») есть ряд таких, период обращения которых доходит до 800 лет. Это — кометы 372 г. до нашей эры, 1106, 1668, 1680, 1843, 1880, 1882 (две кометы) и 1887 гг. Путь каждой из них на модели изобразился бы вытянутым эллипсом, один конец которого, ближайший (перигелий), расположен всего в 12 мм от Солнца, а дальний (афелий) — в 1700 м от него, в четыре раза дальше Плутона. Если ис-

* В 2006 г. решением Международного астрономического совета Плутон и его спутник Харон отнесены к «малым телам Солнечной системы» — астероидам. — *Примеч. ред.*

числить размеры Солнечной системы по этим кометам, то наша модель вырастет до $3^1/_2$ км в поперечнике и займет площадь 9 км^2 при величине Земли, не забудьте, с булавочную головку! На этих 9 км^2 помещается такой инвентарь:

1 крокетный шар,
2 орешка,
2 горошины,
2 булавочные головки,
3 крупинки помельче.

Вещество комет — как бы они ни были многочисленны — в расчет не принимается: их масса так мала, что они справедливо названы «видимое ничто».

Итак, наша планетная система не поддается изображению на чертеже в правильном масштабе.

Почему на Меркурии нет атмосферы?

Какая может быть связь между присутствием на планете атмосферы и продолжительностью ее оборота вокруг оси? Казалось бы, никакой. И все же на примере ближайшей к Солнцу планеты, Меркурия, мы убеждаемся, что в некоторых случаях такая связь существует.

По силе тяжести на своей поверхности Меркурий мог бы удерживать атмосферу такого состава, как земная, хотя и не столь плотную.

Скорость, необходимая для полного преодоления притяжения Меркурия на его поверхности, равна 4200 м/с, а этой скорости при невысоких температурах не достигают быстрейшие из молекул нашей атмосферы*. И тем не менее Меркурий лишен атмосферы. Причина та, что он движется вокруг Солнца наподобие движения Луны около Земли, т. е. обращен к центральному светилу всегда одной и той же своей стороной. Время обхода орбиты (88 суток) равно времени оборота вокруг оси. Поэтому на одной стороне Меркурия — той, которая всегда обращена к Солнцу, — непрерывно длится день и стоит вечное лето; на другой же стороне, отвернутой от Солнца, царят непрерывная ночь и вечная зима. Легко вообразить себе, какой зной должен господствовать на дневной стороне планеты, Солнце здесь в $2^1/_2$ раза ближе, чем на Земле, и палящая сила его лучей должна возрасти в $2^1/_2 \times 2^1/_2$, т. е. в $6^1/_4$ раза. На ночную сторону, на-

* См. с. 686–689 («Почему на Луне нет атмосферы?»).

против, в течение миллионов лет не проникал ни один луч Солнца, и там должен господствовать мороз, близкий к холоду мирового пространства* (около –250°С), так как теплота дневной стороны не может проникать сквозь толщу планеты. А на границе дневной и ночной стороны существует полоса шириной в 23°, куда вследствие либрации** Солнце заглядывает лишь на время***.

Если учесть, что меркурианский год равен всего 88 суткам, то воображаемый космонавт, оказавшийся на этой планете, увидел бы странные картины: Солнце то останавливается на небосводе, то возвращается назад, а в некоторых зонах планеты восходы и заходы Солнца наблюдаются дважды за одни сутки, причем как на востоке, так и на западе.

Средняя температура поверхности равна +330°С. Из-за близости Солнца дневная сторона Меркурия прогревается до температур 290–420°С. Зато на ночной стороне температура падает до –173°. Атмосферное давление на Меркурии в 300 раз меньше, чем на Земле. То есть атмосфера практически отсутствует. Такие условия совершенно непригодны для жизни. Это тоже роднит Меркурий с Луной. Да и фотоснимки его так похожи на лунные, что даже специалист не сразу их различит. Весь Меркурий густо испещрен кратерами, такими же круглыми, как лунные, и очень похожи на лунные его «моря» и долины. Естественно — ведь поверхности обеих планет формировали вулканические извержения и бесчисленные удары больших и малых метеоритов. И не было плотной атмосферы, которая бы предотвратила или смягчила эти жестокие небесные удары.

При таких необычайных климатических условиях что же должно произойти с атмосферой планеты?

Очевидно, на ночной половине под влиянием страшного холода атмосфера сгустится в жидкость и замерзнет. Вследствие резкого понижения атмосферного давления туда устремится газовая оболочка дневной стороны планеты и затвердеет в свою очередь. В итоге

---

* Под условным выражением «температура мирового пространства» физики разумеют ту температуру, которую показал бы в пространстве зачерненный термометр, заслоненный от лучей Солнца. Эта температура несколько выше точки абсолютного нуля (–273°С) вследствие греющего действия звездного излучения.

** О либрации см. с. 682–684 («Видимая и невидимая стороны Луны»). Для либрации Меркурия по долготе имеет силу то же приближенное правило, которому подчинена Луна: Меркурий постоянно обращен одной и той же стороной не к Солнцу, а к другому фокусу своей довольно вытянутой орбиты.

*** По современным данным, время оборота Меркурия вокруг оси составляет 59 земных суток.

вся атмосфера должна в твердом виде собраться на ночной стороне планеты, вернее — в той ее части, куда Солнце вовсе не заглядывает. Таким образом, отсутствие на Меркурии атмосферы является неизбежным следствием физических законов.

Мы должны отвергнуть и догадку, нередко высказываемую, будто имеется атмосфера на невидимой стороне Луны. Можно с уверенностью утверждать, что если нет атмосферы на одной стороне Луны, то не может ее быть и на противоположной.

В этом пункте расходится с истиной фантастический роман Уэллса «Первые люди на Луне». Романист допускает, что на Луне есть воздух, который в течение сплошной 14-суточной ночи успевает сгуститься и замерзнуть, а с наступлением дня вновь переходит в газообразное состояние, образуя атмосферу. Ничего подобного, однако, происходить не может. «Если, — писал по этому поводу проф. О. Д. Хвольсон, — на темной стороне Луны воздух затвердевает, то почти весь воздух должен перейти от светлой стороны в темную и там также замерзнуть. Под влиянием солнечных лучей твердый воздух должен превращаться в газ, который немедленно будет переходить на темную сторону и там затвердевать... Должна происходить непрерывная дистилляция воздуха, и нигде и никогда не может достигнуть сколько-нибудь заметной упругости».

Если для Меркурия и Луны можно считать доказанным отсутствие атмосферы, то для Венеры, второй от Солнца планеты нашей системы, присутствие атмосферы совершенно несомненно.

Установлено даже, что в атмосфере, точнее — в *стратосфере* Венеры, много углекислого газа — в десять тысяч раз больше, чем в земной атмосфере.

Фазы Венеры

Известный математик Гаусс рассказывает, что однажды он предложил своей матери взглянуть в астрономическую трубу на Венеру, ярко сиявшую на вечернем небе. Математик думал поразить мать неожиданностью, так как в трубу Венера видна в форме серпа. Удивиться, однако, пришлось ему самому: приставив глаз к окуляру, женщина не выразила никакого изумления по поводу вида планеты, а осведомилась лишь, почему серп обращен в трубе в обратную сторону... Гаусс не подозревал до того времени, что мать его различает фазы Венеры даже и невооруженным глазом. Такое острое зрение встречается очень редко; до изобретения зрительной трубы никто

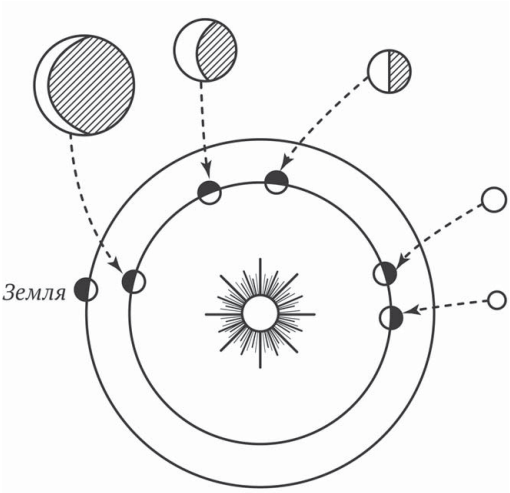


Рис. 63. Фазы Венеры, видимые в телескоп. Венера в разных фазах имеет различный видимый диаметр вследствие изменения расстояния от Земли

поэтому не подозревал о существовании фаз Венеры, подобных лунным.

Особенность фаз Венеры та, что поперечник планеты в разных фазах неодинаков: узкий серп по диаметру значительно больше полного диска (рис. 63). Причина — различное удаление от нас этой планеты в различных фазах. Среднее расстояние Венеры от Солнца 108 миллионов км, Земли — 150 миллионов км. Легко понять, что ближайшее расстояние обеих планет равно разности 150 – 108, т. е. 42 миллионам км, а самое дальнее — сумме 150 + 108, т. е. 258 миллионам км. Следовательно, удаление Венеры от нас изменяется в этих пределах. В ближайшем соседстве с Землей Венера обращена к нам неосвещенной стороной, и потому наиболее крупная ее фаза совершенно невидима. Отходя от этого положения «нововенерия», планета принимает вид серпа, диаметр которого тем меньше, чем серп шире. Наибольшей яркости Венера достигает не тогда, когда она видна полным диском, и не тогда, когда диаметр ее наибольший, а в некоторой промежуточной фазе. Полный диск Венеры виден под углом зрения 10″, наибольший серп — под углом 64″.

Высшей же яркости планета достигает спустя три декады после «нововенерия», когда угловой диаметр ее 40″ и угловая ширина серпа — 10″. Тогда она светит в 13 раз ярче Сириуса, самой яркой звезды всего неба.

Великие противостояния

О том, что эпохи наибольшей яркости Марса и наибольшего его приближения к Земле повторяются примерно каждые 15 лет, известно многим. Очень популярно и астрономическое наименование этих эпох: великие противостояния Марса. Памятные годы последних «великих противостояний» красной планеты — 1924, 1939 (рис. 64) и 1956. Но мало кто знает, почему событие это повторяется именно через 15 лет. Между тем относящаяся сюда «математика» весьма несложна.

Земля совершает полный обход своей орбиты в $365\frac{1}{4}$ суток, Марс — в 687 суток. Если обе планеты сошлись однажды на ближайшее расстояние*, то они должны сойтись вновь через такой промежуток времени, который заключает *целое* число годов как земных, так и марсовых. Другими словами, надо решить в целых числах уравнение

$$365\frac{1}{4}x = 687y$$

или

$$x = 1{,}88y,$$

откуда

$$\frac{x}{y} = 1{,}88 = \frac{47}{25}.$$

Развернув последнюю дробь в непрерывную (ср. с. 710), получаем

$$\frac{47}{25} = 1 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{7 + \cfrac{1}{3}}}.$$

Взяв первые три звена, имеем приближение

$$1 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{7}} = \frac{15}{8}$$

и заключаем, что 15 земных лет равны 8 марсовым; значит, эпохи наибольшего приближения Марса должны повторяться каждые 15 лет. (Мы несколько упростили задачу, взяв для отношения обоих времен обращения 1,88 вместо более точного 1,8809**.)

* Чему соответствует благоприятное для этого взаимное расположение эксцентрических орбит Земли и Марса. — *Примеч. ред.*

** Следующее великое противостояние Марса придется на 15 сентября 2035 г. — *Примеч. ред.*

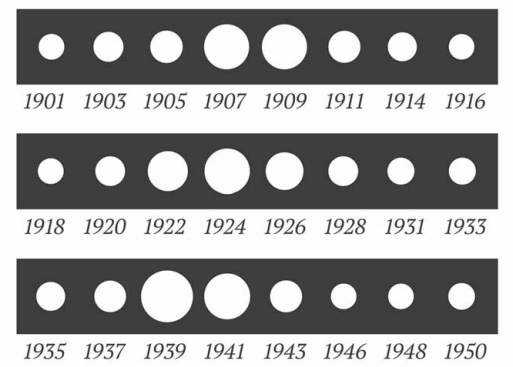


Рис. 64. Изменение видимого диаметра Марса в различные противостояния XX в. В 1909, 1924 и 1939 гг. были великие противостояния

По тому же способу можно найти и период повторения наибольшей близости Юпитера. Год Юпитера равен 11,86 земного (точнее 11,8622). Развернем это дробное число в непрерывную дробь:

$$11{,}86 = 11\frac{43}{50} = 11 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{6 + \cfrac{1}{7}}}.$$

Первые три звена дают приближение 83/7. Значит, великие противостояния Юпитера повторяются каждые 83 земных года (или 7 юпитеровых). Последнее великое противостояние Юпитера произошло в 1951 г. Расстояние Юпитера от Земли в эти моменты равно 587 миллионам километров. Это — наименьшее расстояние, на какое подходит к нам крупнейшая планета Солнечной системы. Во время противостояния Юпитер достигает и наибольшей видимой яркости.

Планета или меньшее солнце?

Такой вопрос можно поставить относительно Юпитера — самой крупной из планет нашей системы. Этот исполин, из которого можно было бы сделать 1314 шаров такого объема, как земной, своим могучим притяжением заставляет обращаться вокруг себя целый рой спутников. Астрономами обнаружено у Юпитера 16 больших и более 20 малых лун; самые крупные из них — те четыре, которые еще три века назад были открыты Галилеем, — обозначаются римскими циф-

рами I, II, III, IV. Спутники III и IV по размерам не уступают «настоящей» планете — Меркурию. В следующей табличке поперечники этих спутников сопоставлены с размерами диаметров Меркурия и Марса; заодно указаны поперечники первых двух спутников Юпитера, а также и нашей Луны:

	Поперечник	
Марс	6750	км
III спутник Юпитера	4940	»
Меркурий	4770	»
IV спутник Юпитера	4680	»
Луна	3476	»
I спутник Юпитера	3320	»
II » »	2830	»

Рис. 65 представляет иллюстрацию той же таблички. Большой круг — Юпитер; каждый из выстроенных по его диаметру кружков — Земля. Кружки по левую сторону Юпитера — его крупнейшие четыре спутника. Справа — Луна, Марс и Меркурий. Рассматривая этот чертеж, вы должны иметь в виду, что перед вами не диаграмма, а рисунок: соотношение площадей кружков не дает правильного представления о соотношении *объемов* шаров. Объемы шаров относятся, как кубы их поперечников.

Если диаметр Юпитера в 11 раз больше диаметра Земли, то объем его больше в 11^3, т. е. в 1300 раз. Сообразно этому вы и должны

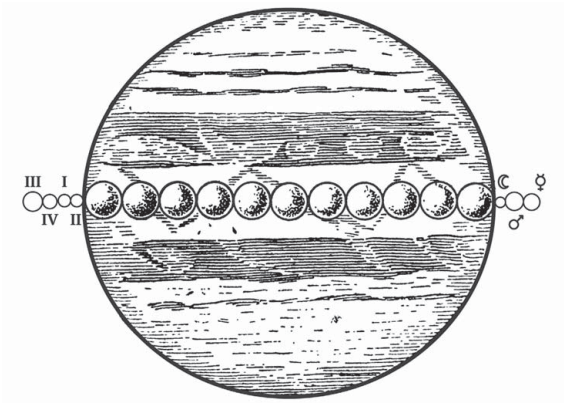


Рис. 65. Размеры Юпитера и его спутников (слева) по сравнению с размерами Земли (вдоль диаметра), Луны, Марса и Меркурия (справа)

исправить зрительное впечатление от рис. 65, и тогда огромные размеры Юпитера предстанут перед вами в надлежащем виде.

Что касается мощи Юпитера как притягивающего центра, то она внушительно выступает при обозрении расстояний, на которых планета-гигант заставляет обращаться вокруг себя свои луны. Вот табличка этих расстояний.

Расстояния	В километрах	Сравнительные
Луны от Земли	380 000	1
III спутника от Юпитера	1 070 000	3
IV » » »	1 880 000	5
IX » » »	23 700 000	62

Вы видите, что система Юпитера имеет размеры в 62 раза бóльшие, чем система Земля — Луна; столь широко раскинувшейся семьей спутников не владеет никакая другая планета.

Не без основания, значит, уподобляют Юпитер маленькому солнцу. Масса его втрое больше массы всех прочих планет, вместе взятых, и исчезни вдруг Солнце, — место его мог бы занять Юпитер, заставляя все планеты, хотя и медленно, обращаться вокруг него как около нового центрального тела системы.

Есть черты сходства Юпитера с Солнцем и по физическому устройству. Средняя плотность его вещества — 1,33 по отношению к воде — близка к плотности Солнца (1,4). Однако сильная сплюснутость Юпитера приводит к представлению о том, что Юпитер обладает плотным ядром, окруженным толстым слоем льда и гигантской атмосферой*.

Еще совсем недавно уподобление Юпитера Солнцу простирали и дальше; предполагали, что эта планета не покрыта твердой корой и едва вышла из стадии самосветящегося тела. Сейчас этот взгляд приходится отвергнуть: непосредственное измерение температуры Юпитера показало, что она чрезвычайно низка: на 140°С ниже нуля! Правда, речь идет о температуре облачных слоев, плавающих в юпитеровой атмосфере.

* По современным данным, Юпитер состоит из твердого ядра, жидкой оболочки и газообразной атмосферы. Все эти слои состоят из тех же самых веществ, находящихся в разных агрегатных состояниях — твердом, жидком и газообразном. — *Примеч. ред.*

Низкая температура Юпитера делает трудно разрешимой задачей объяснение его физических особенностей: бурных явлений в атмосфере, полос, пятен и т. п. Астрономия стоит здесь перед целым клубком загадок.

В атмосфере Юпитера (а также его соседа Сатурна) обнаружено несомненное присутствие большого количества аммиака и метана*.

Исчезновение колец Сатурна

В 1921 г. у нас разнесся сенсационный слух: Сатурн лишился своих колец! Мало того, обломки разрушенных колец летят в мировом пространстве по направлению к Солнцу и по пути должны обрушиться на Землю. Называли даже день, когда должно произойти катастрофическое столкновение...

История эта может служить характерным примером того, как зарождаются слухи. Поводом к возникновению сенсации послужило попросту то, что в названном году кольца Сатурна на короткое время перестали быть видимы, «исчезли», по выражению астрономического календаря. Молва поняла это выражение буквально как физическое исчезновение, т. е. разрушение колец, и украсила событие дальнейшими подробностями, приличествующими мировой катастрофе; отсюда падение обломков колец к Солнцу и неизбежное столкновение с Землей.

Сколько шуму наделало невинное сообщение астрономического календаря об оптическом исчезновении сатурновых колец! Чем же обусловливается это исчезновение? Кольца Сатурна очень тонки; толщина их измеряется двумя-тремя десятками километров; по сравнению с их шириной они имеют толщину листа бумаги. Поэтому, когда кольца становятся к Солнцу ребром, их верхние и нижние поверхности не освещаются, — и кольца делаются невидимыми. Невидимы они также тогда, когда становятся ребром к земному наблюдателю.

Кольца Сатурна наклонены к плоскости земной орбиты под углом в 27°, но за время 29-летнего обхода по планетной орбите кольца в двух диаметрально противоположных ее точках становятся ребром к Солнцу и к земному наблюдателю (рис. 66). А в двух других

* Еще значительнее содержание метана в атмосфере более далеких планет — Урана и особенно Нептуна. В 1944 г. обнаружена атмосфера из метана на самом большом спутнике Сатурна — Титане. — *Примеч. ред.*

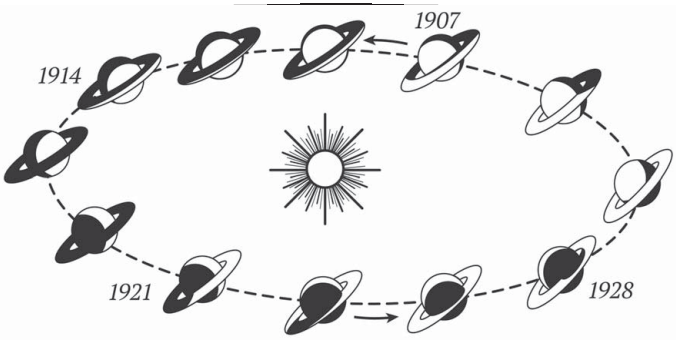


Рис. 66. Какие положения занимают кольца Сатурна по отношению к Солнцу в течение 29-летнего обращения планеты по орбите

точках, расположенных на 90° от первых, кольца, напротив, показывают Солнцу и Земле свою наибольшую ширину, — «раскрываются», как говорят астрономы.

Астрономические анаграммы

Исчезновение колец Сатурна некогда сильно озадачило Галилея, который был близок к открытию этой достопримечательности планеты, но не осуществил его именно из-за непонятного исчезновения колец. История эта очень любопытна. В то время существовал обычай закреплять за собой право на первенство в каком-либо открытии своеобразным способом. Напав на открытие, которое нуждается в дальнейшем подтверждении, ученый из опасения, чтобы его не опередили другие, прибегал к помощи анаграммы (перестановки букв); он кратко объявлял о сущности своего открытия в форме анаграммы, истинный смысл которой был известен лишь ему одному. Это давало ученому возможность не спеша проверить свое открытие, а в случае появления другого претендента — доказать свое первенство. Когда же он окончательно убеждался в правильности первоначальной догадки, он раскрывал секрет анаграммы. Заметив в свою несовершенную трубу, что Сатурн имеет по бокам какие-то придатки, Галилей поспешил сделать заявку на это открытие и опубликовал следующий набор букв:

Smaismrmielmepoetaleumibuvnenugttaviras.

Догадаться, что скрывается под этим шифром, — совершенно невозможно. Конечно, можно испытать все перестановки из этих 39 букв

и таким образом разыскать ту фразу, которую составил Галилей; но пришлось бы проделать чудовищную работу. Кто знаком с теорией соединений, тот может выразить общее число возможных здесь различных перестановок (с повторениями). Вот оно

$$\frac{39!}{3!\,5!\,4!\,4!\,2!\,2!\,5!\,3!\,3!\,2!\,2!}.$$

Число это состоит примерно из 35 цифр (вспомним, что число секунд в году состоит «только» из 8 цифр!). Теперь понятно, как хорошо забронировал Галилей секрет своей заявки.

Современник итальянского ученого Кеплер с присущим ему беспримерным терпением затратил немало труда на то, чтобы проникнуть в сокровенный смысл заявки Галилея, и ему казалось, что он добился этого, когда из опубликованных букв (опустив две) составил такую латинскую фразу:

Salve, umbistineum geminatum Martia proles
(Привет вам, близнецы, Марса порождение).

Кеплер был убежден, что Галилей открыл тех двух спутников Марса, существование которых подозревал он сам* (они в действительности и были открыты, но спустя два с половиной века). Однако остроумие Кеплера на этот раз не привело к цели. Когда Галилей раскрыл наконец секрет своей заявки, оказалось, что фраза — если двумя буквами пренебречь — такова:

Altissimum planetam tergeminum observavi
(Высочайшую планету тройною наблюдал).

Из-за слабости своей трубы Галилей не мог понять истинного значения этого «тройного» образа Сатурна, а когда спустя несколь-

* Очевидно, Кеплер руководствовался при этом предполагаемой прогрессией в числе спутников планет; зная, что у Земли один спутник, а у Юпитера четыре, он считал естественным существование у промежуточной планеты, Марса, двух спутников. Подобный ход мысли заставил и других мыслителей подозревать наличие двух марсовых спутников. У Вольтера в астрономической фантазии «Микромегас» (1750 г.) находим упоминание о том, что его воображаемые путешественники, приблизившись к Марсу, увидели «две луны, служащие этой планете и до сих пор скрывающиеся от взора наших астрономов». В еще ранее написанных «Путешествиях Гулливера» Свифта (1720 г.) имеется сходное место: астрономы Лапуты «открыли двух спутников, обращающихся около Марса». Эти любопытные догадки получили полное подтверждение лишь в 1877 г., когда Холл обнаружил существование двух спутников Марса с помощью сильного телескопа.

ко лет боковые придатки планеты совершенно исчезли, Галилей решил, что ошибся и никаких придатков у Сатурна нет.

Открыть кольца Сатурна посчастливилось только через полвека Гюйгенсу. Подобно Галилею, он не сразу опубликовал свое открытие, а скрыл догадку под тайнописью:

Aaaaaaaccccccdeeeeeeghiiiiiiiillllmmnnnnnnnnnn
ooooppqrrsttttttuuuuu.

Спустя три года, убедившись в правильности своей догадки, Гюйгенс обнародовал смысл заявки:

Annulo cingitur, tenui, piano, nusquam cohaerente,
ad eclipticam inclinato
(Кольцом окружен тонким, плоским, нигде
не прикасающимся, к эклиптике наклоненным).

Планета дальше Нептуна

В первом издании этой книги (1929 г.) я писал, что последняя известная нам планета Солнечной системы — Нептун, находящийся в 30 раз дальше от Солнца, чем Земля. Уже во втором издании книги я не мог повторить этого, потому что 1930 г. прибавил к нашей Солнечной системе новый член — девятую крупную планету, обращающуюся около Солнца далее Нептуна.

Открытие это не было полной неожиданностью. Астрономы давно уже склонялись к мысли о существовании неизвестной планеты далее Нептуна. Немногим больше 100 лет назад крайней планетой Солнечной системы считался Уран. Некоторые неправильности в его движении навели на подозрение о существовании еще более далекой планеты, притяжение которой нарушает расчисленный бег Урана. Математическое исследование вопроса английским математиком Адамсом и французским астрономом Леверрье завершилось блестящим открытием: заподозренная планета была усмотрена в телескоп. Мир, открытый «на кончике пера» вычислителей, был обнаружен и человеческим глазом.

Так был открыт Нептун. Впоследствии оказалось, что влияние Нептуна не объясняет без остатка всех неправильностей в движении Урана. Тогда выдвинута была мысль о существовании еще одной занептунной планеты. Надо было ее отыскать, и вычислители стали работать над этой задачей. Предложены были разнообразные варианты

ее решения: девятую планету относили на различные расстояния от Солнца и наделяли разыскиваемое небесное тело различной массой.

В 1930 г. телескоп наконец извлек из мрака окраин Солнечной системы новый член нашей планетной семьи, получивший название Плутона. Это важное открытие было сделано молодым американским астрономом Томбо.

Плутон кружится по пути, весьма близкому к одной из орбит, которые были предвычислены заранее. Тем не менее, по утверждению специалистов, нельзя в этом видеть удачи вычислителя; совпадение орбит в данном случае не более как любопытная случайность.

Что мы знаем об этом новооткрытом мире? Пока немного; он так далек от нас и так скупо освещается Солнцем, что в сильнейшие инструменты с трудом удалось измерить его диаметр. Он оказался равным 6000 км, т. е. около половины диаметра Земли.

Плутон движется вокруг Солнца по довольно вытянутой (эксцентриситет 0,25) орбите, заметно наклоненной (17°) к плоскости земной орбиты, на расстоянии от Солнца в 40 раз большем, чем Земля. Около 250 лет затрачивает планета, чтобы обойти этот огромный путь.

На небе Плутона Солнце светит в 1600 раз слабее, чем на земном. Оно виднеется маленьким диском в 45 угловых секунд, т. е. примерно такой величины, каким мы видим Юпитер. Интересно, однако, установить, что светит ярче: Солнце на Плутоне или полная Луна на Земле?

Оказывается, далекий Плутон вовсе не так обделен солнечным светом, как можно думать. Полная Луна светит у нас в 440 000 раз слабее Солнца. На небе же Плутона дневное светило слабее, чем у нас, в 1600 раз. Значит, яркость солнечного света на Плутоне в $\frac{440\,000}{1600}$, т. е. в 275 раз сильнее, чем свет полной Луны на Земле.

Дневное освещение там равно освещению 275 полных лун и раз в 30 ярче самой светлой белой ночи в Петербурге. Называть Плутон царством вечной ночи было бы поэтому неправильно.

Планеты-карлики

Девять крупных планет, о которых мы до сих пор беседовали, не исчерпывают всего планетного населения нашей Солнечной системы. Они только наиболее заметные по величине его представители. Кро-

ме них, около Солнца кружится на разных расстояниях множество гораздо более мелких планеток. Эти карлики планетного мира называются астероидами (буквально — «звездоподобными»), или просто «малыми планетами». Наиболее значительная из них, Церера, имеет в поперечнике 770 км; она значительно меньше Луны по объему, примерно во столько же раз, во сколько сама Луна меньше Земли.

Первая из малых планет, Церера, открыта была в первую ночь позапрошлого столетия (1 января 1801 г.). В течение XIX в. их было обнаружено свыше 400. Все малые планеты движутся вокруг Солнца, между орбитами Марса и Юпитера. До недавнего времени считалось поэтому установленным, что астероиды скучены кольцом в широком промежутке между орбитами двух названных планет.

Двадцатый век и в особенности самые недавние годы раздвинули границы пояса астероидов. Уже найденный в конце позапрошлого века (1898 г.) Эрос выступал за эти пределы, потому что значительная часть его пути находится внутри орбиты Марса. В 1920 г. астрономы наткнулись на астероид Гидальго, путь которого пересекает орбиту Юпитера и проходит недалеко от орбиты Сатурна. Астероид Гидальго замечателен и в другом отношении: из всех известных планет он обладает чрезвычайно вытянутой орбитой (эксцентриситет ее равен 0,66), к тому же всего сильнее наклоненной к плоскости земной орбиты: под углом в 43°. Отметим, кстати, что наименование свое планетка получила в честь Гидальго-и-Кастилья, героя революционной борьбы Мексики за независимость.

Еще более расширилась зона карликовых планет в 1936 г., когда открыт был астероид с эксцентриситетом 0,78. Новый член нашей Солнечной системы получил название Адонис. Особенность новооткрытой планетки та, что в наиболее удаленной точке своего пути она отходит от Солнца почти на расстояние Юпитера, в ближайшей же проходит недалеко от орбиты Меркурия.

Наконец, в 1949 г. открыта малая планета Икар, имеющая исключительную орбиту. Ее эксцентриситет равен 0,83, наибольшее удаление от Солнца вдвое больше радиуса земной орбиты, а наименьшее — около одной пятой расстояния от Земли до Солнца. Ни одна из известных планет не подходит к Солнцу так близко, как Икар.

Система регистрации вновь открываемых астероидов не лишена общего интереса, так как может быть с успехом применена и не для астрономических целей. Сначала выписывается год открытия планетки, затем буква, означающая полумесяц открытия. Так как в течение полумесяца нередко открывают несколько планеток, они обозначают-

ся вторыми буквами в порядке алфавита. Если 24 букв не хватает, повторяют их сначала, но с числами около них. Например, 1932 EA_1 есть астероид, открытый в 1932 г. в первой половине марта, 25-й по счету. После вычисления орбиты вновь открытой планеты она получает порядковый номер, а затем и имя*.

По расчетам, число астероидов в Солнечной системе должно быть порядка 40–50 тысяч.

В настоящее время число уловленных астрономами планет-карликов превышает полторы тысячи: из них свыше сотни открыто астрономами Симеизской обсерватории (в Крыму, на берегу Черного моря), главным образом стараниями усердного ловца астероидов Г. Н. Неуймина. Читатель не удивится, встретив в списке малых планет такие имена, как «Владилена» (в честь Владимира Ильича Ленина), а также «Морозовия» и «Фигнерия» (в честь шлиссельбургских героев), «Симеиза» и др. По числу открытых астероидов Симеиз занимает одно из первых мест среди обсерваторий мира; по разработке теоретических вопросов, связанных с астероидами, советская астрономия также занимает видное место в мировой науке. Институт теоретической астрономии Академии наук СССР (в Петербурге) в течение многих лет проводит предвычисление положений большого числа малых планет и улучшение теории их движений. Институтом ежегодно публикуются предвычисленные положения на небе малых планет (так называемые *эфемериды*) для всех обсерваторий мира.

Размеры малых планет крайне разнообразны. Таких крупных, как Церера или Паллада (диаметр 490 км), насчитывается среди них всего несколько. Около семи десятков астероидов обладают поперечником свыше 100 км. Бóльшая часть известных планеток имеет в диаметре от 20 до 40 км. Но есть много и совсем «крошечных» астероидов, диаметр которых едва достигает 2–3 км (слово «крошечный» взято в кавычки, потому что в устах астронома его надо понимать относительно). Хотя обнаружены далеко еще не все члены кольца астероидов, есть все же основания утверждать, что совокупная масса всех астероидов, открытых и неоткрытых, составляет около 1000-й доли массы земного шара. Полагают, что открыто пока не более 5%

* Подавляющее большинство астероидов носит женские имена, взятые из мифологии народов, либо из числа распространенных женских имен, либо, наконец, названия образуются присоединением женского окончания к фамилии известного ученого или к географическому названию — названию города или местоположения обсерватории. Так образованы, например, названия астероидов Белопольская, Москва. Некоторые особенные астероиды носят мужские имена. Таковы, например, 15 *троянцев* (Ахилл, Гектор и др.), а также упомянутые Эрос, Гидальго, Гермес. — *Примеч. ред.*

того числа астероидов, которое может быть доступно современным телескопам.

> «Можно было бы думать, — писал наш лучший знаток этих планеток Г. Н. Неуймин, — что физические свойства всех астероидов приблизительно одинаковы; в действительности же мы сталкиваемся с поразительным разнообразием. Так, уже определения отражательной способности первых четырех астероидов показали, что Церера и Паллада отражают свет, как темные горные породы Земли, Юнона — как светлые породы, Веста — подобно белым облакам. Это тем более загадочно, что астероиды по своей малости не могут удержать около себя атмосферы; они, несомненно, лишены последней, и всю разницу в отражающей способности приходится приписать самим материалам, из которых состоит поверхность планеты».

Некоторые малые планеты обнаруживают колебания блеска, свидетельствующие об их вращении вокруг своих осей и неправильной форме.

Наши ближайшие соседи

Упомянутый в предыдущей статье астероид Адонис выделяется среди других не только чрезвычайно большой, чисто кометной вытянутостью своей орбиты. Он замечателен и тем, что подходит очень близко к Земле. В год своего открытия Адонис пролетел на расстоянии $1^1/_2$ миллиона км от Земли. Правда, Луна ближе к нам, но ведь Луна, хотя и значительно крупнее астероидов, рангом ниже их: она не самостоятельная планета, а спутник планеты. Другой астероид — Аполлон — также вправе числиться в списке планет, самых близких к Земле. Этот астероид прошел в год своего открытия на расстоянии всего 3 миллионов км от Земли. Такая дистанция должна быть признана (на планетную мерку) очень короткой, потому что Марс не приближается к Земле менее чем на 55 миллионов км, а Венера подходит к нам не ближе 40 миллионов км. Любопытно, что к Венере тот же астероид приближается еще теснее: всего на 200 000 км — вдвое ближе, чем Луна к Земле! Более тесного сближения планет мы в Солнечной системе не знаем.

Этот наш планетный сосед замечателен еще и тем, что он относится к числу самых маленьких планет, зарегистрированных астрономами. Диаметр его не больше 2 км, а может быть, и меньше. В 1937 г. был открыт астероид Гермес, который может иногда сблизиться

с Землей на расстояние того же порядка, какое отделяет от нас Луну (500 тысяч км). Диаметр его не превышает 1 км.

Поучительно рассмотреть на этом примере, что означает на языке астрономии слово «маленький». Крошечный астероид, имеющий в объеме всего 0,52 км^3, т. е.

520 000 000 м^3,

если он гранитный, весит примерно

1 500 000 000 т.

Из такого материала можно было бы возвести 300 таких сооружений, как Хеопсова пирамида.

Вы видите, как своеобразно надо понимать слово «маленький», когда его употребляет астроном.

Попутчики Юпитера

Среди 1600 известных пока астероидов выделяется своим замечательным движением группа из пятнадцати малых планет, которым присвоены имена героев Троянской войны: *Ахилл*, *Патрокл*, *Гектор*, *Нестор*, *Приам*, *Агамемнон* и т. д. Каждый «троянец» кружится около Солнца так, что он, Юпитер и Солнце в любой момент расположены в вершинах равностороннего треугольника. «Троянцев» можно считать своеобразными попутчиками Юпитера, которые сопровождают его, оставаясь на большом расстоянии: одни находятся на 60° впереди Юпитера, другие — на столько же позади него, и все завершают оборот около Солнца в одно и то же время.

Равновесие этого планетного треугольника устойчиво: если бы астероид вышел из своего положения, силы тяготения вернули бы его к покинутому месту.

Задолго до открытия «троянцев» подобный случай подвижного равновесия трех притягивающихся тел был предусмотрен в чисто теоретических исследованиях французского математика Лагранжа. Он рассматривал этот случай как любопытную математическую задачу и полагал, что едва ли где-нибудь во Вселенной подобные соотношения осуществляются реально. Усердные поиски астероидов привели к тому, что для теоретического случая Лагранжа найдена была реальная иллюстрация в пределах нашей собственной планетной системы. Здесь наглядно обнаруживается, какое значение для раз-

вития астрономии имеет тщательное изучение тех многочисленных небесных тел, которые объединяются под наименованием малых планет.

Чужие небеса

Мы совершили уже воображаемый перелет на поверхность Луны, чтобы бросить оттуда беглый взгляд на нашу Землю и другие светила.

Посетим теперь мысленно планеты Солнечной системы и полюбуемся открывающимися оттуда небесными картинами.

Начнем с *Венеры*. Если бы атмосфера была там достаточно прозрачна, мы увидели бы диск Солнца, вдвое больший по площади, чем тот, который сияет на нашем небе (рис. 67). Соответственно этому Солнце посылает на Венеру вдвое больше тепла и света, чем на Землю. На ночном небе Венеры нас поразила бы звезда необычайной яркости. Это — Земля, сияющая здесь гораздо ярче, чем Венера у нас, хотя размеры обеих планет почти одинаковы. Легко понять, почему это так. Венера кружится около Солнца ближе, чем Земля. Поэтому в пору наибольшей ее близости к Земле мы совсем не можем ее видеть: она обращена к нам неосвещенной стороной. Она должна несколько удалиться в сторону, чтобы стать видимой, и тогда свет исходит лишь от узкого серпа, составляющего небольшую часть диска Венеры. Земля же на небе Венеры в пору наибольшей близости к ней



Рис. 67. Видимые размеры Солнца с Земли и других планет (рисунок нужно держать на расстоянии около 50 см)

светит *полным* диском, как у нас Марс в противостоянии. В итоге Земля на небе Венеры, находясь в полной фазе, светит в шесть раз ярче, чем Венера у нас при наибольшей ее яркости, если только, повторяем, небо нашей соседки вполне ясно. Было бы, однако, заблуждением думать, что земное сияние, обильно заливая ночную половину Венеры, может обусловить ее «пепельный свет»: освещение Венеры Землей равно по своей силе освещению нормальной свечи с расстояния 35 м; этого, конечно, недостаточно, чтобы породить явление «пепельного света».

К свету Земли на небе Венеры присоединяется нередко еще свет нашей Луны, которая сама по себе сияет здесь в четыре раза ярче Сириуса. Едва ли во всей Солнечной системе найдется объект блистательнее двойного светила Земля — Луна, украшающего небо Венеры. Наблюдатель на Венере значительную часть времени видел бы Землю и Луну раздельно, а в телескоп различались бы оттуда даже детали лунной поверхности.

Другая планета, ярко сияющая на небе Венеры, — Меркурий, ее утренняя и вечерняя звезда. Впрочем, и с Земли Меркурий виден яркой звездой, перед которой меркнет свет Сириуса. На Венере эта планета светит почти в три раза ярче, чем на Земле. Зато Марс сияет в $2^1/_2$ раза слабее: чуть тусклее, чем у нас светит Юпитер.

Что касается неподвижных звезд, то очертания созвездий совершенно одинаковы на небе всех планет Солнечной системы. С Меркурия, с Юпитера, с Сатурна, с Нептуна и с Плутона мы увидели бы одни и те же звездные узоры. Так велико удаление звезд по сравнению с планетными расстояниями.

*

Умчимся с Венеры на маленький *Меркурий*, перенесемся в странный мир, лишенный атмосферы, не знающий смены дня и ночи. Солнце неподвижно висит здесь на небе огромным диском, в шесть раз бóльшим (по площади), чем на Земле (рис. 67). Наша планета на небе Меркурия светит примерно вдвое ярче, чем Венера на земном небе. Сама Венера сияет здесь необычайно ярко. Никакая другая звезда или планета нигде в нашей системе не светит так ослепительно, как Венера на черном, безоблачном небе Меркурия.

*

Перенесемся на *Марс*. Солнце кажется отсюда диском, втрое меньшим по площади, чем с Земли (рис. 67). Наш собственный мир

сияет на небе Марса утренней и вечерней звездой, как у нас Венера, но тусклее ее, примерно так, как мы видим Юпитер. Земля никогда не видна здесь в своей полной фазе: марсиане могли бы видеть сразу не больше $^3/_4$ ее диска. Наша Луна видна была бы с Марса простому глазу звездой, почти столь же яркой, как Сириус. В телескоп и Земля, и сопутствующая ей Луна показали бы свои фазы.

Гораздо больше внимания должен привлекать к себе на марсовом небе ближайший спутник Марса — Фобос: при ничтожных своих размерах (16 км в диаметре) он настолько близок к Марсу, что в период «полнофобосия» сияет в 25 раз ярче, чем Венера у нас. Так как период его обращения вокруг Марса меньше, чем период вращения планеты, Фобос восходит на западе, пересекает марсианское небо против суточного движения звезд и заходит на востоке. Второй спутник, Деймос, заметно менее ярок, но и он затмевает свет Земли на марсовом небе. Несмотря на малые размеры, Фобос так близок к Марсу, что его фазы с Марса хорошо видны. Человек с очень острым зрением, вероятно, заметил бы и фазы Деймоса (Деймос виден с Марса под углом 1′, а Фобос — под углом около 6′).

С поверхности Фобоса мы увидим совершенно исключительное зрелище: на небе сияет, быстро меняя фазы, исполинский диск в несколько тысяч раз ярче нашей Луны. Это Марс. Диск его занимает на небе 41°, т. е. в 80 раз больше, чем у нас Луна. Только на ближайшем спутнике Юпитера можно наблюдать подобную же необычайную достопримечательность неба.

*

Перенесемся на поверхность упомянутой сейчас планеты-исполина. Если бы небо *Юпитера* было ясно, Солнце сияло бы на нем диском, в 25 раз меньшим по площади, чем на нашем небе (рис. 67); во столько же раз Солнце там и тусклее светит. Короткий пятичасовой день быстро сменяется ночью; на звездном фоне станем искать знакомые планеты. Мы их найдем, но как они здесь изменились! Меркурий совершенно теряется в лучах Солнца; Венеру и Землю можно наблюдать в телескоп только в сумерках, — они заходят вместе с Солнцем*. Марс едва заметен. Зато Сатурн соперничает по яркости с Сириусом.

Видное место на небе Юпитера занимают его луны: спутники I и II примерно так же ярки, как Земля на небе Венеры, III — втрое ярче, чем Земля, видимая с Венеры, IV и V — в несколько раз ярче

* Земля светит на небе Юпитера звездой восьмой величины.



Рис. 68. Юпитер, наблюдаемый с его третьего спутника

Сириуса. Что касается их размеров, то видимые поперечники первых четырех спутников больше видимого поперечника Солнца. Первые три спутника при *каждом* обороте погружаются в тень Юпитера, так что в фазе полного диска они никогда не видны. Полные солнечные затмения тоже бывают в этом мире, но область их видимости обнимает лишь узкую полоску поверхности Юпитера.

Едва ли, впрочем, атмосфера на Юпитере так же прозрачна, как у нас на Земле: для этого она там слишком высока и плотна.

Необыкновенно эффектное зрелище представляет сам Юпитер, видимый со своих ближайших спутников (рис. 68). Например, с пятого (самого близкого) спутника исполинский диск планеты имеет поперечник почти в 90 раз больше нашей Луны* и сияет всего в шесть-семь раз слабее Солнца. Когда он касается горизонта нижним своим краем, его верхний край приходится у середины небосклона. А погружаясь под горизонт, диск этот занимает восьмую часть всего кругозора. По этому быстро вращающемуся диску проходят время от времени темные кружки — тени юпитеровых лун, бессильных, конечно, сколько-нибудь заметно «затмить» гигантскую планету.

* Угловой диаметр Юпитера, рассматриваемого с этого спутника, более 44°. Это значит, что он занимает практически четвертую часть видимого там неба.

*

Переходя к следующей планете, к *Сатурну*, проследим лишь за тем, в каком виде представляются наблюдателю на Сатурне знаменитые кольца этой планеты. Оказывается, прежде всего, что кольца видны не из всех точек поверхности Сатурна. Начиная от полюсов до 64-й параллели расположены те места, где кольца вовсе не видны. На границе этих полярных областей можно видеть лишь внешний край наружного кольца (рис. 69). Начиная с 64-й параллели до 50-й условия видимости колец улучшаются, видна все бóльшая их часть, а на 50-й параллели наблюдатель может любоваться всей шириной колец, которые здесь представляются под наибольшим углом — в 12°. Ближе к экватору планеты они суживаются для наблюдателя, хотя и поднимаются выше над горизонтом. На самом экваторе Сатурна можно наблюдать кольца в виде очень узкой полоски, пересекающей небесный свод с запада на восток и проходящей через зенит.

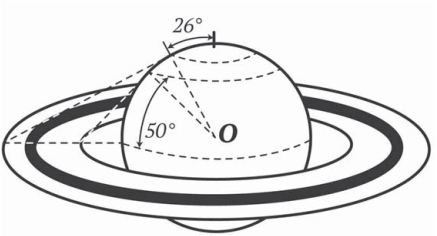


Рис. 69. Как определить видимость сатурновых колец для различных точек поверхности этой планеты. В полярной области до 64-й параллели кольца не видны совсем

Сказанное не дает еще полного представления об условиях видимости колец. Надо помнить, что освещена всегда только одна сторона колец, другая остается в тени. Эта освещенная часть видна лишь с той половины Сатурна, к которой она обращена. В течение половины долгого сатурнова года можно видеть кольца только с одной половины планеты (в остальное время они видны с другой половины), да и то преимущественно только днем. В те краткие часы, когда кольца видны ночью, они частью затмеваются тенью планеты. Наконец, еще одна любопытная подробность: экваториальные районы в течение ряда земных лет бывают затемнены кольцами*.

Самая феерическая небесная картина, без сомнения, та, которая открылась бы наблюдателю с одного из ближайших спутников Сатурна. Эта планета со своими кольцами, особенно в неполной фазе, когда

* Благодаря снимкам, полученным с автоматических межпланетных станций, сегодня известно, что колец у Сатурна — несколько сотен. Более того, некоторые из них ведут себя вопреки законам механики. Например, три тонких кольца переплетены между собой, как волокна в нитке. — *Примеч. ред.*

ПЛАНЕТНАЯ СИСТЕМА В ЧИСЛАХ

Размеры. Масса. Плотность. Спутники

(для планет-гигантов приводится число самых крупных спутников, а в скобках общее количество)

Названия планет	Средний поперечник			Объем (Земля = 1)	Масса (Земля = 1)	Плотность		Число спутников
	видимый в секундах дуги	истинный				Земля =1	Вода = 1	
		в км	Земля = 1					
Меркурий	13–14,7	4860	0,39	0,055	0,056	0,70	5,6	—
Венера	64–10	12 150	0,95	0,870	0,814	0,88	5,15	—
Земля	—	12 742	1,00	1,000	1,000	1,00	5,52	1
Марс	25–3,5	6790	0,53	0,150	0,108	0,72	3,97	2
Юпитер	50–30,5	140 720	11,20	1347	317,82	0,24	1,33	6 (63)
Сатурн	20,5–15	116 820	9,41	770	95,11	0,13	0,71	18(60)
Уран	4,2–3,4	49 200	3,75	51	14,52	0,23	1,47	15 (27)
Нептун	2,4–2,2	47 100	3,50	43	17,22	0,38	1,70	6(13)
Плутон	0,23	3000	0,25	0,1	0,0024	1	1,3	1

Продолжение

Расстояния. Обращение. Вращение. Тяжесть

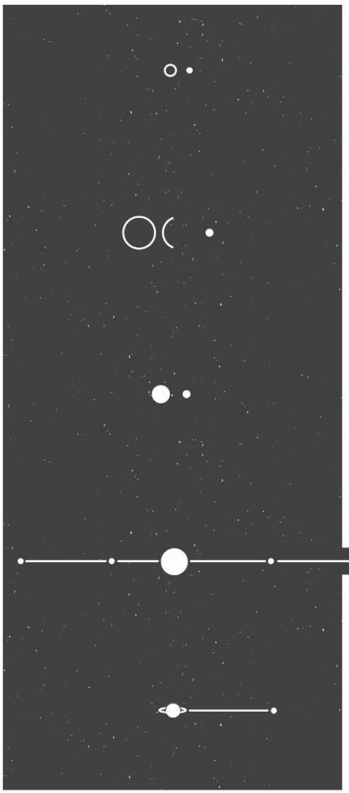
Названия планет	Среднее расстояние		Эксцентриситет орбиты	Время обращения вокруг Солнца в земных годах	Средняя скорость по орбите в км/с	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	Напряжение силы тяжести (Земля = 1)
	в астрономических единицах	в млн км						
Меркурий	0,387	57,9	0,206	0,24	47,9	59д	7°	0,38
Венера	0,723	108,1	0,007	0,62	35,0	220д	5°	0,88
Земля	1,000	149,6	0,017	1,00	29,8	23ч56м	23°27′	1,00
Марс	1,524	227,9	0,093	1,88	24,1	24 37	23 59	0,39
Юпитер	5,203	778,3	0,048	11,86	13,1	9 50	3 6,9	2,64
Сатурн	9,539	1427	0,056	29,46	9,6	10 14	26 44,7	1,17
Уран	19,182	2870	0,047	84,02	6,8	10 49	98	1,05
Нептун	30,057	4496	0,009	164,78	5,4	15 40	29	1,50
Плутон	39,439	5910	0,250	247,7	4,7	6д,39	?	0,05

Сатурн виден в форме серпа, представляет зрелище, какого нельзя видеть ни из какого другого места нашей планетной семьи. На небе вырисовывается огромный серп, пересеченный узкой полоской колец, которые наблюдаются с ребра, а вокруг них — группа сатурновых спутников также в виде серпов, только гораздо меньших размеров.

*

Ниже представлен — в нисходящем порядке — сравнительный блеск разных светил на небе других планет:

1. Венера с Меркурия
2. Земля с Венеры
3. Земля с Меркурия
4. *Венера с Земли*
5. Венера с Марса
6. Юпитер с Марса
7. *Марс с Земли*
8. Меркурий с Венеры
9. Земля с Марса
10. *Юпитер с Земли*
11. Юпитер с Венеры
12. Юпитер с Меркурия
13. Сатурн с Юпитера



Меркурий в наибольшей близости (невидим) и в наибольшем удалении

Венера в наибольшей близости (невидима), наибольший видимый серп, в наибольшем удалении

Марс в наибольшей близости и в наибольшем удалении

Юпитер с четырьмя наиболее крупными спутниками

Сатурн с крупнейшим спутником

Рис. 70. Планеты, видимые через телескоп

Мы выделили № 4, 7 и 10 — вид планет с Земли, так как их знакомый нам блеск может служить опорой для оценки видимости светил на других планетах. Здесь особенно наглядно видно, что наша собственная планета — Земля — по яркости занимает одно из первых мест на небе ближайших к Солнцу планет: даже на небе Меркурия она сияет сильнее, чем у нас Венера и Юпитер.

В статье «Звездная величина планет» (гл. IV) мы возвратимся к более точной, количественной оценке блеска Земли и других планет.

Приводим, наконец, ряд числовых данных. Они могут понадобиться читателю для справок.

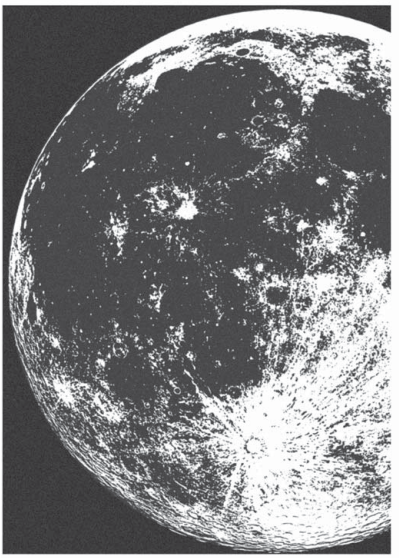


Рис. 71. Луна в телескопе

Солнце: диаметр 1 390 600 км, объем (Земли = 1) 1 301 200, масса (Земли = 1) 333 434, плотность (воды = 1) 1,41.

Луна: диаметр 3473 км, объем (Земли = 1) 0,0203, масса (Земли = 1) 0,0123, плотность (воды = 1) 3,33. Среднее расстояние от Земли 384 400 км.

На рис. 70 дано наглядное представление о том, какими кажутся планеты в небольшой телескоп, увеличивающий в сто раз. На рис. 71 дана Луна, как она видна при подобном увеличении (рисунок надо держать на расстоянии ясного зрения, т. е. в 25 см от глаз). Вверху изображен при указанном увеличении Меркурий в наименьшем и наибольшем удалении от нас. Под ним — Венера, затем Марс, система Юпитера и Сатурн с крупнейшим своим спутником. (Подробнее о видимых размерах планет — см. в моей книге «Занимательная физика», книга вторая, глава девятая.)

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ЗВЕЗДЫ

Почему звезды кажутся звездами?

Глядя на звезды невооруженным глазом, мы видим их лучистыми. Причина лучистого вида звезд кроется в нашем глазу — в недостаточной прозрачности хрусталика, имеющего не однородное строение, как хорошее стекло, а волокнистое. Вот что говорит об этом Гельмгольц (в речи «Успехи теории зрения»):

«Изображения световых точек, получаемых в глазу, неправильно лучисты. Причина этого лежит в хрусталике, волокна которого расположены лучисто по шести направлениям. Те лучи, которые кажутся нам исходящими из светящихся точек — например, из звезд, отдаленных огоньков, — не более как проявление лучистого строения хрусталика. Насколько этот недостаток глаз всеобщ, видно из того, что всякая лучистая фигура обыкновенно называется звездообразной».

Существует способ освободиться от влияния этого недостатка нашего хрусталика и видеть звезды без лучей, не обращаясь притом к услугам телескопа. Способ этот еще 400 лет назад указан был Леонардо да Винчи.

«Посмотри, — писал он, — на звезды без лучей. Этого можно достигнуть, наблюдая их сквозь малое отверстие, сделанное концом тонкой иглы и помещенное вплотную к глазу. Ты увидишь звезды столь малыми, что ничто другое не может казаться меньше».

Это не противоречит тому, что сказано о происхождении звездных «лучей» у Гельмгольца. Напротив, описанный опыт подтверждает его теорию: смотря сквозь весьма небольшое отверстие, мы пропускаем в свой глаз лишь тонкий световой пучок, проходящий сквозь центральную часть хрусталика и потому не претерпевающий воздействия его лучистой структуры*.

---

* Говоря о «лучах звезд», мы не имеем здесь в виду того луча, который словно протягивается к нам от звезды, когда мы смотрим на нее прищуренным глазом: это явление обусловлено дифракцией света на ресницах глаза.

Итак, будь наш глаз устроен совершеннее, мы видели бы на небе не «звезды», а светящиеся точки.

Почему звезды мерцают, а планеты сияют спокойно?

Отличить простым глазом неподвижную звезду от «блуждающей», т. е. планеты*, очень легко, даже не зная карты неба. Планеты сияют *спокойным* светом, звезды же непрестанно *мерцают*, как бы вспыхивают, дрожат, меняют яркость, а яркие звезды невысоко над горизонтом еще непрестанно переливаются разными цветами. «Этот свет, — говорит Фламмарион, — то яркий, то слабый, перемежающийся, то белый, то зеленый, то красный, сверкающий, как прозрачный алмаз, оживляет звездные пустыни, побуждая видеть в звездах словно глаза, глядящие на Землю». Особенно сильно и красочно мерцают звезды в морозные ночи и в ветреную погоду, а также после дождя, когда небо быстро очистилось от туч**. Звезды, стоящие над горизонтом, мерцают заметнее, чем горящие высоко в небе; звезды белые — сильнее, чем желтоватые и красноватые.

Как и лучистость, мерцание не есть свойство, присущее самим звездам; оно придается им земной атмосферой, через которую лучи звезд должны пройти, прежде чем достигнуть глаза. Поднявшись выше неспокойной газовой оболочки, сквозь которую мы рассматриваем Вселенную, мы не заметили бы мерцания звезд: они сияют там спокойным, постоянным светом.

Причина мерцания — та же, что заставляет дрожать отдаленные предметы, когда в знойные дни почва сильно нагрета Солнцем.

Звездному свету приходится пронизывать тогда не однородную среду, но газовые слои различной температуры, различной плотности, а значит, и различной преломляемости. В подобной атмосфере словно рассеяны многочисленные оптические призмы, выпуклые и вогнутые линзы, непрестанно меняющие свое расположение. Лучи света претерпевают в них многочисленные отклонения от прямого пути, то сосредоточиваясь, то рассеиваясь. Отсюда — частые изменения яркости звезды. А так как преломление сопровождается цвето-

* Первоначальный смысл греческого слова «планета» — «блуждающая звезда».

** Летом сильное мерцание является признаком приближения дождя, так как указывает на близость циклона. Перед дождем звезды отливают преимущественно *синим* цветом, перед засухой — *зеленым* (Ханевский, «Световые явления в атмосфере»).

рассеянием, то наряду с колебаниями яркости наблюдаются и изменения *окраски*.

> «Существуют, — писал известный советский астроном Г. А. Тихов, исследовавший явление мерцания, — способы, позволяющие сосчитать число перемен цвета мерцающей звезды в определенное время. Оказывается, что эти перемены совершаются чрезвычайно быстро, и число их колеблется в разных случаях от нескольких десятков до ста и более в секунду. Убедиться в этом можно следующим простым способом. Возьмите бинокль и смотрите в него на яркую звезду, приводя объективный конец бинокля в быстрое круговое вращение. Тогда вместо звезды вы увидите кольцо, состоящее из многих отдельных разноцветных звезд. При более медленном мерцании или при очень быстром движении бинокля кольцо это распадается вместо звезд на разноцветные дуги большой и малой длины».

Остается объяснить, почему планеты, в отличие от звезд, не мерцают, а светят ровно, спокойно. Планеты гораздо ближе к нам, чем звезды; они поэтому представляются глазу не точкой, а светящимся *кружочком*, диском, хотя и столь малых угловых размеров, что вследствие их слепящей яркости эти угловые размеры почти неощутимы.

Каждая отдельная точка такого кружка мерцает, но перемены яркости и цвета отдельных точек совершаются независимо одна от другой, в *разные* моменты времени, а потому восполняют друг друга; ослабление яркости одной точки совпадает с усилением яркости другой, так что общая сила света планеты остается неизменной. Отсюда — спокойный, немерцающий блеск планет.

Значит, планеты представляются нам немерцающими потому, что мерцают во многих точках, но в разные моменты времени.

Видны ли звезды днем?

Днем над нашими головами находятся те созвездия, которые полгода назад видны были ночью и спустя шесть месяцев вновь украсят ночное небо. Освещенная атмосфера Земли мешает нам их видеть, так как частицы воздуха рассеивают солнечные лучи в большем количестве, чем посылают нам звезды*.

* Наблюдая небо с высокой горы, т. е. имея самую плотную и запыленную часть атмосферы ниже себя, можно видеть наиболее яркие звезды и в дневные часы. Так, с вершины Арарата (5 км высоты) звезды первой величины хорошо различаются в 2 часа дня; небо там темно-синее.

Несложный опыт может наглядно пояснить это исчезновение звезд при дневном свете. В стенке картонной коробки пробивают несколько дырочек, расположенных наподобие какого-нибудь созвездия, а снаружи наклеивают лист белой бумаги. Ящик помещают в темную комнату и освещают изнутри: на пробитой стенке явственно выступают тогда освещенные изнутри дырочки — это звезды на ночном небе. Но стоит только, не прекращая освещения изнутри, зажечь в комнате достаточно яркую лампу, и искусственные звезды на листе бумаги бесследно исчезают: это «дневной свет» гасит звезды.

Часто приходится читать о том, что со дна глубоких шахт, колодцев, высоких дымовых труб и т. п. можно различать звезды и днем. Это распространенное убеждение, поддерживаемое ссылками на авторитетные имена, подвергнуто было критической проверке и не подтвердилось.

В сущности, ни один из писавших об этом авторов — от Аристотеля в древности до Джона Гершеля в XIX в. — не наблюдал звезд сам при подобных условиях. Все ссылаются на свидетельство третьих лиц. Насколько, однако, мало надежны бывают свидетельства «очевидцев», показывает следующий любопытный пример. В американском журнале появилась статья, относившая дневную видимость звезд со дна колодцев к числу басен. Мнение это было энергично опровергнуто письмом одного фермера, утверждавшего, что он сам видел днем Капеллу и Алголя из 20-метровой силосной башни. Проверка выяснила, однако, что на той широте, где находится ферма наблюдателя, ни та ни другая звезда не бывают в зените в указанное время года и, следовательно, не могли быть видны из глубины башни.

Теоретически нет оснований к тому, чтобы шахта или колодец могли помочь увидеть звезды днем. Как мы уже говорили, звезды не видны днем потому, что тонут в свете неба. Это условие не изменяется для глаза, помещенного на дне шахты. Отпадает лишь боковой свет на протяжении шахты, но лучи, испускаемые всеми частицами воздушного слоя выше отверстия шахты, должны по-прежнему мешать видимости звезд.

Имеет значение в данном случае лишь то, что стены колодца ограждают глаза от ярких лучей Солнца; но это может облегчить лишь наблюдение ярких планет, а не звезд.

В телескоп звезды видны днем вовсе не потому, как многие думают, что на них смотрят «со дна трубы», а потому, что преломление лучей в стеклах или отражение в зеркалах ослабляет яркость рассмат-

риваемого участка неба, между тем как яркость самой звезды (представляющейся в виде точки), напротив, усиливается. В телескоп, имеющий объектив диаметром в 7 см, можно уже видеть днем звезды первой и даже второй величины. Но к колодцам, шахтам, печным трубам сказанное неприменимо.

Другое дело — яркие *планеты*: Венера, Юпитер, Марс. Они светят гораздо ярче звезд, а потому при благоприятных условиях могут быть видны и на дневном небе (см. об этом раздел «Планеты при дневном свете» на с. 718).

Что такое звездная величина?

О существовании звезд первой и не первой величины знают даже люди, весьма далекие от астрономии: выражения эти общеупотребительны. Но о звездах ярче первой величины: нулевой и даже отрицательной величины, они едва ли слыхали; им покажется несообразным, что к звездам отрицательной величины принадлежат самые яркие светила неба, а наше Солнце есть «звезда минус 27-й величины». Иные усмотрят в этом, пожалуй, даже извращение понятия отрицательного числа. А между тем мы имеем здесь как раз наглядный пример последовательного проведения учения об отрицательных числах.

Остановимся подробнее на классификации звезд по величинам. Едва ли надо напоминать о том, что под словом «величина» разумеют в этом случае не геометрические размеры звезды, а ее видимый блеск. Уже в древности выделены были наиболее яркие звезды, раньше всех загорающиеся на вечернем небе, и отнесены к звездам первой величины. За ними следовали звезды второй величины, третьей и т. д. до звезд шестой величины, едва различимых невооруженным глазом. Такое субъективное распределение звезд по их блеску не могло удовлетворять астрономов Нового времени. Были выработаны более твердые основания для классификации звезд по блеску. Они состоят в следующем. Найдено, что наиболее яркие звезды в *среднем* (звезды эти неодинаковы по блеску) ярче наиболее слабых звезд, еще видимых простым глазом, ровно в 100 раз.

Шкала звездного блеска установлена так, что отношение блеска звезд двух смежных величин остается постоянным. Обозначив это «световое отношение» через n, имеем:

Звезды 2-й величины слабее звезд 1-й величины в n раз
» 3-й » » » 2-й » » n »
» 4-й » » » 3-й » » n »

и т. д.

Если же сравнить блеск звезд всех прочих величин с блеском звезд первой величины, то получим:

Звезды 3-й величины слабее звезд 1-й величины в n^2 раз
» 4-й » » » 1-й » » n^3 »
» 5-й » » » 1-й » » n^4 »
» 6-й » » » 1-й » » n^5 »

Из наблюдений было найдено, что $n^5 = 100$. Найти теперь величину светового отношения n легко (с помощью логарифмов).

$$n = \sqrt[5]{100} = 2{,}5^*.$$

Итак, звезды каждой следующей звездной величины светят в $2^1/_2$ раза слабее звезд предыдущей звездной величины.

Звездная алгебра

Рассмотрим немного подробнее группу наиболее ярких звезд. Мы уже отмечали, что блеск этих звезд неодинаков: одни светят в несколько раз ярче среднего, другие — тусклее (средняя степень их яркости — такая, которая в 100 раз превышает яркость звезд, едва различимых простым глазом).

Найдем сами обозначение блеска звезд, которые в $2^1/_2$ раза ярче средней звезды первой величины. Какое число предшествует единице? Число 0. Значит, такие звезды надо отнести к звездам «нулевой» величины. А куда отнести звезды, которые ярче звезд первой величины не в $2^1/_2$, а всего в полтора или два раза? Их место между 1 и 0, т. е. звездная величина такого светила выражается положительным дробным числом; говорят: «звезда 0,9 величины», «0,6 величины» и т. п. Такие звезды *ярче* первой величины.

Теперь станет понятной и необходимость введения отрицательных чисел для обозначения блеска звезд. Так как существуют звезды, по силе света *превышающие* нулевую величину, то, очевидно, их

* Более точное значение светового отношения 2,512.

блеск должен быть выражен числами, стоящими по другую сторону нуля, — отрицательными. Отсюда такие определения блеска, как «минус 1», «минус 2», «минус 1,4», «минус 0,9» и т. п.

В астрономической практике «величина» звезд определяется с помощью особых приборов — фотометров: блеск светила сравнивается с блеском определенной звезды, сила света которой известна, или же с «искусственной звездой» в приборе.

Приводим перечень самых ярких звезд неба с обозначением их звездной величины (в скобках указано наименование созвездия):

Сириус (α Большого Пса)	–1,6	Бетельгейзе (α Ориона)	0,9
Канопус (α Киля)	–0,9	Альтаир (α Орла)	0,9
α Центавра	0,1	α Южного Креста	1,1
Вега (α Лиры)	0,1	Альдебаран (α Тельца)	1,1
Капелла (α Возничего)	0,2	Поллукс (β Близнецов)	1,2
Арктур (α Волопаса)	0,2	Спика (α Девы)	1,2
Ригель (β Ориона)	0,3	Антарес (α Скорпиона)	1,2
Процион (α Малого Пса)	0,5	Фомальгаут (α Южной Рыбы)	1,3
Ахернар (α Эридана)	0,6	Денеб (α Лебедя)	1,3
β Центавра	0,9	Регул (α Льва)	1,3

Просматривая этот перечень, мы видим, что звезд точно первой величины не существует вовсе: от звезд величины 0,9 список переводит нас к звездам 1,1 величины, 1,2 величины и т. д., минуя величину 1,0 (первую). Звезда первой величины есть, следовательно, не более как условный стандарт блеска, но на небе ее нет.

Не следует думать, что распределение звезд по звездным величинам обусловлено физическими свойствами самих звезд. Оно вытекает из особенностей нашего зрения и является следствием общего для всех органов чувств «психофизиологического закона Вебера — Фехнера». В применении к зрению закон этот гласит: когда сила источника света изменяется в геометрической прогрессии, ощущение яркости изменяется в прогрессии арифметической. (Любопытно, что

оценка интенсивности звуков и шумов производится физиками по тому же принципу, что и измерение блеска звезд; подробности об этом читатель найдет в моих «Занимательной физике» и «Занимательной алгебре».)

Познакомившись с астрономической шкалой блеска, займемся некоторыми поучительными подсчетами. Вычислим, например, сколько звезд третьей величины, вместе взятых, светят так же, как одна звезда первой величины. Мы знаем, что звезда третьей величины слабее звезды первой величины в $2{,}5^2$, т. е. в 6,3 раза; значит, для замены понадобится 6,3 такой звезды. Звезд четвертой величины для замены одной звезды первой величины пришлось бы взять 15,8 и т. д. Подобными расчетами* найдены числа приводимой ниже таблицы.

Для замены одной звезды первой величины нужно следующее число звезд других величин:

2-й	2,5	7-й	250
3-й	6,3	10-й	4000
4-й	16	11-й	10 000
5-й	40	16-й	1 000 000
6-й	100		

Начиная с седьмой величины, мы вступаем уже в мир звезд, недоступных простому глазу. Звезды 16-й величины различаются лишь в весьма сильные телескопы**: чтобы можно было видеть их невооруженным глазом, чувствительность естественного зрения должна возрасти в 10 000 раз, тогда мы увидим их такими, какими видим сейчас звездочки шестой величины.

В приведенной выше таблице не могли, конечно, найти себе места звезды «перед-первой» величины. Сделаем расчеты также для некоторых из них. Звезда 0,5-й величины (Процион) ярче звезды первой величины в $2{,}5^{0{,}5}$, т. е. в полтора раза. Звезда минус 0,9-й величины (Канопус) ярче звезды первой величины в $2{,}5^{1{,}9}$, т. е. в 5,8 раза, а звезда минус 1,6-й величины (Сириус) — в $2{,}5^{2{,}6}$, т. е. в 10 раз.

Наконец, еще любопытный подсчет: сколько звезд первой величины могли бы заменить свет всего звездного неба (видимого простым глазом)?

---

* Вычисления облегчаются тем, что логарифм светового отношения выражается очень просто: он равен 0,4.

** Современные телескопы-рефлекторы диаметром 10–11 метров имеют гораздо бóльшие возможности. — *Примеч. ред.*

Примем, что звезд первой величины на одном полушарии неба 10. Замечено, что число звезд следующего класса примерно в три раза больше числа звезд предыдущего, яркость же их — в 2,5 раза меньше. Искомое число звезд равно поэтому сумме членов прогрессии:

$$10 + \left(10 \times 3 \times \frac{1}{2{,}5}\right) + \left(10 \times 3 \times \frac{1}{2{,}5^2}\right) + \ldots + \left(10 \times 3 \times \frac{1}{2{,}5^5}\right).$$

Получаем

$$\frac{10 \times \left(\frac{3}{2{,}5}\right)^6 - 10}{\frac{3}{2{,}5} - 1} = 95.$$

Итак, суммарный блеск всех звезд одного полушария, видимых простым глазом, равен приблизительно ста звездам 1-й величины (или одной звезде *минус* 4-й величины).

Если же подобное вычисление повторить, имея в виду не только звезды, видимые простым глазом, но и все те, которые доступны современному телескопу, то окажется, что суммарный свет их равносилен сиянию 1100 звезд первой величины (или одной звезды *минус* 6,6-й величины).

Глаз и телескоп

Сравним телескопическое наблюдение звезд с наблюдением их простым глазом.

Поперечник зрачка человеческого глаза при ночных наблюдениях примем в среднем равным 7 мм. Телескоп с объективом поперечником в 5 см пропускает лучей больше, чем зрачок, в $\left(\frac{50}{7}\right)^2$, т. е. примерно в 50 раз, а с поперечником 50 см — в 5000 раз. Вот во сколько раз телескоп усиливает яркость наблюдаемых в нем звезд! (Сказанное относится только к *звездам*, а никак не к планетам, имеющим заметный диск. Для планет при расчете яркости изображения следует принимать во внимание также оптическое увеличение телескопа.)

Зная это, вы можете рассчитать, каков должен быть поперечник объектива телескопа, чтобы в него видны были звезды той или иной величины; но при этом надо знать, до которой величины видны звезды в телескоп с объективом одного известного размера. Пусть, на-

пример, вы знаете, что в телескоп с диаметром отверстия 64 см можно различать звезды до 15-й величины включительно. Каким объективом надо располагать, чтобы видеть звезды следующей, 16-й величины? Составляем пропорцию:

$$\frac{x^2}{64^2} = 2{,}5,$$

где x — искомый диаметр объектива. Имеем

$$x = 64\sqrt{2{,}5} \approx 100 \text{ см}.$$

Понадобится телескоп с поперечником объектива в целый метр. Вообще для увеличения зоркости телескопа на одну звездную величину необходимо увеличение диаметра его объектива в $\sqrt{2{,}5}$, т. е. в 1,6 раза.

Звездная величина Солнца и Луны

Продолжим нашу алгебраическую экскурсию к небесным светилам. В той шкале, которая применяется для оценки блеска звезд, могут, помимо неподвижных звезд, найти себе место и другие светила — планеты, Солнце, Луна. О яркости планет мы побеседуем особо; здесь же укажем звездную величину Солнца и Луны. Звездная величина Солнца выражается числом *минус* 26,8, а полной* Луны — *минус* 12,6. Почему оба числа отрицательные, читателю, надо думать, понятно после всего сказанного ранее. Но, быть может, его приведет в недоумение недостаточно большая разница между звездной величиной Солнца и Луны: первая «всего вдвое больше второй».

Не забудем, однако, что обозначение звездной величины есть, в сущности, некоторый логарифм (при основании 2,5). И как нельзя, сравнивая числа, делить один на другой их логарифмы, так не имеет никакого смысла, сравнивая между собой звездные величины, делить одно число на другое. Каков результат правильного сравнения, показывает следующий расчет.

Если звездная величина Солнца «*минус* 26,8», то это значит, что Солнце ярче звезды первой величины

$$\text{в } 2{,}5^{27{,}8} \text{ раза}.$$

* В первой и в последней четверти звездная величина Луны *минус* 9.

Луна же ярче звезды первой величины

$$\text{в } 2{,}5^{13{,}6} \text{ раза.}$$

Значит, яркость Солнца больше яркости полной Луны в

$$\frac{2{,}5^{27{,}8}}{2{,}5^{13{,}6}} = 2{,}5^{14{,}2} \text{ раза.}$$

Вычислив эту величину (с помощью таблиц логарифмов), получаем 447 000. Вот, следовательно, правильное отношение яркостей Солнца и Луны: дневное светило в ясную погоду освещает Землю в 447 000 раз сильнее, чем полная Луна в безоблачную ночь.

Считая, что количество *теплоты*, выделяемое Луной, пропорционально количеству рассеиваемого ею света, — а это, вероятно, близко к истине, — надо признать, что Луна посылает нам и теплоты в 447 000 раз меньше, чем Солнце. Известно, что каждый квадратный сантиметр на границе земной атмосферы получает от Солнца около 2 малых калорий теплоты в 1 минуту. Значит, Луна посылает на 1 см^2 Земли ежеминутно не более 225 000-й доли малой калории (т. е. может нагреть 1 г воды в 1 минуту на 225 000-ю часть градуса). Отсюда видно, насколько необоснованны все попытки приписать лунному свету какое-либо влияние на земную погоду*.

Распространенное убеждение, что облака нередко тают под действием лучей полной Луны, — грубое заблуждение, объясняемое тем, что исчезновение облаков в ночное время (обусловленное другими причинами) становится *заметным* лишь при лунном освещении.

Оставим теперь Луну и вычислим, во сколько раз Солнце ярче самой блестящей звезды всего неба — Сириуса. Рассуждая так же, как и раньше, получаем отношение их блеска:

$$\frac{2{,}5^{27{,}8}}{2{,}5^{2{,}6}} = 2{,}5^{25{,}2} = 10\,000\,000\,000,$$

т. е. Солнце ярче Сириуса в 10 миллиардов раз.

Очень интересен также следующий расчет: во сколько раз освещение, даваемое полной Луной, ярче совокупного освещения всего звездного неба, т. е. всех звезд, видимых простым глазом на одном небесном полушарии? Мы уже вычислили, что звезды от 1-й до 6-й величины включительно светят вместе так, как сотня звезд первой

* Вопрос о том, может ли Луна влиять на погоду своим притяжением, будет рассмотрен на с. 809–810 («Луна и погода»).

величины. Задача, следовательно, сводится к вычислению того, во сколько раз Луна ярче сотни звезд первой величины.

Это отношение равно

$$\frac{2{,}5^{13{,}6}}{100} = 2700.$$

Итак, в ясную безлунную ночь мы получаем от звездного неба лишь 2700-ю долю того света, какой посылает полная Луна, и в 2700 × 447 000, т. е. в 1200 миллионов раз меньше, чем дает в безоблачный день Солнце.

Прибавим еще, что звездная величина нормальной международной «свечи» на расстоянии 1 м равна *минус* 14,2, значит, свеча на указанном расстоянии освещает ярче полной Луны в $2{,}5^{14{,}2\,-\,12{,}6}$, т. е. в четыре раза.

Небезынтересно, может быть, отметить еще, что прожектор авиационного маяка силой в 2 миллиарда свечей виден был бы с расстояния Луны звездой $4^1/_2$-й величины, т. е. мог бы различаться невооруженным глазом.

Истинный блеск звезд и Солнца

Все оценки блеска, которые мы делали до сих пор, относились только к их видимому блеску. Приведенные числа выражают блеск светил на тех расстояниях, на каких каждое из них в действительности находится. Но мы хорошо знаем, что звезды удалены от нас неодинаково; видимый блеск звезд говорит нам поэтому как об их истинном блеске, так и об их удалении от нас, — вернее, ни о том ни о другом, пока мы не расчленим оба фактора. Между тем важно знать, каков был бы сравнительный блеск или, как говорят, «светимость» различных звезд, если бы они находились от нас на одинаковом расстоянии.

Ставя так вопрос, астрономы вводят понятие об «абсолютной» звездной величине звезд. Абсолютной звездной величиной звезды называется та, которую звезда имела бы, если бы находилась от нас на расстоянии 10 парсеков. Парсек — особая мера длины, употребляемая для звездных расстояний; о ее происхождении мы побеседуем позднее особо, здесь скажем лишь, что один парсек составляет около 30 800 000 000 000 км. Самый расчет абсолютной звездной величины произвести нетрудно, если знать расстояние звезды и при-

нять во внимание, что блеск должен убывать пропорционально квадрату расстояния*.

Мы познакомим читателя с результатом лишь двух таких расчетов: для Сириуса и для нашего Солнца. *Абсолютная* величина Сириуса +1,3, Солнца +4,8. Это значит, что с расстояния 308 000 000 000 000 км Сириус сиял бы нам звездой 1,3-й величины, а наше Солнце 4,8-й величины, т. е. слабее Сириуса в

$$\frac{2{,}5^{3{,}8}}{2{,}5^{0{,}3}} = 2{,}5^{3{,}5} = 25 \text{ раз},$$

хотя *видимый* блеск Солнца в 10 000 000 000 раз больше блеска Сириуса.

Мы убедились, что Солнце — далеко не самая яркая звезда неба. Не следует, однако, считать наше Солнце совсем пигмеем среди окружающих его звезд: светимость его все же выше средней. По данным звездной статистики, средними по светимости из звезд, окружающих Солнце до расстояния 10 парсеков, являются звезды 9-й абсолютной величины. Так как абсолютная величина Солнца равна 4,8, то оно ярче, нежели средняя из «соседних» звезд, в

$$\frac{2{,}5^{8}}{2{,}5^{3{,}8}} = 2{,}5^{4{,}2} = 50 \text{ раз}.$$

Будучи в 25 раз абсолютно тусклее Сириуса, Солнце оказывается все же в 50 раз ярче, чем *средние* из окружающих его звезд.

Самая яркая звезда из известных

Самой большой светимостью обладает недоступная простому глазу звездочка 8-й величины в созвездии Золотой Рыбы, обозначаемая

---

* Вычисление можно выполнять по следующей формуле, происхождение которой станет ясно читателю, когда немного позднее он познакомится ближе с парсеком и параллаксом:

$$2{,}5^{M} = 2{,}5^{m}\left(\frac{\pi}{0{,}1}\right)^{2}.$$

Здесь M — абсолютная величина звезды, m — ее видимая величина, π — параллакс звезды в секундах. Последовательные преобразования таковы:

$$2{,}5^{M} = 2{,}5^{m} \times 100\pi^{2},$$

$$M \lg 2{,}5 = m \lg 2{,}5 + 2 + 2 \lg\pi,$$

$$0{,}4\, M = 0{,}4m + 2 + 2 \lg\pi,$$

откуда

$$M = m + 5 + 5 \lg\pi.$$

Для Сириуса, например, $m = -1{,}6$, $\pi = 0''{,}38$. Поэтому его абсолютная величина

$$M = -1{,}6 + 5 + 5 \lg 0{,}38 = 1{,}3.$$

латинской буквой S. Созвездие Золотой Рыбы находится в южном полушарии неба и не видно в умеренном поясе нашего полушария. Упомянутая звездочка входит в состав соседней с нами звездной системы — Малого Магелланова Облака, расстояние которого от нас оценивается примерно в 12 000 раз больше, чем расстояние до Сириуса. На таком огромном удалении звезда должна обладать совершенно исключительной светимостью, чтобы казаться даже 8-й величины. Сириус, заброшенный так же глубоко в пространстве, сиял бы звездой 17-й величины, т. е. был бы едва виден в самый могущественный телескоп.

Какова же светимость этой замечательной звезды? Расчет дает такой результат: *минус* 8-я величина. Это значит, что наша звезда абсолютно в 400 000 раз (примерно) ярче Солнца! При такой исключительной яркости звезда эта, будучи помещена на расстоянии Сириуса, казалась бы на девять величин ярче его, т. е. имела бы примерно яркость Луны в фазе четверти! Звезда, которая с расстояния Сириуса могла бы заливать Землю таким ярким светом, имеет бесспорное право считаться самой яркой из известных нам звезд.

Звездная величина планет на земном и чужом небе

Возвратимся теперь к мысленному путешествию на другие планеты (проделанному нами в разделе «Чужие небеса») и оценим более точно блеск сияющих там светил. Прежде всего укажем звездные величины планет в максимуме их блеска на *земном* небе.

На небе Земли:

Венера	−4,3	Сатурн	−0,4
Марс	−2,8	Уран	+5,7
Юпитер	−2,5	Нептун	+7,6
Меркурий	−1,2		

Просматривая, видим, что Венера ярче Юпитера почти на две звездные величины, т. е. в $2{,}5^{1{,}8} \approx 5$ раз, а Сириуса в $2{,}5^{2{,}7} \approx 12$ раз (блеск Сириуса — 1,6-й величины). Отсюда и видно, что тусклая планета Сатурн все же ярче всех неподвижных звезд, кроме Сириуса и Канопуса. Здесь мы находим объяснение тому факту, что планеты (Венера, Юпитер) бывают иногда днем видны простым глазом, звезды же при дневном свете совершенно недоступны невооруженному зрению.

Далее приводим оценку блеска светил на небе Венеры, Марса и Юпитера без новых пояснений, так как они представляют собой лишь количественное выражение того, о чем говорилось уже в разделе «Чужие небеса».

На небе Марса:

Солнце	−26
Фобос	−8
Деймос	−3,7
Венера	−3,2
Юпитер	−2,8
Земля	−2,6
Меркурий	−0,8
Сатурн	−0,6

На небе Венеры:

Солнце	−27,5
Земля	−6,6
Меркурий	−2,7
Юпитер	−2,4
Земная Луна	−2,4
Сатурн	−0,3

На небе Юпитера:

Солнце	−23	IV спутник	−3,3
I спутник	−7,7	V »	−2,8
II »	−6,4	Сатурн	−2
III »	−5,6	Венера	−0,3

Оценивая яркость планет на небе их собственных спутников, следует на первое место поставить «полный» Марс в небе Фобоса (−22,5), затем «полный» Юпитер в небе V спутника (−21) и «полный» Сатурн в небе его спутника Мимаса (−20): Сатурн здесь всего впятеро менее ярок, чем Солнце!

Поучительна, наконец, следующая оценка блеска планет, наблюдаемых одна с другой. Располагаем их в порядке убывания блеска.

Отсюда видно, что на небе главных планет самыми яркими светилами являются Венера, наблюдаемая с Меркурия, Земля, видимая с Венеры, и Земля, видимая с Меркурия.

Звездная величина

Венера с Меркурия	−7,7	Меркурий с Венеры	−2,7
Земля с Венеры	−6,6	Земля с Марса	−2,6
Земля с Меркурия	−5	Юпитер с Земли	−2,5
Венера с Земли	−4,3	Юпитер с Венеры	−2,4
Венера с Марса	−3,2	Юпитер с Меркурия	−2,2
Юпитер с Марса	−2,8	Сатурн с Юпитера	−2
Марс с Земли	−2,8		

Почему телескоп не увеличивает звезд?

Людей, впервые направляющих зрительную трубу на неподвижные звезды, поражает то, что труба, так заметно увеличивающая Луну и планеты, нисколько не увеличивает размеров звезд, даже уменьшает их, превращая в яркую точку, не имеющую диска. Это заметил еще Галилей, первый человек, взглянувший на небо вооруженным глазом. Описывая свои ранние наблюдения с помощью изобретенной им трубы, он говорит:

> «Достойно замечания различие в виде планет и неподвижных звезд при наблюдении через трубу. Планеты представляются маленькими кружками, резко очерченными, как бы малыми лунами; неподвижные же звезды не имеют различимых очертаний... Труба увеличивает только их блеск, так что звезды 5-й и 6-й величины делаются по яркости равными Сириусу, который является самой блестящей из неподвижных звезд».

Чтобы объяснить такое бессилие телескопа по отношению к звездам, придется напомнить кое-что из физиологии и физики зрения. Когда мы следим за удаляющимся от нас человеком, его изображение на сетчатке глаза становится все меньше. При достаточном удалении голова и ноги человека настолько сближаются на сетчатке, что попадают уже не на разные ее элементы (нервные окончания), но на один и тот же, и тогда человеческая фигура кажется нам точкой, лишенной очертаний. У большинства людей это наступает тогда, когда угол, под которым усматривается предмет, уменьшается до 1′. Назначение телескопа состоит в том, чтобы увеличить угол, под которым глаз видит предмет, или, что то же самое, растянуть изображение каждой детали предмета на несколько смежных элементов сетчатки. О телескопе говорят, что он «увеличивает в 100 раз», если угол, под которым мы видим предметы в этот телескоп, в 100 раз больше угла, под которым мы на том же расстоянии видим их простым глазом. Если же какая-нибудь деталь и при таком увеличении усматривается под углом меньше 1′, то данный телескоп недостаточен для рассмотрения этой подробности.

Нетрудно рассчитать, что самая мелкая подробность, какую можно различить на расстоянии Луны в телескоп, увеличивающий в 1000 раз, имеет в поперечнике 110 м, а на расстоянии Солнца — 40 км. Но если тот же расчет сделать для ближайшей звезды, то получим огромную величину — 12 000 000 км.

Поперечник нашего Солнца меньше этой величины в $8^1/_2$ раза. Значит, перенесенное на расстояние *ближайшей* звезды, Солнце наше должно казаться точкой даже в телескоп с 1000-кратным увеличением. Ближайшая звезда должна обладать объемом в 600 раз бóльшим Солнца, чтобы сильные телескопы могли показать ее диск. На расстоянии Сириуса звезда должна для этого быть больше Солнца по объему в 5000 раз. Так как большинство звезд расположено гораздо дальше сейчас упомянутых, а размеры их в среднем не превышают в такой степени размеров Солнца, то звезды и в сильные телескопы представляются нам точками.

«Ни одна звезда на небе, — говорит Джинс, — не имеет большего углового размера, чем булавочная головка с расстояния в 10 км, и нет еще такого телескопа, в который предмет столь малых размеров был бы виден как диск». Напротив, крупные небесные тела, входящие в состав нашей Солнечной системы, показывают при наблюдении в телескоп свои диски тем крупнее, чем больше увеличение. Но, как мы уже имели случай упомянуть, астроном встречается здесь с другим неудобством: вместе с увеличением изображения ослабевает его яркость (вследствие распределения потока лучей на бóльшую поверхность), слабая же яркость затрудняет различение подробностей. Потому при наблюдении планет и особенно комет приходится пользоваться лишь умеренными увеличениями телескопа.

Читатель, пожалуй, задаст вопрос: если телескоп не увеличивает звезд, то зачем же употребляют его при их наблюдении?

После сказанного в предыдущих статьях едва ли нужно долго останавливаться на ответе. Телескоп бессилен увеличивать видимые *размеры* звезд, но он усиливает их *яркость*, а следовательно, умножает число звезд, доступных зрению.

Второе, что достигается благодаря телескопу, это *разделение* тех звезд, которые представляются невооруженному глазу сливающимися в одну. Телескоп не может увеличивать видимого поперечника звезд, но увеличивает *видимое расстояние* между ними. Поэтому телескоп открывает нам двойные, тройные и еще более сложные звезды там, где невооруженный глаз видит одиночную звезду. Звездные скопления, для простого глаза сливающиеся за дальностью расстояния в туманное пятнышко, а в большинстве случаев и вовсе невидимые, рассыпаются в поле телескопа на многие тысячи отдельных звезд.

И наконец, третья услуга телескопа при изучении мира звезд состоит в том, что он дает возможность *измерять* углы с поразительной

точностью: на фотографиях, полученных с современными большими телескопами, астрономы измеряют углы величиной в 0″,01. Под таким углом усматривается копейка с расстояния 300 км или человеческий волос с расстояния 100 м!

Как измерили поперечники звезд?

В самый сильный телескоп, как мы сейчас объяснили, нельзя *увидеть* поперечники неподвижных звезд. До недавнего времени все соображения о том, каковы размеры звезд, были только догадками. Допускали, что каждая звезда в среднем примерно такой же величины, как наше Солнце, но ничем не могли подкрепить этой догадки. И так как для различения звездных диаметров необходимы более мощные телескопы, чем самые сильные телескопы нашего времени, то задача определения истинных диаметров звезд казалась неразрешимой.

Так обстояло дело до 1920 г., когда новые приемы и орудия исследования открыли астрономам путь к измерению истинных размеров звезд.

Этим новейшим достижением астрономия обязана своей верной союзнице — физике, не раз оказывавшей ей самые ценные услуги.

Мы сейчас изложим сущность способа, основанного на явлении интерференции света.

Чтобы уяснить принцип, на котором основан этот метод измерений, произведем опыт, требующий несложных средств: небольшого телескопа, дающего увеличение в 30 раз, и находящегося на расстоянии 10–5 м от него яркого источника света, загороженного экраном с очень узкой (несколько десятых долей миллиметра) вертикальной щелью. Объектив закроем непрозрачной крышкой с двумя круглыми отверстиями около 3 мм в диаметре, расположенными симметрично относительно центра объектива на расстоянии 15 мм друг от друга (рис. 72). Без крышки щель в телескоп имеет вид узкой полосы со значительно более слабыми полосками по бокам. При наблюдении же с крышкой центральная яркая полоса представляется исчерченной вертикальными темными полосами. Эти полосы появились как следствие взаимодействия (интерференции) двух световых пучков, прошедших сквозь два отверстия в крышке объектива. Если закрыть одно из отверстий — полоски исчезнут.

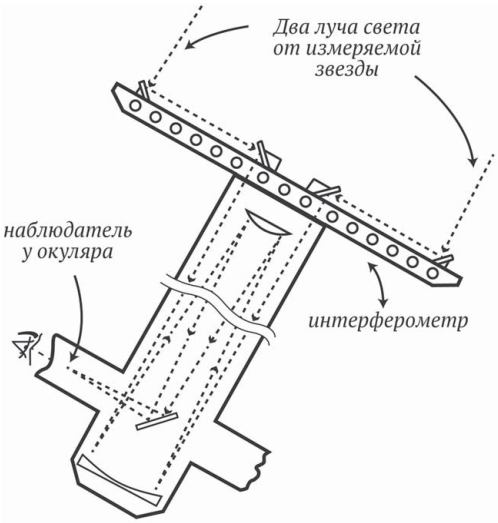


Рис. 72. Схема установки, поясняющей устройство прибора интерферометра для измерения угловых диаметров звезд

Если отверстия перед объективом сделать подвижными, так что расстояние между ними можно будет изменять, то по мере их раздвижения темные полоски будут становиться все менее ясными и наконец исчезнут. Зная расстояние между отверстиями в этот момент, можно определить угловую ширину щели, т. е. угол, под которым видна ширина щели наблюдателю. Если же знать расстояние до самой щели, то можно вычислить ее действительную ширину. Если вместо щели у нас будет маленькое круглое отверстие, то способ определения ширины такой «круглой щели» (т. е. диаметра кружка) остается тем же самым, надо лишь полученный угол умножить на 1,22.

При измерении диаметров звезд мы следуем тем же путем, но ввиду чрезвычайной малости углового диаметра звезд должны применять весьма большие телескопы.

Помимо работы описанным инструментом, интерферометром, есть и другой, более окольный способ оценки истинного диаметра звезд, основанный на исследовании их спектров.

По спектру звезды астроном узнает ее температуру, а отсюда вычисляет величину излучения 1 см^2 ее поверхности. Если, кроме того, известны расстояние до звезды и ее видимый блеск, то определяется и величина излучения *всей* ее поверхности. Отношение второй величины к первой дает размер поверхности звезды, а значит и ее диаметр.

Таким образом найдено, например, что поперечник Капеллы в 16 раз больше солнечного, Бетельгейзе — в 290 раз, Альдебарана — в 48 раз, Арктура — в 30 раз, Сириуса — в 2 раза, Веги — в $2^1/_2$ раза, а поперечник спутника Сириуса составляет 0,02 солнечного.

Гиганты звездного мира

Результаты определения звездных поперечников оказались поистине поразительными. Астрономы не подозревали раньше, что во Вселенной могут быть такие гигантские звезды. Первой звездой, истинные размеры которой удалось определить (в 1920 г.), была яркая звезда α Ориона, носящая арабское название Бетельгейзе. Ее поперечник оказался превышающим диаметр орбиты Марса!

Другим гигантом является Антарес, самая яркая звезда в созвездии Скорпиона: ее поперечник примерно в полтора раза больше диаметра земной орбиты (рис. 73). В ряду открытых пока звездных гигантов надо поставить и так называемую Дивную («Мира») звезду в созвездии Кита, диаметр которой в 400 раз больше диаметра нашего Солнца.

Остановимся теперь на физическом устройстве этих исполинов. Расчет показывает, что подобные звезды, несмотря на чудовищные размеры, содержат несоразмерно мало вещества. Они тяжелее нашего Солнца всего в несколько раз; а так как по объему Бетельгейзе, например, больше Солнца в 90 000 000 раз, то плотность этой звезды

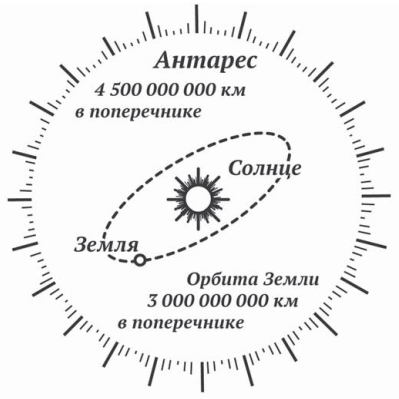


Рис. 73. Звезда-гигант Антарес (α Скорпиона) могла бы включить в себя наше Солнце с земной орбитой

должна быть ничтожна. И если вещество Солнца в среднем по плотности приближается к воде, то вещество звезд-гигантов в этом отношении походит на разреженный воздух. Звезды эти, по выражению одного астронома, «напоминают громадный аэростат малой плотности, значительно меньшей, нежели плотность воздуха».

Неожиданный расчет

Интересно рассмотреть в связи с предыдущим, сколько места заняли бы на небе все звезды, если бы их видимые изображения были примкнуты одно к другому.

Мы уже знаем, что совместный блеск всех звезд, доступных телескопу, равен блеску звезды *минус* 6,6-й величины (см. выше). Такая звезда светит на 20 звездных величин слабее нашего Солнца, т. е. дает света меньше в 100 000 000 раз. Если считать Солнце по температуре его поверхности звездой средней, то можно принять, что видимая поверхность нашей воображаемой звезды в указанное число раз меньше видимой поверхности Солнца. А так как диаметры кругов пропорциональны квадратным корням из их поверхностей, то видимый диаметр нашей звезды должен быть меньше видимого диаметра Солнца в 10 000 раз, т. е. равняться

$$30' : 10\,000 \approx 0'',2.$$

Результат поразительный: совместная видимая поверхность всех звезд занимает на небе столько места, сколько кружок с угловым диаметром в 0″,2. Небо содержит 41 253 квадратных градуса; легко сосчитать поэтому, что видимые в телескоп звезды покрывают только одну двадцатитриллионную долю всего неба!

Самое тяжелое вещество

Среди диковинок, скрытых в глубинах Вселенной, вероятно, навсегда сохранит одно из значительных мест небольшая звездочка близ Сириуса. Эта звезда состоит из вещества, в 60 000 раз более тяжелого, нежели вода! Когда мы берем в руки стакан ртути, нас удивляет его грузность: он весит около 3 кг. Но что сказали бы мы о стакане вещества, весящем 12 т и требующем для перевозки железно-

дорожной платформы? Это кажется абсурдом, а между тем таково одно из открытий новейшей астрономии.

Открытие это имеет длинную и в высшей степени поучительную историю. Уже давно было замечено, что блистательный Сириус совершает свое собственное движение среди звезд не по прямой линии, как большинство других звезд, а по странному извилистому пути (рис. 74). Чтобы объяснить эти особенности его движения, известный астроном Бессель предположил, что Сириуса сопровождает спутник, своим притяжением «возмущающий» его движение. Это было в 1884 г. — за два года до того, как был открыт Нептун «на кончике пера». А в 1862 г., уже после смерти Бесселя, догадка его получила полное подтверждение, так как заподозренный спутник Сириуса был усмотрен в телескоп.

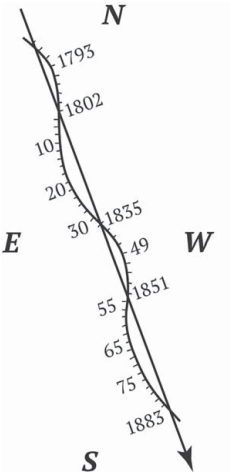


Рис. 74. Путь Сириуса среди звезд с 1793 по 1883 г.

Спутник Сириуса — так называемый «Сириус B» — обращается около главной звезды в 49 лет на расстоянии в 20 раз большем, чем Земля вокруг Солнца (т. е. примерно на расстоянии Урана) (рис. 75). Это — слабая звездочка восьмой-девятой величины, но масса ее весьма внушительна, почти 0,8 массы нашего Солнца. На расстоянии Сириуса наше Солнце должно было бы светить звездой 1,8-й величины; поэтому если бы спутник Сириуса имел поверхность, уменьшенную по сравнению с солнечной в соответствии с отношением масс этих светил, то при той же температуре он должен был бы сиять, как

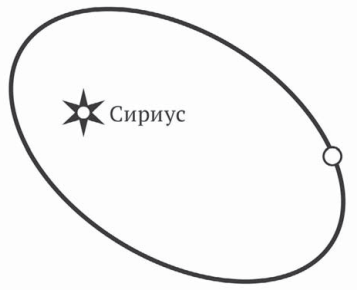


Рис. 75. Орбита спутника Сириуса по отношению к Сириусу (Сириус не находится в фокусе видимого эллипса, потому что истинный эллипс искажен проекцией — мы видим его под углом)

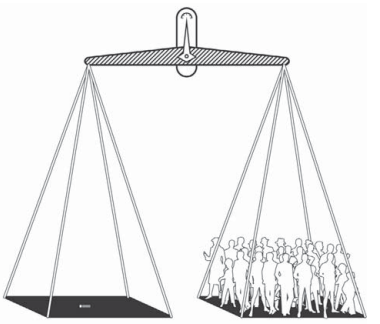


Рис. 76. Спутник Сириуса состоит из вещества в 60 000 раз более плотного, чем вода. Спичечная коробка этого вещества могла бы уравновесить груз из трех десятков человек

звезда примерно второй величины, а не восьмой-девятой. Столь слабую яркость астрономы первоначально объясняли низкой температурой на поверхности этой звезды; ее рассматривали как остывающее солнце, покрывающееся уже твердой корой.

Но такое допущение оказалось ошибочным. Скромный спутник Сириуса — вовсе не угасающая звезда, а, напротив, принадлежит к звездам с высокой поверхностной температурой, гораздо более высокой, чем у нашего Солнца. Это совершенно меняет дело. Слабую яркость приходится, следовательно, приписать только малой величине поверхности этой звезды. Вычислено, что она посылает в 360 раз меньше света, чем Солнце; значит, поверхность ее должна быть по крайней мере в 360 раз меньше солнечной, а радиус в $\sqrt{360}$, т. е. в 19 раз, меньше солнечного. Отсюда заключаем, что объем спутника Сириуса должен составлять менее чем 6800-ю долю объема Солнца, между тем как масса его составляет почти 0,8 массы дневного светила. Уже это одно говорит о большой уплотненности вещества этой звезды. Более точный расчет дает для диаметра планеты всего 40 000 км, а следовательно, для плотности — то чудовищное число, которое мы привели в начале раздела: в 60 000 раз больше плотности воды (рис. 76).

«Навострите уши, физики: замышляется вторжение в вашу область», — приходят на память слова Кеплера, сказанные им, правда, по другому поводу. Действительно, ничего подобного не мог представить себе до сих пор ни один физик. В обычных условиях столь значительное уплотнение совершенно немыслимо, так как промежутки

между нормальными атомами в твердых телах слишком малы, чтобы допустимо было сколько-нибудь заметное сжатие их вещества. Иначе обстоит дело в случае «изувеченных» атомов, утративших те электроны, которые кружились вокруг ядер. Потеря электронов уменьшает поперечник атома в несколько тысяч раз, почти не уменьшая его массы; обнаженное ядро меньше нормального атома примерно во столько раз, во сколько муха меньше крупного здания. Сдвигаемые чудовищным давлением, господствующим в недрах звездного шара, эти уменьшенные атомы-ядра могут сблизиться в тысячи раз теснее, чем нормальные атомы, и создать вещество той неслыханной плотности, какая обнаружена на спутнике Сириуса. Более того, сейчас указанная плотность даже превзойдена в так называемой звезде ван-Маанена. Эта звездочка 12-й величины, по размерам не превышающая земного шара, состоит из вещества в 400 000 раз более плотного, нежели вода!

И это еще не самая крайняя степень плотности. Теоретически можно допускать существование гораздо более плотных веществ. Диаметр атомного ядра составляет не более одной 10 000-й диаметра атома, а объем, следовательно, не более $\frac{1}{10^{12}}$ объема атома. 1 м^3 металла содержит всего около $\frac{1}{1000}$ мм^3 атомных ядер, и в этом крошечном объеме сосредоточена вся масса металла. 1 см^3 атомных ядер должен, таким образом, весить примерно 10 миллионов тонн (рис. 77).

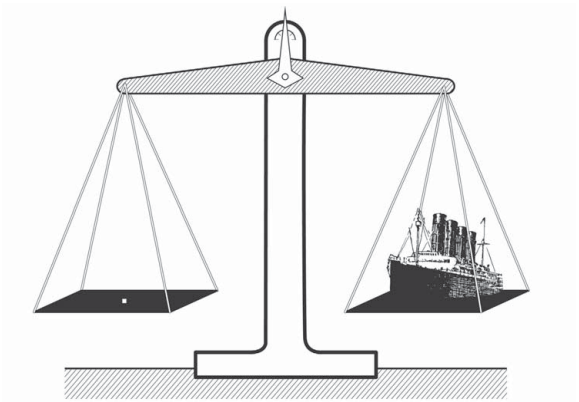


Рис. 77. Один кубический сантиметр атомных ядер мог бы уравновесить океанский пароход и при весьма неплотной упаковке их. Плотно же уложенные в объеме 1 см^3 атомные ядра весили бы 10 миллионов тонн!

После сказанного не будет казаться невероятным открытие звезды, средняя плотность вещества которой еще в 500 раз больше, чем у вещества упомянутой ранее звезды Сириус B. Мы говорим о небольшой звездочке 13-й величины в созвездии Кассиопеи, открытой в конце 1935 г. Будучи по объему не больше Марса и в восемь раз меньше земного шара, звезда эта обладает массой, почти втрое превышающей массу нашего Солнца (точнее, в 2,8 раза). В обычных единицах средняя плотность ее вещества выражается числом 36 000 000 г/см^3. Это означает, что 1 см^3 такого вещества весил бы на Земле 36 т! Вещество это, следовательно, плотнее золота почти в 2 миллиона раз*. О том, сколько должен весить кубический сантиметр такого вещества, взвешенный на поверхности самой звезды, мы побеседуем в главе V.

Немного лет назад ученые, конечно, считали бы немыслимым существование вещества в миллионы раз плотнее платины.

Бездны мироздания скрывают, вероятно, еще немало подобных диковинок природы.

Почему звезды называются неподвижными?

Когда в старину дан был звездам такой эпитет, желали подчеркнуть этим, что в отличие от планет звезды сохраняют на небесном своде неизменное расположение. Они, конечно, участвуют в суточном движении всего неба вокруг Земли, но это кажущееся движение не нарушает их *взаимного* расположения. Планеты же непрестанно меняют свои места относительно звезд, бродят между ними и оттого получили в древности наименование «блуждающих звезд» (буквальный смысл слова «планета»).

Мы знаем теперь, что представление о звездном мире как о собрании солнц, застывших в своей неподвижности, совершенно превратно. Все звезды**, в том числе и наше Солнце, движутся одна относительно другой со скоростью в среднем 30 км/с, т. е. с такой же, с какой планета наша обегает свою орбиту. Значит, звезды ничуть не менее подвижны, чем планеты. Напротив, в мире звезд мы встречаемся в отдельных случаях с такими огромными скоростями, каких нет

* В центральной части этой звезды плотность вещества должна достигать неимоверно большой величины, примерно миллиарда граммов в 1 см^3.

** Имеются в виду звезды, входящие в состав «нашего» звездного скопления — Млечного Пути.

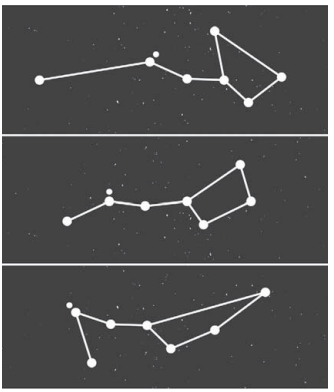


Рис. 78. Фигуры созвездий медленно меняются с течением времени. Средний рисунок изображает «ковш» Большой Медведицы в настоящее время, верхний — 100 тыс. лет назад, нижний — через 100 тыс. лет после нашего времени

в семье планет; известны звезды — их называют «летящими», — которые несутся по отношению к нашему Солнцу с огромной скоростью 250–300 км/с.

Но если все видимые нами звезды хаотически движутся с громадными скоростями, пробегая миллиарды километров ежегодно, то почему не замечаем мы этого бешеного движения? Почему звездное небо представляет издавна картину величавой неподвижности?

Причину нетрудно отгадать: она кроется в невообразимой удаленности звезд. Случалось ли вам наблюдать с возвышенного пункта за поездом, движущимся вдали, близ горизонта? Разве не казалось вам тогда, что курьерский поезд ползет как черепаха? Скорость, головокружительная для наблюдателя вблизи, превращается в черепаший шаг при наблюдении с большого расстояния. То же происходит и с движением звезд; только в этом случае относительное удаление наблюдателя от движущегося тела гораздо значительнее. Самые яркие звезды удалены от нас в среднем менее других — именно (по Каптейну) на 800 миллионов километров, перемещение же такой звезды за год составляет, скажем, миллиард (1000 миллионов) километров, т. е. в 800 000 раз меньше. Такое перемещение должно усматриваться с Земли под углом менее 0″,25 — величина, едва уловимая точнейшими астрономическими инструментами. Для невооруженного же глаза оно совершенно незаметно, даже если длится столетия. Только кропотливыми инструментальными измерениями удалось обнаружить движение многих звезд (рис. 78, 79).

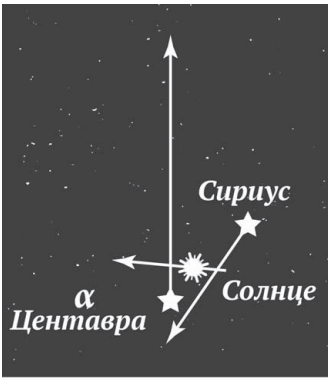


Рис. 79. Движение трех звезд — нашего Солнца, звезды α Центавра и Сириуса

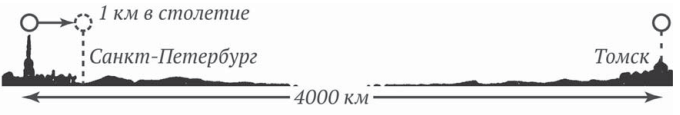


Рис. 80. Масштаб звездных движений; два крокетных шара, один в Петербурге, другой в Томске, движутся со скоростью 1 км в столетие — вот уменьшенное подобие сближения двух звезд. Из этого ясно, как ничтожна вероятность столкновений между звездами

Итак, «неподвижные звезды», несмотря на то что увлекаются невообразимо стремительным движением, имеют полное право именоваться неподвижными, поскольку речь идет о наблюдениях невооруженным глазом. Из сказанного читатель сам может вывести заключение, как ничтожна вероятность встречи между звездами, несмотря на их стремительное движение (рис. 80).

Меры звездных расстояний

Наши крупные меры длины — километр, морская миля (1852 м) и географическая миля (равная 4 морским), достаточные для измерения на земном шаре, оказываются слишком ничтожными для измерений небесных. Мерить ими небесные расстояния столь же неудобно, как измерять миллиметрами длину железной дороги; расстояние, например, Юпитера от Солнца в километрах выражается числом 780 миллионов, длина же Октябрьской дороги в миллиметрах — числом 640 миллионов.

Чтобы не иметь дела с длинными рядами нулей в конце чисел, астрономы пользуются более крупными единицами длины. Для измерений, например, в пределах Солнечной системы считают единицей длины среднее расстояние от Земли до Солнца (149 600 000 км). Это — так называемая «астрономическая единица». В таких мерах расстояние Юпитера от Солнца равно 5,2, Сатурна — 9,54, Меркурия — 0,387 и т. п.

Но для расстояний нашего Солнца до других солнц сейчас приведенная мера слишком мала. Например, расстояние до самой близкой к нам звезды (до так называемой Проксимы в созвездии Центавра*, красноватой звездочки 11-й величины) выражается в этих единицах таким числом:

260 000.

* Почти рядом с ней находится яркая звезда α Центавра.

И это лишь *ближайшая* звезда, прочие расположены гораздо дальше. Введенные в употребление более крупные единицы значительно упростили запоминание подобных чисел и обращение с ними. В астрономии имеются следующие исполинские единицы расстояний: световой год и успешно вытесняющий его парсек.

Световой год — это путь, пробегаемый в пустом пространстве лучом света за год времени. Как велика эта мера, мы поймем, вспомнив, что солнечный свет достигает Земли всего за 8 минут. Световой год, следовательно, во столько раз больше радиуса земной орбиты, во сколько раз год времени больше 8 минут. В километрах эта мера длины выражается числом

9 460 000 000 000,

т. е. световой год равен около $9^1/_2$ биллионов км.

Сложнее происхождение другой единицы звездных расстояний, к которой астрономы прибегают охотнее, — *парсека*. Парсек — это расстояние, на которое надо удалиться, чтобы полудиаметр земной орбиты виден был под углом в одну угловую секунду. Угол, под каким виден со звезды полудиаметр земной орбиты, называется в астрономии годичным параллаксом этой звезды. От соединения слов «параллакс» и «секунда» образовано слово «парсек». Параллакс названной выше звезды α Центавра — 0,76 секунды; легко сообразить, что расстояние этой звезды — 1,31 парсека. Нетрудно вычислить, что один парсек должен заключать в себе 206 265 расстояний от Земли до Солнца. Соотношение между парсеком и другими единицами длины таково:

1 парсек = 3,26 светового года = 30 800 000 000 000 км.

Вот расстояния нескольких ярких звезд, выраженные в парсеках и световых годах:

	Парсеки	Световые годы
α Центавра	1,31	4,3
Сириус	2,67	8,7
Процион	3,46	11,3
Альтаир	4,67	15,2

Это — сравнительно близкие к нам звезды. Какого порядка их «близость», вы поймете, когда вспомните, что для выражения приведенных расстояний в километрах надо каждое из чисел первого столбца увеличить в 30 биллионов раз (разумея под биллионом миллион миллионов). Однако световой год и парсек — еще не самые крупные меры, употребляемые в науке о звездах. Когда астрономы приступили к измерению расстояний и размеров звездных систем, т. е. целых вселенных, состоящих из многих миллионов звезд, понадобилась мера еще более крупная. Ее образовали из парсека, как километр образован из метра: составился *килопарсек*, равный 1000 парсекам, или 30 800 биллионам км. В этих мерах, например, поперечник Млечного Пути выражается числом 30, а расстояние от нас до Туманности Андромеды — около 300.

Но и килопарсек вскоре оказался недостаточно большой мерой; пришлось ввести в употребление *мегапарсек*, содержащий *миллион* парсеков. Итак, вот звездные меры длины:

1 мегапарсек	=	1 000 000	парсеков
1 килопарсек	=	1000	»
1 парсек	=	206 265	астр. единиц
1 астр. единица	=	149 600 000	км

Представить себе мегапарсек наглядно нет никакой возможности. Даже если уменьшить километр до толщины волоса (0,05 мм), то мегапарсек и тогда будет превосходить силу человеческого воображения, так как сделается равным $1^1/_2$ миллиарда км — 10-кратному расстоянию от Земли до Солнца.

Приведу, впрочем, одно сопоставление, которое, быть может, облегчит читателю оценку невообразимой огромности мегапарсека. Тончайшая паутинная нить, протянутая от Москвы до Петербурга, весила бы 10 г, от Земли до Луны — не более 6 кг. Такая же нить длиной до Солнца весила бы 2,3 т. Но, протянутая на длину одного мегапарсека, она должна была бы весить

500 000 000 000 т!

Система ближайших звезд

Сравнительно давно — около ста лет назад — стало известно, что самой близкой звездной системой является двойная звезда первой величины южного созвездия Центавра. Последние годы обогатили



Рис. 81. Система ближайшей к Солнцу звезды α Центавра: *A, B* и Проксима Центавра

наши знания об этой системе интересными подробностями. Открыта была вблизи α Центавра небольшая звездочка 11-й величины, составляющая с двумя звездами α Центавра одну систему тройной звезды. То, что третья звезда физически входит в систему α Центавра, хотя их и разделяет на небе расстояние свыше 2°, подтверждается одинаковостью их движения: все три звезды увлекаются с одной скоростью в одном направлении. Самое замечательное в третьем члене этой системы то, что он расположен в пространстве ближе к нам, чем другие две звезды, и должен быть поэтому признан ближайшей из всех звезд, расстояния которых до сих пор определены. Звездочку эту так и называют «Ближайшая», по-латыни «Проксима». Она ближе к нам, нежели звезды Центавра (их называют α Центавра *A* и α Центавра *B*), на 3960 астрономических единиц. Вот их параллаксы:

α Центавра (*A* и *B*) ..... 0″,751
Проксима Центавра ..... 0″,762

Так как звезды *A* и *B* отделены друг от друга расстоянием только в 34 астрономические единицы, то вся система имеет довольно странный вид, представленный на рис. 81. *A* и *B* раздвинуты немного больше, чем Уран от Солнца. Проксима же отстоит от них на 59 световых суток. Звезды эти медленно меняют свое расположение: период обращения звезд *A* и *B* вокруг их общего центра тяжести равен 79 годам, Проксима же завершает один оборот более чем в 100 000 лет, так что нечего опасаться, что вскоре она перестанет быть ближайшей к нам звездой, уступив место одной из составляющих α Центавра.

Что же известно о физических особенностях звезд этой системы? α Центавра *A* по яркости, массе и диаметру лишь немногим больше Солнца (рис. 82). α Центавра *B* обладает несколько меньшей массой, больше Солнца по диаметру на $^1/_5$, но светит в три раза менее ярко; соответственно этому и поверхностная температура ее ниже, нежели солнечная (4400°, Солнце — 6000°).

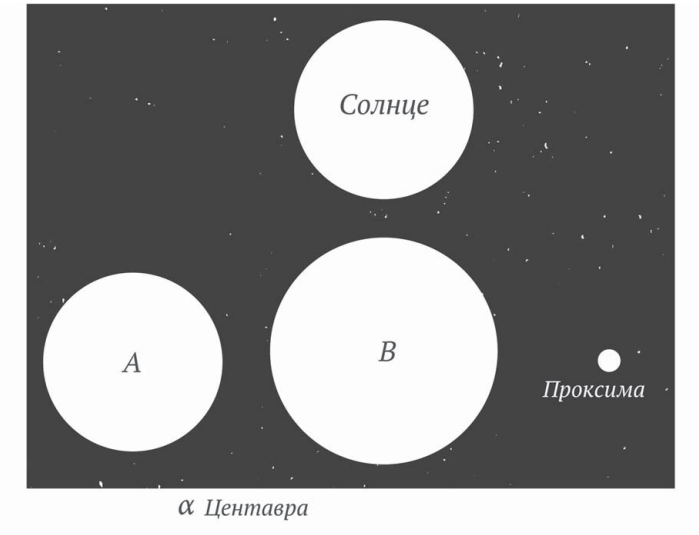


Рис. 82. Сравнительные размеры звезд системы α Центавра и Солнца

Еще холоднее Проксима: температура на ее поверхности 3000°; звезда эта красного цвета. Диаметр ее в 14 раз меньше солнечного, так что по размерам эта звездочка даже несколько меньше Юпитера и Сатурна (превосходя их, однако, по массе в сотни раз). Если бы мы перенеслись на α Центавра *A*, то увидели бы оттуда звезду *B* примерно такой же величины, какой Солнце наше сияет на небе Урана, Проксима же казалась бы даже оттуда маленькой и тусклой звездочкой: она ведь удалена в 250 раз больше, чем Плутон от Солнца, и в 1000 раз дальше, чем Сатурн.

После тройной звезды α Центавра следующая близкая соседка нашего Солнца — маленькая звездочка (9,5-й величины) в созвездии Змееносца, названная «Летящей звездой»*. Такое наименование она получила из-за чрезвычайно быстрого видимого движения, которым она обладает. Звезда эта в полтора раза дальше от нас, чем система α Центавра, но на северном полушарии неба она — наша ближайшая соседка. Полет ее, направленный косо к движению Солнца, так стремителен, что менее чем через десять тысячелетий она приблизится к нам вдвое и будет тогда ближе тройной звезды α Центавра.

* Другое название — Звезда Барнарда. — *Примеч. ред.*

Масштаб Вселенной

Возвратимся к той уменьшенной модели солнечной системы, которую мы мысленно изготовили по указаниям главы о планетах, и попробуем достроить ее, включив мир звезд. Что получится?

Вы помните, что в нашей модели Солнце изображалось шаром 10 см в диаметре, а вся планетная система — кругом с поперечником в 800 м. На каких расстояниях от Солнца следовало бы поместить звезды, если строго придерживаться того же масштаба? Нетрудно рассчитать, что, например, Проксима Центавра — самая близкая звезда — оказалась бы на расстоянии 2700 км, Сириус — 5500 км, Альтаир — 9700 км. Этим «ближайшим» звездам даже на модели было бы тесно в Европе. Для звезд более отдаленных возьмем меру крупнее километра — именно, 1000 км, называемую мегаметро (Мм). Таких единиц всего 40 в окружности земного шара и 380 между Землей и Луной. Вега была бы в нашей модели удалена на 17 Мм, Арктур — на 23 Мм, Капелла — на 28 Мм, Регул — на 53 Мм, Денеб (α Лебедя) — более чем на 350 Мм.

Расшифруем это последнее число. 350 Мм = 350 000 км, т. е. немного меньше расстояния до Луны. Как видим, уменьшенная модель, в которой Земля — булавочная головка, а Солнце — крокетный шар, сама приобретает космические размеры!

Наша модель еще не достроена. Крайние, наиболее отдаленные звезды Млечного Пути разместятся в модели на расстоянии 30 000 Мм — почти в 100 раз дальше Луны. Но Млечный Путь — не вся Вселенная. Далеко за его пределами расположены другие звездные системы, например та, которая видна даже простым глазом в созвездии Андромеды, или так же доступные невооруженному зрению Магеллановы Облака. На нашей модели пришлось бы представить Малое Магелланово Облако в виде объекта с поперечником в 4000 Мм, Большое — в 5500 Мм, удалив их на 70 000 Мм от модели Млечного Пути. Модели Туманности Андромеды мы должны были бы дать поперечник в 60 000 Мм и отодвинуть ее от модели Млечного Пути на 500 000 Мм, т. е. почти на действительное расстояние Юпитера!

Самые отдаленные небесные объекты, с какими имеет дело современная астрономия, — это скопления галактик далеко за пределами нашего Млечного Пути. Расстояние их от Солнца превышает 1 000 000 000 световых лет. Предоставляем читателю самостоятельно рассчитать, как должно изобразиться подобное расстояние в нашей

модели. Вместе с тем читатель получит некоторое представление о размерах той части Вселенной, которая доступна оптическим средствам современной астрономии.

Ряд относящихся сюда сопоставлений читатель найдет также в моей книге «Знаете ли вы физику?».

Интересующимся особенностями звезд и устройством звездной Вселенной советуем внимательно прочитать следующие книги:

Воронцов-Вельяминов Б. А. Очерки о Вселенной. Изд. 5-е. Физматгиз, 1964.

Агекян Т. А. Звездная Вселенная. Изд. 2-е. Гостехиздат, 1955.

Дорожкин Н. Я. Космос. Загадочный мир Вселенной. АСТ: Астрель: Ермак, 2004.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ТЯГОТЕНИЕ

Из пушки вверх

Куда упал бы снаряд, пущенный отвесно вверх из пушки, установленной на экваторе? Такая задача обсуждалась лет двадцать назад в одном журнале применительно к воображаемому снаряду, пущенному со скоростью 8000 м в первую секунду; снаряд этот должен через 70 минут достичь высоты 6400 км (земного радиуса). Вот что писал журнал:

«Если снаряд выпущен отвесно вверх на экваторе, то он при вылете из орудия обладает еще и круговой скоростью точек экватора по направлению на восток (465 м/с). С этой скоростью снаряд будет переноситься параллельно экватору. Точка на высоте 6400 км, находившаяся в момент выстрела отвесно над точкой отправления снаряда, перемещается по кругу двойного радиуса с двойною скоростью. Она, следовательно, опережает снаряд в восточном направлении. Когда снаряд достигнет высшей точки своего пути, он будет находиться не отвесно над пунктом отправления, а отстанет от него к западу. То же произойдет и при обратном падении снаряда. В результате снаряд за 70 минут полета вверх и обратно отстанет примерно на 4000 км к западу. Здесь и следует ожидать его падения. Чтобы заставить снаряд возвратиться в точку отправления, следует выпустить его не отвесно, а немного наклонно, в нашем случае — с наклоном в 5°».

Совершенно иначе решается подобная задача К. Фламмарионом в его «Астрономии»:

«Если выстрелить из пушки, обратив ее прямо вверх, к зениту, то ядро снова упадет в жерло пушки, хотя за время его подъема и нисхождения пушка передвинется с Землей к востоку. Причина очевидна. Ядро, поднимаясь вверх, ничего не теряет из скорости, сообщенной ему движением Земли. Полученные им два толчка не противоположны: оно может пройти километр вверх и в то же время сделать, например, 6 км к востоку. Движение его в пространстве будет совершаться по диагонали параллелограмма, одна сторона которого 1 км, другая — 6 км. Вниз под влиянием тяжести оно будет двигаться по другой диагонали (вернее, по кривой,

вследствие того, что падение ускоренное) и как раз упадет снова в жерло пушки, которая по-прежнему остается в вертикальном положении».

«Произвести такой опыт было бы, однако, довольно трудно, — прибавляет Фламмарион, — потому что редко можно найти пушку, хорошо калиброванную, и очень нелегко установить ее совершенно отвесно. Мерсен и Пти пытались это сделать в XVII в., но они даже и вовсе не нашли своего ядра после выстрела. Вариньон на заглавном листе своего сочинения „Новые соображения о тяготении“ (1690 г.) поместил относящийся сюда рисунок. На нем два наблюдателя — монах и военный — стоят возле наведенной на зенит пушки и смотрят вверх, как бы следя за выпущенным ядром. На гравюре надпись (по-французски):

„Упадет ли обратно?“ Монах — Мерсен, а военный — Пти. Этот опасный опыт они производили несколько раз и так как не оказались настолько меткими, чтобы ядро угодило им как раз в голову, то заключили, что ядро осталось навсегда в воздухе. Вариньон удивляется этому: „Ядро, висящее над нашими головами! Поистине удивительно!“ При повторении опыта в Страсбурге ядро отыскалось в нескольких сотнях метров от пушки. Очевидно, орудие не было направлено строго вертикально».

Два решения задачи, как видим, находятся в резком разногласии. Один автор утверждает, что ядро упадет далеко к западу от места выстрела, другой — что оно должно упасть непременно в жерло орудия. Кто же прав?

Строго говоря, неверны оба решения, но Фламмарионово гораздо ближе к истине. Ядро должно упасть к *западу* от пушки, однако не столь значительно, как утверждает первый автор, и не в самое жерло, как был убежден второй.

Задача, к сожалению, не может быть решена средствами элементарной математики*. Поэтому ограничусь лишь тем, что приведу здесь окончательный результат.

Если обозначим начальную скорость ядра через v, угловую скорость вращения земного шара через ω, а ускорение силы тяжести через g, то для расстояния x точки падения ядра к западу от пушки получаются выражения:

на экваторе ω

$$x = \frac{4}{3}\,\omega\,\frac{v^3}{g^2},$$

а на широте φ

$$x = \frac{4}{3}\,\omega\,\frac{v^3}{g^2}\,\cos\varphi.$$

* Для этой цели необходим специальный обстоятельный расчет, который по моей просьбе был выполнен специалистами. В подробности этого расчета я здесь входить не могу.

Применяя формулу к задаче, поставленной первым автором, имеем

$$\omega = \frac{2\pi}{86164},$$
$$v = 8000 \text{ м/с},$$
$$g = 9{,}8 \text{ м/с}^2.$$

Подставив эти величины в первую формулу, получаем $x = 520$ км: ядро упадет в 520 км к западу от пушки (а не в 4000 км, как думал первый автор).

Что же дает формула для случая, рассмотренного Фламмарионом? Выстрел произведен был не на экваторе, а близ Парижа на широте 48°. Начальную скорость ядра старинной пушки примем равной 300 м/с. Подставив во вторую формулу

$$\omega = \frac{2\pi}{86164},$$
$$v = 300 \text{ м/с},$$
$$g = 9{,}8 \text{ м/с}^2,$$
$$\varphi = 48^\circ,$$

получаем $x = 18$ м; ядро упадет на 18 м к западу от пушки (а не в самое жерло, как полагал французский астроном). При этом, конечно, нами не было принято во внимание возможное отклоняющее действие воздушных течений, способное заметно исказить этот результат.

Вес на большой высоте

В расчетах предыдущей статьи принималось, между прочим, в соображение одно обстоятельство, на которое мы не обратили до сих пор внимания читателя. Речь идет о том, что по мере удаления от Земли сила тяжести ослабевает. Тяжесть есть не что иное, как проявление всемирного тяготения, а сила взаимного притяжения двух тел при возрастании расстояния между ними быстро ослабевает. Согласно закону Ньютона сила притяжения убывает пропорционально *квадрату* расстояния; при этом расстояние следует считать от центра земного шара, потому что Земля притягивает все тела так, словно вся ее масса сосредоточена в центре. Поэтому сила притяжения на высоте 6400 км, т. е. в месте, удаленном от центра Земли на 2 земных радиуса, ослабевает в четыре раза по сравнению с силой притяжения на земной поверхности.

Для брошенного вверх артиллерийского снаряда это должно проявиться в том, что снаряд поднимется выше, чем в случае, если бы тяжесть с высотой не убывала. Для снаряда, выпущенного отвесно вверх со скоростью 8000 м/с, мы приняли, что он поднимется до высоты 6400 км. Между тем, если вычислить высоту поднятия этого снаряда по общеизвестной формуле, не учитывающей ослабления тяжести с высотой, получится высота вдвое меньшая. Сделаем это вычисление. В учебниках физики и механики приводится формула для вычисления высоты h поднятия тела, брошенного отвесно вверх со скоростью v при неизменном ускорении силы тяжести g:

$$h = \frac{v^2}{2g}.$$

Для случая $v = 8000$ м/с, $g = 9{,}8$ м/с^2 получаем

$$h = \frac{8000^2}{2 \times 9{,}8} = 3\,265\,000 \text{ м} = 3265 \text{ км}.$$

Это почти вдвое ниже той высоты поднятия, которая указана в предыдущей статье. Разногласие обусловлено, как уже говорилось, тем, что, пользуясь формулами учебника, мы не приняли во внимание ослабления силы тяжести с высотой. Ясно, что, если снаряд притягивается Землей слабее, он должен при данной скорости подняться выше.

Не следует спешить с заключением, что приводимые в учебниках формулы для вычисления высоты подъема тела, брошенного вверх, неверны. Они верны в тех границах, для которых предназначаются, и становятся неверными лишь тогда, когда вычислитель выходит с ними за указанные границы. Предназначаются же эти формулы для весьма небольших высот, где ослабление силы тяжести еще настолько незначительно, что им можно пренебречь. Так, для снаряда, брошенного вверх с начальной скоростью 300 м/с, ослабление силы тяжести сказывается весьма мало.

Но вот интересный вопрос: ощутительно ли уменьшение силы тяжести для высот, с которыми имеют дело современная авиация и воздухоплавание? Заметно ли уже на этих высотах уменьшение веса тел? В 1936 г. летчик Владимир Коккинаки поднимал в своей машине различные грузы на большую высоту: $^1/_2$ т на высоту 11 458 м, 1 т — на 12 100 м и 2 т на 11 295 м. Спрашивается: сохраняли ли эти грузы на указанных рекордных высотах свой первоначальный вес или теряли там заметную его часть? С первого взгляда может казаться,

что подъем над земной поверхностью на десяток с лишним километров не может заметно уменьшить вес груза на такой большой планете, как Земля. Находясь у земной поверхности, груз отстоял от центра нашей планеты на 6400 км; поднятие на 12 км увеличивает это расстояние до 6412 км: прибавка как будто чересчур ничтожная, чтобы могла сказаться убыль в весе. Расчет, однако, говорит другое: потеря веса получается довольно ощутимая.

Выполним вычисление для одного случая: например, для подъема Коккинаки с грузом 2000 кг на 11 295 м. На этой высоте самолет находится дальше от центра земного шара, нежели при старте, в $\frac{6411{,}3}{6400}$ раз.

Сила притяжения ослабевает здесь в

$$\left(\frac{6411{,}3}{6400}\right)^2, \text{ т. е. в } \left(1 + \frac{11{,}3}{6400}\right)^2 \text{ раз.}$$

Следовательно, груз на указанной высоте должен весить

$$2000 : \left(1 + \frac{11{,}3}{6400}\right)^2 \text{ кг.}$$

Если выполнить это вычисление (для чего удобно воспользоваться приемами приближенного расчета*), то выяснится, что груз в 2000 кг на рекордной высоте весил только 1993 кг; он стал на 7 кг легче — убыль веса довольно ощутительная. Килограммовая гиря на такой высоте вытягивала бы на пружинном безмене только 996,5 г; 3,5 г веса теряется.

Еще бóльшую потерю веса должны были обнаружить наши стратонавты, достигшие высоты 22 км: 7 г на каждый килограмм.

Для рекордного подъема летчика Юмашева, поднявшего в 1936 г. груз в 5000 кг на высоту 8919 м, можно вычислением установить общую потерю веса грузом в 14 кг.

В 1959 г. летчик В. К. Коккинаки поднял на самолете ИЛ-18 на высоту 12 118 м груз в 20 т, в 1961 г. экипаж в составе И. М. Сухомлина, П. В. Солдатова, Н. Ф. Носова, В. И. Богданова на ТУ-114 поднял на 12 535 м груз в 30 035 кг. Пользуясь изложенным выше, читатель без труда сможет выполнить вычисление того, как велика была в этих случаях потеря веса.

---

* Можно пользоваться приближенными равенствами

$$(1 + \alpha)^2 = 1 + 2\alpha \quad \text{и} \quad 1 : (1 + \alpha) = 1 - \alpha,$$

где α — весьма малая величина. Поэтому

$$2000 : \left(1 + \frac{11{,}3}{6400}\right)^2 = 2000 : \left(1 + \frac{11{,}3}{3200}\right)^2 = 2000 - \frac{11{,}3}{1{,}6} = 2000 - 7.$$

С циркулем по планетным путям

Из трех законов планетных движений, с огромными усилиями вырванных у природы гением Кеплера, наименее понятен для многих, пожалуй, первый. Закон этот утверждает, что планеты движутся по эллипсам. Почему же именно по эллипсам? Казалось бы, раз от Солнца во все стороны исходит одинаковая сила, ослабевающая с удалением в одинаковой мере, то планеты должны обходить Солнце по кругам, а никак не по вытянутым замкнутым путям, в которых Солнце к тому же не занимает центрального положения. Недоумения подобного рода исчерпывающе разъясняются при математическом рассмотрении вопроса. Но необходимыми познаниями из высшей математики владеют лишь немногие друзья неба. Постараемся же сделать ощутительной правильность законов Кеплера для тех наших читателей, которые могут распоряжаться только арсеналом элементарной математики.

Вооружившись циркулем, масштабной линейкой и большим листом бумаги, будем сами строить планетные пути и таким образом убедимся графически, что получаются они такими, какими должны быть согласно законам Кеплера.

Движение планет управляется силой тяготения. Займемся ею. Кружок в правой части рис. 83 изображает некое воображаемое солнце; влево от него — воображаемая планета. Расстояние между ними пусть будет 1 000 000 км, на чертеже оно представлено 5 см — в масштабе 200 000 км в 1 см.

Стрелка в 0,5 см длины изображает силу, с какой притягивается к Солнцу наша планета (рис. 83). Пусть теперь планета под действием этой силы приблизилась к Солнцу и находится от него на расстоянии всего 900 000 км, т. е. 4,5 см на нашем чертеже. Притяжение

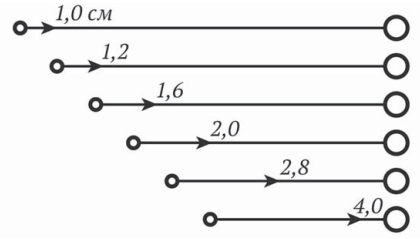


Рис. 83. Сила притяжения планеты Солнцем увеличивается с уменьшением расстояния

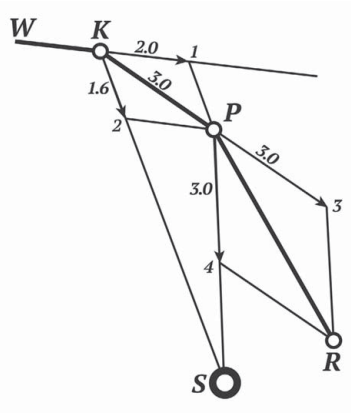


Рис. 84. Как Солнце *S* искривляет путь планеты *WKPR*

планеты к Солнцу теперь усилится по закону тяготения в $\left(\frac{10}{9}\right)^2$, т. е. в 1,2 раза. Если раньше притяжение изображено было стрелкой в 1 единицу длины, то теперь мы должны придать стрелке размер 1,2 единицы. Когда расстояние уменьшится до 800 000 км, т. е. до 4 см на нашем чертеже, сила притяжения возрастет в $\left(\frac{5}{4}\right)^2$, т. е. в 1,6 раза, и изобразится стрелкой в 1,6 единицы. При дальнейшем приближении планеты к Солнцу до расстояния 700, 600, 500 тысяч км сила притяжения соответственно выразится стрелками в 2, в 2,8 и в 4 единицы длины.

Можно представить себе, что те же стрелки изображают не только притягивающие силы, но и перемещения, которые тело совершает под влиянием этих сил за единицу времени (в этом случае перемещения пропорциональны ускорениям, а стало быть, и силам). В дальнейших наших построениях мы будем пользоваться этим чертежом как готовым масштабом перемещений планеты.

Приступим теперь к построению пути планеты, обращающейся вокруг Солнца. Пусть в некоторый момент планета той же массы, что и сейчас рассмотренная, двигаясь в направлении *WK* со скоростью в 2 единицы длины, очутилась в точке *K*, находящейся на расстоянии 800 000 км от Солнца (рис. 84). На этом расстоянии от Солнца его притяжение будет действовать на планету с такой силой, что заставит ее в единицу времени переместиться по направлению к Солнцу на 1,6 единицы длины; за тот же промежуток времени планета продвинется в первоначальном направлении *WK* на 2 единицы.

В результате она переместится по диагонали *KP* параллелограмма, построенного на перемещениях *K1* и *K2*; эта диагональ равна 3 единицам длины (рис. 84).

Очутившись в точке *P*, планета стремится двигаться дальше по направлению *KP* со скоростью 3 единиц. Но в то же время под действием притяжения Солнца на расстоянии *SP* = 5,8 она должна в направлении *SP* пройти путь *P4* = 3. В результате она пройдет диагональ *PR* параллелограмма.

Дальше вести построение на том же чертеже мы не станем: масштаб слишком крупен. Понятно, что чем масштаб мельче, тем бóльшую часть пути планеты удастся нам поместить на чертеже и тем меньше будет резкость углов нарушать сходство нашей схемы с истинным путем планеты. На рис. 85 дана та же картина в более мелком масштабе для воображаемого случая встречи Солнца с каким-нибудь небесным телом, по массе подобным вышеупомянутой планете. Здесь ясно видно, как Солнце отклоняет планету-пришельца от ее первоначального пути и заставляет следовать по кривой *P—I—II—III—IV—V—VI*. Углы построенного пути здесь не так резки, и отдельные положения планеты нетрудно уже соединить плавной кривой линией.

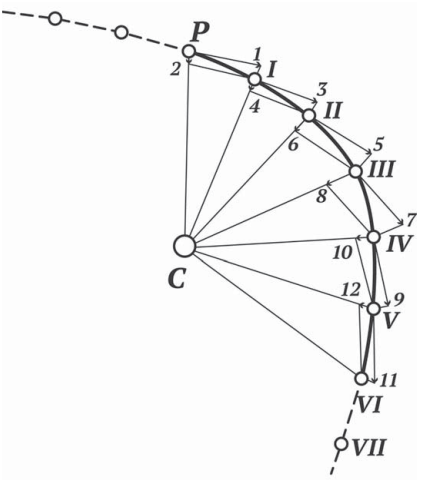


Рис. 85. Солнце отклоняет планету *P* от ее первоначального прямого пути, заставляя ее описывать кривую линию

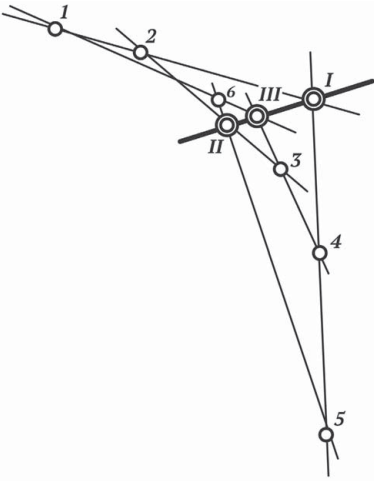


Рис. 86. Геометрическое доказательство, что планеты движутся вокруг Солнца по коническим сечениям (подробности в тексте)

Что же это за кривая? Ответить на этот вопрос поможет нам геометрия. Наложите на чертеж (рис. 85) листок прозрачной бумаги и перенесите на нее шесть произвольно взятых точек планетного пути. Выбранные шесть точек (рис. 86) перенумеруйте в любом порядке и соедините между собой в той же последовательности прямыми отрезками. Вы получите вписанную в путь планеты шестиугольную фигуру частью с перекрещивающимися сторонами. Продолжите теперь прямую *1–2* до пересечения с линией *4–5* в точке *I*. Таким же образом получите точку *II* на пересечении прямых *2–3* и *5–6*, затем точку *III* — на пересечении *3–4* и *1–6*. Если исследуемая нами кривая есть одно из так называемых «конических сечений», т. е. эллипс, парабола или гипербола, то три точки *I, II* и *III* должны оказаться на одной прямой линии. Такова геометрическая теорема (не из числа тех, что проходятся в средней школе), носящая название «шестиугольника Паскаля».

Тщательно выполненный чертеж всегда даст указанные точки пересечения на одной прямой. Это доказывает, что исследуемая кривая есть либо эллипс, либо парабола, либо гипербола. К рис. 85 первое, очевидно, не подходит (кривая незамкнутая), значит планета двигалась здесь по параболе или гиперболе. Соотношение первоначальной скорости и силы притяжения таково, что Солнце лишь отклоняет планету от прямолинейного пути, но не в состоянии заставить ее обращаться вокруг себя, «захватить» ее, как говорят астрономы.

Постараемся теперь подобным же образом уяснить второй закон движения планет — так называемый закон площадей. Рассмотрите внимательно рис. 21 (с. 661). Двенадцать намеченных на ней точек делят ее на 12 участков; они не равны по длине, но нам известно, что они проходятся планетой в одинаковое время. Соединив точки *1, 2, 3* и т. д. с Солнцем, получите 12 фигур, которые приближенно можно представить треугольниками, если соединить точки хордами. Измерив их основания и высоты, вычислите их площади. Вы убедитесь, что все треугольники имеют одинаковую площадь. Другими словами, вы приходите ко второму закону Кеплера:

Радиусы-векторы планетных орбит описывают в равные промежутки времени равные площади.

Итак, циркуль до известной степени помогает постичь первые два закона планетных движений. Чтобы уяснить себе третий закон, сменим циркуль на перо и проделаем несколько численных упражнений.

Падение планет на Солнце

Задумывались ли вы над тем, что произошло бы с нашей Землей, если бы, встретив препятствие, она внезапно была остановлена в своем беге вокруг Солнца? Прежде всего, конечно, тот огромный запас энергии, которым наделена наша планета как движущееся тело, превратится в теплоту и нагреет земной шар. Земля мчится по орбите в десятки раз быстрее пули, и нетрудно вычислить, что переход энергии ее движения в теплоту породит чудовищный жар, который мгновенно превратит наш мир в исполинское облако раскаленных газов...

Но если бы даже Земля при внезапной остановке избегла этой участи, она все-таки обречена была бы на огненную гибель: увлекаемая Солнцем, она устремилась бы к нему с возрастающей скоростью и погибла бы в его пламенных объятиях.

Это роковое падение началось бы медленно, с черепашьей скоростью: в первую секунду Земля приблизилась бы к Солнцу только на 3 мм. Но с каждой секундой скорость ее движения прогрессивно возрастала бы, достигнув в последнюю секунду 600 км. С этой невообразимой скоростью земной шар обрушился бы на раскаленную поверхность Солнца.

Интересно вычислить, сколько времени длился бы этот гибельный перелет, долго ли продолжалась бы агония нашего обреченного мира. Сделать этот расчет поможет нам третий закон Кеплера, который распространяется на движение не только планет, но и комет и всех вообще небесных тел, движущихся в мировом пространстве под действием центральной силы тяготения. Закон этот связывает время обращения планеты (ее «год») с ее расстоянием от Солнца и гласит:

Квадраты времен обращения планет относятся между собой, как кубы больших полуосей их орбит.

В нашем случае мы можем земной шар, прямо летящий к Солнцу, уподобить воображаемой комете, движущейся по сильно вытянутому, сжатому эллипсу, крайние точки которого расположены: одна — на земной орбите, другая — в центре Солнца. Большая полуось орбиты такой кометы, очевидно, вдвое меньше большой полуоси орбиты Земли.

Вычислим же, каков должен был бы быть период обращения этой воображаемой кометы.

Составим пропорцию на основании третьего закона Кеплера:

$$\frac{(\text{период обр. Земли})^2}{(\text{период обр. кометы})^2} = \frac{(\text{б. полуось орб. Земли})^3}{(\text{б. полуось орб. кометы})^3}.$$

Период обращения Земли равен 365 суткам; примем за единицу большую полуось ее орбиты, и тогда большая полуось орбиты кометы выразится дробью 0,5. Пропорция наша принимает теперь такой вид:

$$\frac{365^2}{(\text{период обращения кометы})^2} = \frac{1}{(0{,}5)^3},$$

откуда

$$(\text{период обращения кометы})^2 = 365^2 \times \frac{1}{8}.$$

Следовательно,

$$\text{период обращения кометы} = 365 \times \frac{1}{\sqrt{8}} = \frac{365}{\sqrt{8}}.$$

Нас интересует, собственно, не полный период обращения этой воображаемой кометы, а половина периода, т. е. продолжительность полета в один конец — от земной орбиты до Солнца: это и будет искомое время падения Земли на Солнце. Вычислим же его:

$$\frac{365}{\sqrt{8}} : 2 = \frac{365}{2\sqrt{8}} = \frac{365}{\sqrt{32}} = \frac{365}{5{,}65}.$$

Значит, чтобы узнать, во сколько времени Земля упала бы на Солнце, нужно продолжительность года разделить на $\sqrt{32}$, т. е. на 5,65. Это составит круглым счетом 65 дней.

Итак, мы вычислили, что Земля, внезапно остановленная в своем движении по орбите, падала бы на Солнце в течение более чем двух месяцев.

Легко видеть, что полученная выше на основании третьего закона Кеплера простая формула применима не к одной только Земле, но и к каждой другой планете и даже к каждому спутнику. Иначе говоря, чтобы узнать, во сколько времени планета или спутник упадут на свое центральное светило, нужно период их обращения разделить на $\sqrt{32}$, т. е. на 5,65.

Поэтому, например, Меркурий — самая близкая к Солнцу планета, — обращающийся в 88 дней, упал бы на Солнце в $15^1/_2$ дня. Нептун, один «год» которого равняется 165 нашим годам, падал бы на Солнце 29 лет, а Плутон — 44 года.

Во сколько времени упала бы на Землю Луна, если бы внезапно остановился ее бег? Делим время обращения Луны — 27,3 дня — на

5,6: получим почти ровно 5 дней. И не только Луна, но и всякое вообще тело, находящееся от нас на расстоянии Луны, падало бы на Землю в течение 5 дней, если только ему не сообщена какая-нибудь начальная скорость и оно падает, подчиняясь лишь действию земного притяжения (влияние Солнца мы ради простоты здесь исключаем). Пользуясь той же формулой, нетрудно проверить продолжительность перелета на Луну, указанную Ж. Верном в романе «Из пушки на Луну»*.

Наковальня Вулкана

Сейчас выведенным правилом воспользуемся для решения любопытной задачи из области мифологии. Древнегреческий миф о Вулкане повествует, между прочим, что этот бог уронил однажды свою наковальню, и она падала с неба целых 9 дней, прежде чем долетела до Земли. По мнению древних, срок этот отвечает представлению о невообразимой высоте небес, где обитают боги; ведь с вершины Хеопсовой пирамиды наковальня долетела бы до Земли всего в 5 секунд!

Нетрудно, однако, вычислить, что Вселенная древних греков, если измерять ее по этому признаку, была бы, по нашим понятиям, довольно тесновата.

Мы уже знаем, что Луна падала бы на Землю в течение 5 дней, мифическая же наковальня падала 9 дней. Значит, «небо», с которого упала наковальня, находится дальше лунной орбиты. На много ли дальше? Если умножим 9 дней на $\sqrt{32}$, мы узнаем величину того периода, в течение которого наковальня обращалась бы вокруг земного шара, будь она спутником нашей планеты: $9 \times 5{,}6 = 51$ суткам. Применим теперь к Луне и к нашему воображаемому спутнику-наковальне третий закон Кеплера.

Составим пропорцию

$$\frac{(\text{период обращения Луны})^2}{(\text{период обращения наковальни})^2} = \frac{(\text{расстояние Луны})^3}{(\text{расстояние наковальни})^3}.$$

Подставив числа, имеем

$$\frac{27{,}3^2}{51^2} = \frac{380\,000^3}{(\text{расстояние наковальни})^3}.$$

* Расчеты приведены в моей книге «Межпланетные путешествия».

Отсюда неизвестное расстояние наковальни от Земли нетрудно вычислить:

$$\text{расстояние наковальни} = \sqrt[3]{\frac{51^2 \times 380\,000^3}{27{,}3^2}} = 380\,000\,\sqrt[3]{\frac{51^2}{27{,}3^2}}.$$

Вычисление дает следующий результат: 580 000 км. Итак, вот как мизерно было, на взгляд современного астронома, расстояние до неба древних греков: всего в полтора раза больше расстояния до Луны. Мир древних кончался примерно там, где, по нашим представлениям, он только начинается.

Границы Солнечной системы

Третий закон Кеплера дает также возможность вычислить, насколько далеко должна быть отодвинута граница нашей Солнечной системы, если считать крайними ее точками самые отдаленные концы (афелии) кометных орбит. Нам приходилось уже беседовать об этом раньше, здесь произведем соответствующий расчет. Мы упоминали в главе III о кометах, имеющих очень долгий период обращения: в 776 лет. Вычислим расстояние x афелия такой кометы, зная, что ближайшее ее расстояние от Солнца (перигелий) равно 1 800 000 км.

Привлекаем в качестве второго тела Землю и составляем пропорцию:

$$\frac{776^2}{1^2} = \frac{\left[\frac{1}{2}\,(x + 1\,800\,000)\right]^3}{150\,000\,000^3}.$$

Отсюда

$$x + 1\,800\,000 = 2\,150\,000\,000\,\sqrt[3]{776^2}.$$

И, следовательно,

$$x = 25\,318\,000\,000 \text{ км}.$$

Мы видим, что рассматриваемые кометы должны уходить в 182 раза дальше от Солнца, чем Земля, и, значит, в четыре с половиной раза дальше, чем последняя из известных нам планет — Плутон.

Ошибка в романе Жюля Верна

Вымышленная комета «Галлия», на которую Жюль Верн перенес действие романа «Гектор Сервадак», совершает полный оборот вокруг Солнца ровно в два года. Другое указание, имеющееся в романе,

относится к расстоянию афелия этой кометы: 820 миллионов км от Солнца. Хотя расстояние перигелия в романе не указано, мы по тем двум данным, какие сейчас приведены, уже вправе утверждать, что такой кометы в нашей Солнечной системе быть не может. В этом убеждает нас расчет по формуле третьего закона Кеплера.

Обозначим неизвестное расстояние перигелия через x миллионов км. Большая ось орбиты кометы выразится тогда через $x + 820$ миллионов км, а большая полуось через $\frac{x + 820}{2}$ миллионов км. Сопоставляя период обращения и расстояние кометы с периодом и расстоянием Земли, имеем по закону Кеплера

$$\frac{2^2}{1^2} = \frac{(x + 820)^3}{2^3 \times 150^3},$$

откуда

$$x = -343.$$

Отрицательный результат для величины ближайшего расстояния кометы от Солнца указывает на несогласованность исходных данных задачи. Другими словами, комета со столь коротким периодом обращения — 2 года — не могла бы уходить от Солнца так далеко, как указано в романе Жюля Верна.

Как взвесили Землю?

Существует анекдотический рассказ про наивного человека, которого всего более удивляло в астрономии то, что ученые узнали, как звезды называются. Если говорить серьезно, то наиболее удивительным достижением астрономов должно, вероятно, казаться то, что им удалось *взвесить* и Землю, на которой мы живем, и далекие небесные светила. В самом деле: каким способом, на каких весах могли взвесить Землю и небо?

Начнем со взвешивания Земли. Прежде всего отдадим себе отчет, что́ следует понимать под словами «вес земного шара». Весом тела мы называем давление, которое оно оказывает на свою опору, или натяжение, которое оно производит на точку привеса. Ни то ни другое к земному шару неприменимо: Земля ни на что не опирается, ни к чему не привешена. Значит, в таком смысле земной шар не имеет веса. Что же определили ученые, «взвесив» Землю? Они определили ее *массу*. В сущности, когда мы просим отвесить нам в лавке 1 кг сахара, нас нисколько ведь не интересует сила, с какой этот сахар

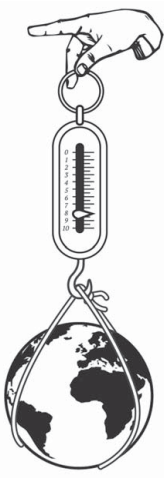


Рис. 87. На каких весах могли взвесить Землю?

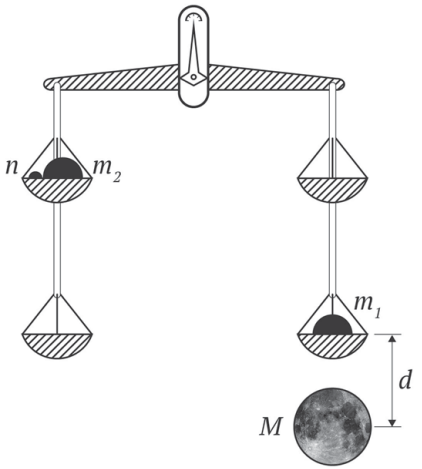


Рис. 88. Один из способов определения массы Земли: весы Йолли

давит на опору или натягивает нить привеса. В сахаре нас интересует другое: мы думаем лишь о том, сколько стаканов чая можно с ним выпить, другими словами, нас интересует количество заключающегося в нем вещества.

Но для измерения количества вещества существует только один способ: найти, с какой силой тело притягивается Землей. Мы принимаем, что равным массам отвечают равные количества вещества, а о массе тела судим только по силе его притяжения, так как притяжение пропорционально массе.

Переходя к весу Земли, мы скажем, что «вес» ее определится, если станет известна *ее масса*; итак, задачу определения веса Земли надо понимать как задачу исчисления ее массы.

Опишем один из способов ее решения (способ Йолли, 1871). На рис. 88 вы видите очень чувствительные чашечные весы, в которых к каждому концу коромысла подвешены две легкие чашки: верхняя и нижняя. Расстояние от верхней до нижней 20–25 см. На правую нижнюю чашку кладем сферический груз массой m_1. Для равновесия на левую верхнюю чашку положим груз m_2. Эти грузы не равны, так как, находясь на разной высоте, они с разной силой притягиваются Землей. Если под правую нижнюю чашку подвести большой свинцовый шар с массой M, то равновесие весов нарушится, так как масса m_1 будет притягиваться массой свинцового шара M с силой F_1,

пропорциональной произведению этих масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния d, разделяющего их центры:

$$F = k\frac{m_1 M}{d^2},$$

где k — так называемая постоянная тяготения.

Чтобы восстановить нарушенное равновесие, положим на верхнюю левую чашку весов малый груз массой n. Сила, с которой он давит на чашку весов, равна его весу, т. е. равна силе притяжения этого груза массой всей Земли. Эта сила F равна

$$F' = \frac{n\mathfrak{M}_♁}{R^2},$$

где $\mathfrak{M}_♁$ — масса Земли, а R — ее радиус.

Пренебрегая тем ничтожным влиянием, которое присутствие свинцового шара оказывает на грузы, лежащие на верхней левой чашке, мы можем написать условие равновесия в следующем виде:

$$F = F' \text{ или } \frac{m_1 M}{d^2} = \frac{n\mathfrak{M}_♁}{R^2}.$$

В этом соотношении все величины, кроме массы Земли $\mathfrak{M}_♁$, могут быть измерены. Отсюда определим $\mathfrak{M}_♁$. В тех опытах, о которых говорилось, $M = 5775{,}2$ кг, $R = 6366$ км, $d = 56{,}86$ см, $m_1 = 5{,}00$ кг и $n = 589$ мг.

В итоге масса Земли оказывается равной $6{,}15 \times 10^{27}$ г.

Современное определение массы Земли, основанное на большом ряде измерений, дает $\mathfrak{M}_♁ = 5{,}974 \times 10^{27}$ г, т. е. около 6 тысяч триллионов тонн. Возможная ошибка определения этой величины не более 0,1%.

Итак, астрономы определили массу земного шара. Мы имеем полное право сказать, что они *взвесили* Землю, потому что всякий раз, когда мы взвешиваем тело на рычажных весах, мы, в сущности, определяем не *вес* его, не силу, с какой оно притягивается Землей, а *массу*: мы устанавливаем лишь, что *масса* тела равна *массе* гирь.

Из чего состоят недра Земли?

Здесь уместно отметить ошибку, которую приходится встречать в популярных книгах и статьях. Стремясь упростить изложение, авторы представляют дело взвешивания Земли так: ученые измерили средний вес 1 см^3 нашей планеты (т. е. ее удельный вес) и, вычислив

геометрически ее объем, определили вес Земли умножением ее удельного веса на объем. Указываемый путь, однако, неосуществим: нельзя непосредственно измерить удельный вес Земли, так как нам доступна только сравнительно тонкая наружная ее оболочка* и ничего не известно о том, из каких веществ состоит остальная, значительно бóльшая часть ее объема.

Мы уже знаем, что дело происходило как раз наоборот: определение массы земного шара предшествовало определению его средней плотности. Она оказалась равной 5,5 г на 1 $см^3$ — гораздо больше, чем средняя плотность пород, составляющих земную *кору*. Это указывает на то, что в глубине земного шара залегают очень тяжелые вещества. По их предполагаемому удельному весу (а также и по другим основаниям) раньше думали, что ядро нашей планеты состоит из *железа*, сильно уплотненного давлением вышележащих масс. Сейчас считают, что в общем центральные области Земли не отличаются по составу от коры, но плотность их больше вследствие огромного давления.

Вес Солнца и Луны

Как ни странно, вес далекого Солнца оказывается несравненно проще определить, чем вес гораздо более близкой к нам Луны. (Само собой разумеется, что слово «вес» по отношению к этим светилам мы употребляем в том же условном смысле, как и для Земли: речь идет об определении *массы*.)

Масса Солнца найдена путем следующего рассуждения. Опыт показал, что 1 г притягивает 1 г на расстоянии 1 см с силой, равной $\frac{1}{15\,000\,000}$ мг. Взаимное притяжение f двух тел с массами M и m на расстоянии D выразится согласно закону всемирного тяготения так:

$$f = \frac{1}{15\,000\,000} \times \frac{Mm}{D^2} \text{ мг.}$$

Если M — масса Солнца (в граммах), m — масса Земли, D — расстояние между ними, равное 150 000 000 км, то взаимное их притяжение в миллиграммах равно

$$\frac{1}{15\,000\,000} \times \frac{Mm}{15\,000\,000\,000\,000^2} \text{ мг}^{**}.$$

* Минералы земной коры исследованы только до глубины 25 км; расчет показывает, что в минералогическом отношении изучена всего $^1/_{83}$ объема земного шара.

** Точнее, дин; 1 дина = 0,98 мг.

С другой стороны, эта сила притяжения есть та центростремительная сила, которая удерживает нашу планету на ее орбите и которая по правилам механики равна (тоже в миллиграммах) $\frac{mV^2}{D}$, где m — масса Земли (в граммах), V — ее круговая скорость, равная 30 км/с = 3 000 000 см/с, а D — расстояние от Земли до Солнца. Следовательно,

$$\frac{1}{15\,000\,000} \times \frac{Mm}{D^2} = m\frac{3\,000\,000^2}{D}.$$

Из этого уравнения определяется неизвестное M (выраженное, как сказано, в граммах):

$$M = 2 \times 10^{33} \text{ г} = 2 \times 10^{27} \text{ т}.$$

Разделив эту массу на массу земного шара, т. е. вычислив

$$\frac{2 \times 10^{27}}{6 \times 10^{21}},$$

получаем $^1/_3$ миллиона.

Другой способ определения массы Солнца основан на использовании третьего закона Кеплера. Из закона всемирного тяготения третий закон выводится в следующей форме:

$$\frac{(\mathfrak{M}_\odot + m_1)T_1^2}{(\mathfrak{M}_\odot + m_2)T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

где $\mathfrak{M}$ — масса Солнца, T — звездный период обращения планеты, a — среднее расстояние планеты от Солнца и m — масса планеты. Применяя этот закон к Земле и Луне, получим

$$\frac{(\mathfrak{M}_\odot + \mathfrak{M}_♁)T_♁^2}{(\mathfrak{M}_♁ + \mathfrak{M}_☾)T_☾^2} = \frac{a_♁^3}{a_☾^3}.$$

Подставляя известные из наблюдений $a_♁$, $a_☾$ и $T_♁$, $T_☾$ и пренебрегая в первом приближении в числителе массой Земли, малой по сравнению с массой Солнца, а в знаменателе массой Луны, малой по сравнению с массой Земли, получим

$$\frac{\mathfrak{M}_\odot}{\mathfrak{M}_♁} = 330\,000.$$

Зная массу Земли, получим массу Солнца.

Итак, Солнце тяжелее Земли в треть миллиона раз. Нетрудно вычислить и среднюю плотность солнечного шара: для этого нужно

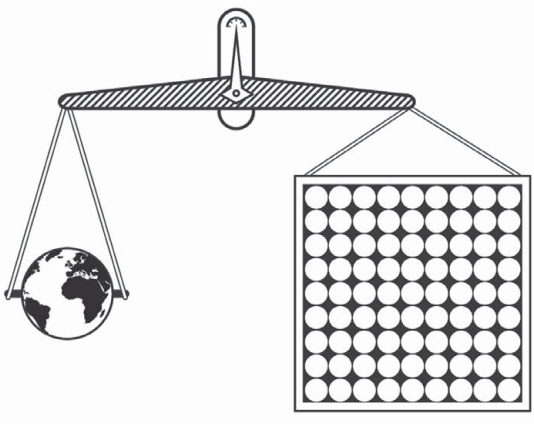


Рис. 89. Земля «весит» в 81 раз больше Луны

лишь его массу разделить на объем. Оказывается, что плотность Солнца примерно в четыре раза меньше плотности Земли.

Что же касается массы Луны, то, как выразился один астроном, «хотя она к нам ближе всех других небесных тел, взвесить ее труднее, чем Нептун, самую далекую (тогда) планету». У Луны нет спутника, который помог бы вычислить ее массу, как вычислили мы сейчас массу Солнца. Ученым пришлось прибегнуть к другим, более сложным методам, из которых упомянем только один. Он состоит в том, что сравнивают высоту прилива, производимого Солнцем, и прилива, порождаемого Луной.

Высота прилива зависит от массы и расстояния порождающего его тела, а так как масса и расстояние Солнца известны, расстояние Луны — тоже, то из сравнения высоты приливов и определяется масса Луны. Мы еще вернемся к этому расчету, когда будем говорить о приливах. Здесь сообщим лишь окончательный результат: масса Луны составляет $\frac{1}{81}$ массы Земли (рис. 89).

Зная диаметр Луны, вычислим ее объем; он оказывается в 49 раз меньшим объема Земли. Поэтому средняя плотность нашего спутника составляет $\frac{49}{81} = 0{,}6$ плотности Земли.

Значит, Луна в среднем состоит из более рыхлого вещества, нежели Земля, но более плотного, чем Солнце. Дальше мы увидим (см. табличку на с. 803), что средняя плотность Луны выше средней плотности большинства планет.

Вес и плотность планет и звезд

Способ, каким «взвесили» Солнце, применим и к взвешиванию любой планеты, имеющей хотя бы один спутник.

Зная среднюю скорость v движения спутника по орбите и его среднее расстояние D от планеты, мы приравниваем центростремительную силу, удерживающую спутник на его орбите, $\frac{mv^2}{D}$, силе взаимного притяжения спутника и планеты, т. е. $\frac{kmM}{D^2}$, где k — сила притяжения 1 г к 1 г на расстоянии 1 см, m — масса спутника, M — масса планеты:

$$\frac{mv^2}{D} = \frac{kmM}{D^2},$$

откуда

$$M = \frac{Dv^2}{k}.$$

По этой формуле легко вычислить массу M планеты.

Третий закон Кеплера применим и к этому случаю:

$$\frac{(\mathfrak{M}_\odot + m_{планеты})\, T^2_{планеты}}{(m_{планеты} + m_{спутника}) T^2_{спутника}} = \frac{a^3_{планеты}}{a^3_{спутника}}.$$

И здесь, пренебрегая в скобках малыми слагаемыми, получим отношение массы Солнца к массе планеты $\frac{\mathfrak{M}_\odot}{m_{планеты}}$. Зная массу Солнца, можно легко определить массу планеты.

Подобное же вычисление применимо и к двойным звездам с той лишь разницей, что здесь в результате вычисления получаются не массы отдельных звезд данной пары, а *сумма* их масс.

Гораздо труднее определить массу *спутников* планет, а также массу тех планет, которые вовсе не имеют спутников.

Например, массы Меркурия и Венеры найдены из учета того возмущающего влияния, которое они оказывают друг на друга, на Землю, а также на движение некоторых комет.

Для астероидов, масса которых настолько незначительна, что они не оказывают один на другой никакого заметного возмущающего действия, задача определения массы, вообще говоря, неразрешима. Известен лишь — и то гадательно — высший предел совокупной массы всех этих крошечных планеток.

По массе и объему планет легко вычисляется их *средняя плотность*. Результаты сведены в следующую табличку:

	Плотность Земли = 1
Меркурий	0,70
Венера	0,88
Земля	1,00
Марс	0,72
Юпитер	0,24
Сатурн	0,13
Уран	0,23
Нептун	0,38

Мы видим, что наша Земля и Венера — самые плотные из всех планет нашей системы. Малые средние плотности больших планет объясняются тем, что твердое ядро каждой большой планеты покрыто громадным слоем атмосферы, которая обладает малой массой, но весьма увеличивает видимый объем планеты.

Тяжесть на Луне и на планетах

Люди, мало начитанные в астрономии, нередко высказывают изумление по поводу того, что ученые, не посетив Луны и планет, уверенно говорят о силе тяжести на их поверхности. Между тем совсем нетрудно рассчитать, сколько килограммов должна весить гиря, перенесенная на другие миры. Для этого нужно лишь знать радиус и массу небесного тела.

Определим, например, напряжение силы тяжести на Луне. Масса Луны, как мы знаем, в 81 раз меньше массы Земли. Если бы Земля обладала такой маленькой массой, то напряжение силы тяжести на ее поверхности было бы в 81 раз слабее, чем теперь. Но по закону Ньютона шар притягивает так, словно вся его масса сосредоточена в центре. Центр Земли отстоит от ее поверхности на расстоянии земного радиуса, центр Луны — на расстоянии лунного радиуса. Но лунный радиус составляет $\frac{27}{100}$ земного, а от уменьшения расстояния в $\frac{100}{27}$ раза сила притяжения увеличивается в $\left(\frac{100}{27}\right)^2$ раз. Значит, в конечном итоге напряжение силы тяжести на поверхности Луны составляет

$$\frac{100^2}{27^2 \times 81} \approx \frac{1}{6}$$ земного.

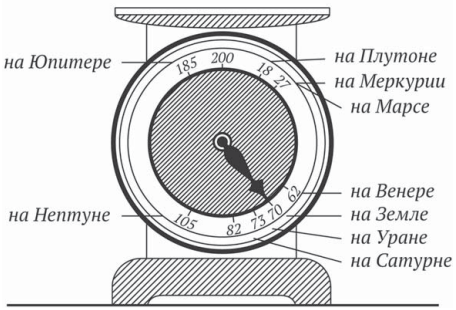


Рис. 90. Сколько весил бы человек на разных планетах. Вес человека на Плутоне — не 18 кг, а всего лишь 3,6 кг (по современным данным)

Итак, гиря в 1 кг, перенесенная на поверхность Луны, весила бы там только 1/6 кг, но, конечно, уменьшение веса можно было бы обнаружить только с помощью пружинных весов (рис. 90), а не рычажных.

Любопытно, что, если бы на Луне существовала вода, пловец чувствовал бы себя в лунном водоеме так же, как на Земле. Его вес уменьшился бы в шесть раз, но во столько же раз уменьшился бы и вес вытесняемой им воды; соотношение между ними было бы такое же, как на Земле, и пловец погружался бы в воду Луны ровно на столько же, на сколько погружается он у нас.

Впрочем, усилия подняться над водой дали бы на Луне более заметный результат: раз вес тела пловца уменьшился, оно может быть поднято меньшим напряжением мускулов.

Ниже приведена табличка величины силы тяжести на разных планетах по сравнению с земной.

На Меркурии	0,38	На Сатурне	1,17
» Венере	0,88	» Уране	1,05
» Земле	1,00	» Нептуне	1,50
» Марсе	0,39	» Плутоне	0,25
» Юпитере	2,64		

Как видно из таблички, наша Земля по силе тяжести стоит на пятом месте в Солнечной системе после Юпитера, Нептуна, Сатурна и Урана*.

* Желающие подробнее познакомиться с проявлениями тяготения во Вселенной найдут много полезных сведений в интересно написанной книге Ю. А. Рябова «Движения небесных тел», изд. 2-е. Физматгиз, 1962.

Рекордная тяжесть

Самой большой величины достигает сила тяжести на поверхности тех «белых карликов» типа Сириуса *B*, о котором мы говорили в главе IV. Легко сообразить, что огромная масса этих светил при сравнительно небольшом радиусе должна обусловить весьма значительное напряжение силы тяжести на их поверхности. Сделаем расчет для той звезды созвездия Кассиопеи, масса которой в 2,8 раза больше массы нашего Солнца, а радиус — вдвое меньше радиуса Земли. Вспомнив, что масса Солнца в 330 000 раз больше земной, устанавливаем, что сила тяжести на поверхности упомянутой звезды превышает земную в

$$2{,}8 \times 330\,000 \times 2^2 = 3\,700\,000 \text{ раз.}$$

1 см^3 воды, весящий на Земле 1 г, весил бы на поверхности этой звезды почти $3\frac{3}{4}$ т! 1 см^3 вещества самой звезды (которое в 36 000 000 раз плотнее воды) должен в этом удивительном мире иметь чудовищный вес

$$3\,700\,000 \times 36\,000\,000 = 133\,200\,000\,000\,000 \text{ г.}$$

Наперсток вещества, весящий сто миллионов тонн, — вот диковинка, о существовании которой во Вселенной не помышляли еще недавно самые смелые фантасты.

Тяжесть в глубине планет

Как изменился бы вес тела, если бы оно было перенесено в глубь планеты, например на дно фантастической глубокой шахты?

Многие ошибочно считают, что на дне такой шахты тело должно сделаться тяжелее: ведь оно ближе к центру планеты, т. е. к той точке, к которой притягиваются все тела. Это соображение, однако, неправильно: сила притяжения к центру планеты не возрастает на глубине, а, напротив, ослабевает. Общепонятное разъяснение этого читатель может найти в моей «Занимательной физике». Чтобы не повторять сказанного там, замечу лишь следующее.

В механике доказывается, что тела, помещенные в полость однородной шаровой оболочки, совсем лишены веса (рис. 91). Отсюда следует, что тело, находящееся внутри сплошного однородного шара,

подвержено притяжению только той части вещества, которая заключена в шаре с радиусом, равным удалению тела от центра (рис. 92).

Опираясь на эти положения, нетрудно вывести закон, по которому изменяется вес тела с приближением к центру планеты. Обозначим радиус планеты (рис. 93) через R и расстояние тела от ее центра через r. Сила притяжения тела в этой точке должна возрасти в $\left(\frac{R}{r}\right)^2$ раз и одновременно ослабеть в $\left(\frac{R}{r}\right)^3$ раз (так как притягивающая часть планеты уменьшилась в указанное число раз). В конечном итоге сила притяжения должна *ослабеть в*

$$\left(\frac{R}{r}\right)^3 : \left(\frac{R}{r}\right)^2, \text{ т. е. в } \frac{R}{r} \text{ раза.}$$

Значит, в глубине планет вес тела должен *уменьшиться* во столько же раз, во сколько раз уменьшилось расстояние до *центра*. Для планеты таких размеров, как наша Земля, имеющей радиус в 6400 км, углубление на 3200 км должно сопровождаться уменьшением веса вдвое, углубление на 5600 км — уменьшением веса в

$$\frac{6400}{6400 - 5600}, \text{ т. е. в восемь раз.}$$

В самом центре планеты тело должно потерять свой вес полностью, так как

$$\frac{6400}{6400 - 6400} = 0.$$

Это, впрочем, можно было предвидеть и без вычислений, так как в центре планеты тело притягивается окружающим веществом со всех сторон с одинаковой силой. Высказанные соображения относятся к воображаемой планете, *однородной* по плотности. К планетам

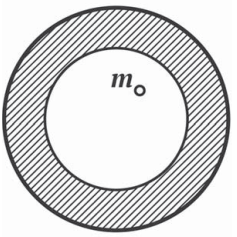


Рис. 91. Тело внутри шаровой оболочки не имеет веса

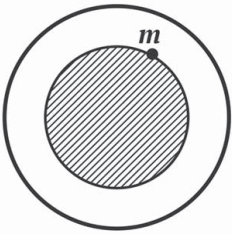


Рис. 92. От чего зависит вес тела в недрах планеты?

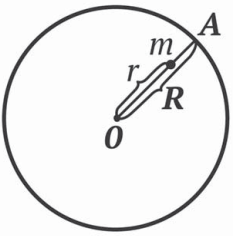


Рис. 93. К вычислению изменения веса тела с приближением к центру планеты

реальным они приложимы лишь с оговорками. В частности, для земного шара, плотность которого в глубине больше, чем близ поверхности, закон изменения силы тяжести с приближением к центру несколько отступает от сейчас установленного: до некоторой (сравнительно небольшой) глубины притяжение возрастает и лишь при дальнейшем углублении начинает убывать.

Лунные и солнечные приливы

Не следует думать, что приливная волна поднимается просто оттого, что Луна или Солнце непосредственно притягивают к себе воду. Луна притягивает не только то, что находится на земной поверхности, но и весь земной шар. Дело в том, однако, что от центра земного шара источник притяжения дальше, чем от частиц воды на ее поверхности, обращенной к Луне. В той точке, в зените которой стоит Луна, каждый килограмм воды притягивается ею сильнее, чем килограмм вещества центра Земли на $\frac{2kMr}{D^3}$, а вода в диаметрально противоположной точке Земли — на столько же слабее.

Вследствие этой разницы вода в обоих случаях поднимается над твердой земной поверхностью: в первом случае потому, что вода перемещается к Луне больше, чем твердая часть земного шара, во втором — потому, что твердая часть Земли перемещается к Луне больше, чем вода*.

Подобное же действие оказывает на воды океана и притяжение Солнца. Но чье действие сильнее: солнечное или лунное? Если сравнить их *непосредственные* притяжения, то окажется, что действие Солнца сильнее. Действительно, масса Солнца больше массы Земли в 330 000 раз, масса же Луны еще в 81 раз меньше, т. е. меньше солнечной в 330 000 × 81 раз. Расстояние от Солнца до Земли равно 23 400 земным радиусам, а от Луны до Земли — 60 земным радиусам. Значит, притяжение Земли Солнцем относится к притяжению ее Луной, как

$$\frac{330\,000 \times 81}{23\,400^2} : \frac{1}{60^2} \approx 170.$$

* Здесь отмечена лишь основная причина приливов и отливов; в целом явление это сложнее и обусловливается еще и другими причинами (центробежный эффект обращения земного шара вокруг общего центра масс Земли и Луны и др.). Полная теория приливов общепонятно изложена в книге Ю. М. Шокальского «О приливах в Мировом океане».

Итак, Солнце притягивает все земные предметы в 170 раз сильнее, чем Луна. Можно было бы думать поэтому, что солнечные приливы выше лунных. В действительности, однако, наблюдается как раз обратное: лунные приливы больше солнечных. Если массу Солнца обозначим через $M_с$, массу Луны через $M_л$, расстояние до Солнца через $D_с$, до Луны — через $D_л$, то отношение приливообразующих сил Солнца и Луны равно

$$\frac{2kM_с r}{D^3_с} : \frac{2kM_л r}{D^3_л} = \frac{M_с}{M_л} \times \frac{D^3_л}{D^3_с}.$$

Будем считать массу Луны известной: $\frac{1}{81}$ массы Земли.

Тогда, зная, что Солнце в 400 раз дальше Луны, имеем

$$\frac{M_с}{M_л} \times \frac{D^3_л}{D^3_с} = 330\,000 \times 81 \times \frac{1}{400^3} = 0{,}42.$$

Значит, приливы, порождаемые Солнцем, должны быть примерно в $2\frac{1}{2}$ раза ниже лунных.

Здесь уместно будет показать, как из сравнения высот лунных и солнечных приливов определена была масса Луны. Наблюдать высоту тех и других приливов в отдельности нельзя: Солнце и Луна всегда действуют совместно. Но можно измерить высоту прилива тогда, когда действия обоих светил складываются (т. е. когда Луна и Солнце расположены на одной прямой линии с Землей), и тогда, когда действия их противоположны (прямая, соединяющая Солнце с Землей, перпендикулярна к прямой, соединяющей Луну с Землей). Наблюдения показали, что вторые приливы по высоте составляют 0,42 первых. Если приливообразующая сила Луны равна x, а Солнца y, то

$$\frac{x + y}{x - y} = \frac{100}{42},$$

откуда

$$\frac{x}{y} = \frac{71}{29}.$$

Значит, по ранее выведенной формуле:

$$\frac{M_с}{M_л} \times \frac{D^3_л}{D^3_с} = \frac{29}{71}.$$

или

$$\frac{1}{64\,000\,000} = \frac{29}{71}.$$

Так как масса Солнца $M_с$ — 330 000 $M_з$, где $M_з$ — масса Земли, то из последнего равенства легко найти

$$\frac{M_з}{M_л} = 80,$$

т. е. масса Луны составляет $\frac{1}{81}$ долю массы земной. Более точный расчет* дает величину 0,0123 земной массы.

Луна и погода

Многих интересует вопрос о том, какое влияние на атмосферное давление могут оказывать приливы и отливы, порождаемые Луной в воздушном океане нашей планеты. Эти приливы были открыты великим русским ученым М. В. Ломоносовым, который назвал их воздушными волнами. Ими занимались многие, но тем не менее о роли воздушных приливов распространены превратные представления. Неспециалисты думают, будто в легкой и подвижной атмосфере Земли Луна вызывает огромные приливные волны. Отсюда убеждение в том, что приливы эти значительно изменяют давление атмосферы и должны иметь решающее значение в метеорологии.

Это мнение совершенно ошибочно. Теоретически можно доказать, что высота атмосферного прилива не должна превышать высоты водного прилива в открытом океане. Такое утверждение кажется неожиданным; ведь воздух даже в нижних, плотных слоях чуть не в тысячу раз легче воды, почему же лунное притяжение не поднимает его на тысячекратную высоту? Однако это не более парадоксально, чем одинаковая быстрота падения тяжелых и легких тел в пустоте.

Вспомним школьный опыт с пустой трубкой, внутри которой свинцовый шарик, падая, не перегоняет пушинку. Явление прилива в конечном счете обусловлено не чем иным, как падением в мировом пространстве земного шара и его более легких оболочек под действием тяготения Луны (и Солнца). В пустоте мирового пространства все тела — и тяжелые и легкие — падают с одинаковой быстротой, получают от силы тяготения одинаковое перемещение, если расстояние их от центра притяжения одинаково.

* В частности, связанный с измерениями периодических колебаний долгот планет и Солнца, происходящих вследствие движения земного шара вокруг барицентра — центра масс Земли и Луны.

Сказанное подготовляет нас к той мысли, что высота атмосферных приливов должна быть такая же, как и в океане, вдали от берегов. Действительно, если бы мы обратились к формуле, по которой вычисляется высота прилива, то убедились бы, что она заключает в себе только массы Луны и Земли, радиус земного шара и расстояние от Земли и Луны. Ни плотность поднимаемой жидкости, ни глубина океана в эту формулу не входят. Заменив водяной океан воздушным, мы не изменим результата вычислений и получим для атмосферного прилива ту же высоту, как и для прилива в океане. А последняя величина весьма незначительна. Теоретическая высота наибольшего прилива в открытом океане — около $^1/_2$ м, и только очертания берегов и дна, стесняя приливную волну, повышают ее в отдельных пунктах до 10 м и более. Существуют весьма любопытные машины для предсказания высоты прилива в данном месте в любой момент времени по данным о положении Солнца и Луны.

В безбрежном же воздушном океане ничто не может нарушать теоретической картины лунного прилива и изменять наибольшую ее теоретическую высоту — полметра. Столь незначительное поднятие может оказывать на величину атмосферного давления лишь самое ничтожное влияние.

Лаплас, занимавшийся теорией воздушных приливов, пришел к выводу, что колебания атмосферного давления, обусловленные ими, не должны превышать 0,6 мм ртутного столба, а порождаемый атмосферными приливами ветер обладает скоростью не выше 7,5 см/с.

Ясно, что атмосферные приливы не могут играть сколько-нибудь существенной роли среди факторов погоды.

Эти соображения делают совершенно беспочвенными попытки разных «лунных пророков» предсказывать погоду по положению Луны на небе.

Межпланетные путешествия



ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА К ДЕСЯТОМУ ИЗДАНИЮ

Первое издание этой книги, двадцать лет назад, я напутствовал следующими строками:

«Было время, когда признавалось невозможным переплыть океан. Нынешнее всеобщее убеждение в недосягаемости небесных светил обосновано, в сущности, не лучше, нежели вера наших предков в недостижимость антиподов. Правильный путь к разрешению проблемы заатмосферного летания и межпланетных путешествий уже намечен — к чести русской науки — трудами нашего ученого. Практическое же разрешение этой грандиозной задачи может осуществиться в недалеком будущем.

Этой маленькой экскурсией в область космической физики автор, помимо прямой задачи, преследует и другую цель: он желал бы до некоторой степени рассеять существующее в публике предубеждение против небесной механики и физики, как знаний слишком отвлеченных, неспособных будто бы дать пищу живому уму. Наука, которая открывает возможность успешно соперничать в полете воображения с фантазией остроумнейших романистов, проверять и исправлять их смелые замыслы, наука, указывающая пути осуществления величайших грез человечества, должна перестать казаться сухой и скучной. Автор надеется, что простейшие сведения из этой области знания, которые рассеяны в настоящей книге, заронят в уме любознательного читателя интерес к изучению механики и физики Вселенной и возбудят желание ближе познакомиться с фундаментом величественной науки о небе.

Чтение этой книги не требует никаких специальных познаний. Материал, предназначенный для более подготовленных читателей, отнесен в отдел Приложений».

За два десятилетия, протекшие со времени выхода в свет первого издания этой книги, предмет ее пережил стремительную эволюцию.

Из проблемы чисто теоретической заатмосферное летание успело вырасти в практическую задачу современной техники. Оно перестало быть мечтой и начинает претворяться в действительность на глазах нынешнего поколения.

Столь значительная перемена не могла, конечно, не сказаться на содержании книги, отразившей в десяти своих изданиях последовательные этапы развития проблемы заатмосферного летания. Каждое новое издание перерабатывалось, исправлялось, пополнялось целыми главами. Новый текст нельзя было механически присоединять к прежнему, потому что новые достижения не только обогащали содержание той или иной главы, но и меняли ее перспективу: приходилось всю главу составлять заново. Параллельно с расширением материала рос и объем книги. Настоящее, 10-е, издание почти втрое больше первого. И это — несмотря на то что книга рассматривает преимущественно лишь принципиальные, физико-астрономические стороны проблемы, без углубления в конструктивные частности.

По форме изложения книга в основном тексте по-прежнему остается сочинением популярным. Ее цель — правильно ориентировать читателя, ознакомить с главными вопросами, рассеять предубеждение против осуществимости нового рода транспорта, не затушевывая в то же время стоящих на его пути трудностей. Чтение книги должно служить ступенью к проработке существующей специальной литературы. Литература эта множится с каждым годом; если при первом своем появлении «Межпланетные путешествия» были единственной в мире отдельно изданной книгой по своему предмету, то сейчас имеется уже известный выбор книг на эту тему, популярных и научных, русских и иностранных.

Излишне добавлять, что и в настоящее, 10-е, издание понадобилось внести ряд изменений по сравнению с предшествовавшим, несмотря на то что оба издания разделены промежутком всего в один год.

Я. Перельман
1935

ПРЕДИСЛОВИЕ К. Э. ЦИОЛКОВСКОГО К ШЕСТОМУ ИЗДАНИЮ

В 1903 г. в петербургском ежемесячном журнале «Научное обозрение» (№ 5) появилась моя математическая работа о ракетном снаряде для заатмосферного летания «Исследование мировых пространств реактивными приборами». Журнал был мало распространенный и скорее философский и литературный, а никак не технический. Поэтому, кроме немногих иностранцев, никто моей работы не заметил. После торжества авиации я получил возможность возвратиться в печати к затронутой теме: в 1911–1912 гг. была опубликована в «Вестнике воздухоплавания» моя новая работа под тем же заглавием. Она содержала резюме первой работы и значительное ее развитие. Работа обратила на себя внимание специалистов, — но широким кругам читателей идеи мои стали известны лишь с того времени, когда за пропаганду их принялся автор «Занимательной физики» Я. И. Перельман, выпустивший в 1915 г. свою популярную книгу «Межпланетные путешествия». Это сочинение явилось первой в мире серьезной, хотя и вполне общепонятной книгой, рассматривающей проблему межпланетных перелетов и распространяющей правильные сведения о космической ракете. Книга имела большой успех и выдержала за истекшие 14 лет пять изданий. Автор давно известен своими популярными, остроумными и вполне научными трудами по физике, астрономии и математике, написанными к тому же чудесным языком и легко воспринимаемыми читателями.

Горячо приветствую появление настоящего, шестого по счету, издания «Межпланетных путешествий», пополненного и обновленного сообразно продвижению этой проблемы новейшими исследованиями.

К. Циолковский

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ВЕЛИЧАЙШАЯ ГРЕЗА ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

Проложенная Ньютоном дорога
Страданий облегчила тяжкий гнет;
С тех пор открытий сделано уж много,
И верно мы к Луне когда-нибудь,
Благодаря парам, направим путь.

Байрон («Дон Жуан», 1823 г.)

Мысль о путешествиях на другие планеты, о странствовании в межзвездных пустынях недавно была только заманчивой грезой. Рассуждать на эту тему можно было разве лишь так, как говорили об авиации несколько веков назад, в эпоху Леонардо да Винчи. Но сейчас нет уже сомнений, что подобно тому как авиация из красивой мечты превратилась в повседневную действительность, так в недалеком будущем осуществится и мысль о космических путешествиях. Наступит день, когда небесные корабли-звездолеты ринутся вглубь Вселенной и перенесут бывших пленников Земли на Луну, к планетам — в другие миры, казалось бы навеки недоступные для земного человечества.

Двести-триста лет назад, когда воздухоплавание было только фантастической грезой, вопрос о межзвездных полетах казался тесно связанным с проблемой летания и плавания в атмосфере.

Но вот мы путешествуем уже в воздухе над горными хребтами и пустынями, летим через материки и океаны, побывали над полюсом, облетели кругом всю планету — словом, добились сказочных успехов в деле летания в воздухе. Более того: в самые последние годы человек стал проникать в высшие, сильно разреженные слои атмосферы, в область стратосферы, где невозможно дышать из-за недостатка кислорода и где господствует мороз в 50–90 °С. Естественной является мысль, что покорение заатмосферных высот и достижение небесных светил — не столь уж далеки. Однако это не так: на пути к полетам в мировое пространство делаются сейчас лишь первые скромные шаги и притом вовсе не теми средствами, какими пользуются авиация и воздухоплавание.

Иначе и быть не может: полет в воздухе и полет в пустоте — проблемы совершенно разные. Воздушные шары поддерживаются на вы-

соте выталкивающим действием окружающего воздуха. Где воздуха нет, там всякий воздушный шар, чем бы он ни был наполнен, должен падать вниз, как камень. Специалисты утверждают, что никогда в будущем воздушные шары не поднимутся выше 40 км, т. е. выше тех слоев атмосферы, где воздух разрежен в 300–400 раз. Что касается самолетов, то с точки зрения механики они движутся так же, как и пароход или паровоз: колеса паровоза отталкиваются от рельсов, винт парохода — от воды, пропеллер аэроплана — от воздуха. Но в заатмосферных пустынях, в мировом пространстве нет среды, на которую можно было бы так или иначе опереться.

Значит, чтобы осуществить межпланетные полеты, техника должна обратиться к другим приемам летания; она должна выработать такой аппарат, который мог бы передвигаться, управляясь в безвоздушном пространстве, не имея никакой опоры вокруг себя. Для разрешения так поставленной задачи техника вынуждена искать принципиально иные пути.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ВСЕМИРНОЕ ТЯГОТЕНИЕ И ЗЕМНАЯ ТЯЖЕСТЬ

Прежде чем приступить к этим поискам, уделим внимание тем невидимым цепям, которые приковывают нас к земному шару, — познакомимся ближе с действием силы всемирного тяготения. С нею-то главным образом и предстоит иметь дело будущим плавателям по мировому океану.

Начнем с одного распространенного заблуждения. Часто приходится слышать о некоторой «сфере» земного притяжения, выйдя за пределы которой, тела не подвержены уже притягивающему действию нашей планеты. От этого превратного представления надо отрешиться. Никакой «сферы» земного притяжения, никаких пределов для него не существует. Притяжение Земли, да и всякого тела, простирается *беспредельно*: оно лишь ослабевает с расстоянием, но

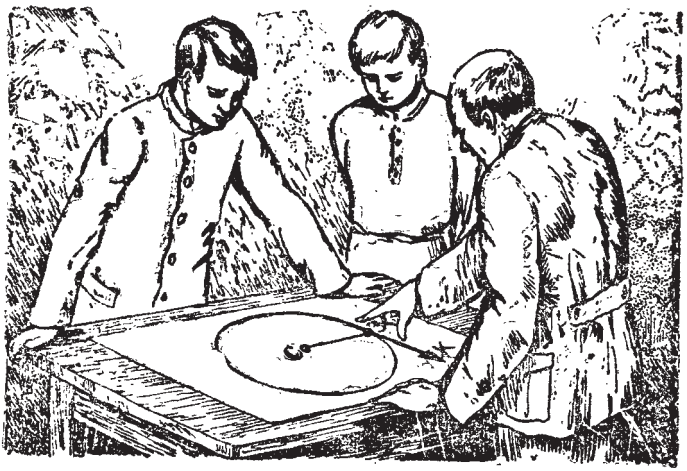


Рис. 1

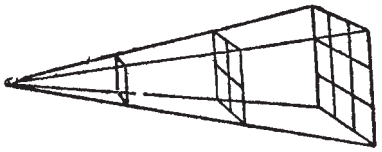


Рис. 2. Всемирное притяжение: закон расстояний. На двойном расстоянии притяжение уменьшается в 2 × 2, т. е. в 4 раза, на тройном — в 3 × 3, т. е. в 9 раз, и т. д. — «пропорционально квадрату расстояния»

никогда и нигде не прекращается вовсе. Когда мы мысленно переносимся с Земли на Луну и подпадаем под притягательное действие нашего спутника, мы не должны представлять себе дело так, будто где-то прекращается земное притяжение и начинается притяжение лунное; нет, на Луне появляются оба притяжения, но лунное превозмогает — и явно заметно лишь действие преобладающей силы притяжения нашего спутника.

Однако близ лунной поверхности сказывается также и земное притяжение. Да и у нас на Земле, наряду с земным притяжением проявляется тяготение Луны и Солнца; о нем дважды в сутки молчаливо, но убедительно свидетельствуют морские приливы.

Взаимное притяжение присуще не только телам небесным; это одно из основных свойств всякой материи. Им обладают даже самые мелкие крупинки вещества, где бы они ни помещались и какой бы ни были природы. Ни на мгновение не перестает оно проявляться везде и всюду, на каждом шагу, в великом и в малом. «Падение яблока с дерева, провал моста, сцепление почвы, явление прилива, предварение равноденствий, орбиты планет со всеми их возмущениями, существование атмосферы, солнечное тепло, вся область астрономического тяготения, так же как форма наших домов и мебели, совокупность условий обыденной жизни и даже наше существование — всецело зависят от этого основного свойства вещества» — так картинно изображает английский физик проф. О. Лодж значение тяготения в природе. Каждые две частицы любого вещества притягивают друг друга — и никогда, ни при каких условиях взаимное их притяжение не прекращается: ослабевая с расстоянием, оно нисколько не уменьшается с течением времени.

Как же велика сила взаимного притяжения тел? Она может быть и невообразимо ничтожна, и чудовищно могущественна — в зависимости от размеров притягивающихся масс и от их взаимного расстояния.

Два яблока, по 100 г каждое, подвешенные одно от другого на расстоянии в 10 см (между центрами яблок), притягиваются с ничтожною силою в 1/150 000 мг. Это в сотни тысяч раз меньше веса песчин-

ки. Ясно, что подобная сила едва ли способна преодолеть жесткость нитей, поддерживающих яблоки, и, конечно, не в состоянии сблизить яблоки сколько-нибудь заметным образом. Два взрослых человека, отстоящие на метр один от другого, взаимно притягиваются с силой около 40-й доли миллиграмма (см. Приложение 1). Столь ничтожная сила не может обнаружиться в условиях обыденной жизни. Она недостаточна даже, чтобы разорвать паутинную нить; а ведь чтобы сдвинуть с места человека, нужно преодолеть трение его подошв о пол; для груза в 65 кг трение достигает 20 кг, т. е. в 800 миллионов раз больше, чем упомянутая сила взаимного притяжения человеческих тел. Удивительно ли, что в условиях обиходной жизни мы не замечаем на Земле взаимного тяготения предметов?

Но если бы трения не было, если бы два человеческих существа висели без опоры в пустом пространстве и ничто не мешало проявляться их взаимному притяжению — то, какие бы чувства ни питали эти люди друг к другу, они непреодолимо влеклись бы навстречу силою всемирного тяготения, хотя скорость этого сближения под действием столь ничтожной силы была бы крайне незначительна.

Увеличьте притягивающиеся массы — и сила взаимного тяготения заметно возрастет. Провозглашенный Ньютоном закон всемирного тяготения утверждает: притяжение тел увеличивается пропорционально произведению их масс и уменьшается пропорционально квадрату взаимного расстояния. Можно вычислить, что два линейных корабля, по 25 000 т каждый, плавая на расстоянии километра друг от друга, взаимно притягиваются с силою 4 г (см. Приложение 1). Это в 160 тысяч раз больше упомянутой силы притяжения двух человеческих существ, но, разумеется, слишком еще недостаточно, чтобы преодолеть сопротивление воды и сблизить суда вплотную. Да и при полном отсутствии сопротивления оба корабля, под действием столь ничтожной силы, в течение первого часа сблизились бы всего на два сантиметра.

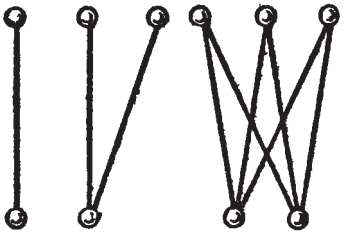


Рис. 3. Всемирное притяжение: закон масс. 1 единица массы притягивает 1 единицу с силою 1 ед.; 2 единицы массы притягивают 1 единицу с силою 2 ед.; 3 единицы массы притягивают 2 единицы с силою 6 ед. и т. д.

Даже притяжение целых горных хребтов требует для своего обнаружения тончайших измерений. Отвес, помещенный во Владикавказе, отклоняется от вертикали притяжением со-

седних Кавказских гор на угол всего лишь в 37 секунд.

Зато для таких огромных масс, как Солнце и планеты, взаимное притяжение даже на отдаленнейших расстояниях достигает степеней, превосходящих наше воображение.

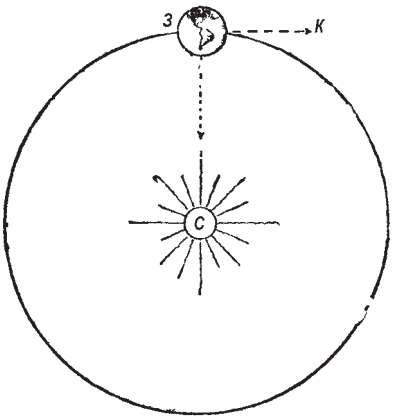


Рис. 4. Действие солнечного притяжения на Землю. По инерции Земля стремится двигаться по касательной *ЗК*; притяжение Солнца заставляет ее уклоняться от касательной и переводит на криволинейный путь

Земля, несмотря на неимоверную отдаленность от Солнца, удерживается на своей орбите единственно лишь могучим взаимным притяжением обоих тел. Предположите на минуту, что это взаимное притяжение внезапно прекратилось и что инженеры задались целью заменить невидимые цепи тяготения материальными связями — иначе говоря, желают привязать земной шар к Солнцу, скажем, стальными канатами. Вам знакомы, конечно, те свитые из проволоки тросы, которые применяются для подъемников. Каждый из них способен выдержать груз свыше 16 т. Знаете ли вы, сколько таких тросов понадобилось бы, чтобы помешать нашей планете удалиться от Солнца и, значит, как бы заменить силу взаимного притяжения Земли и Солнца? Цифра с пятнадцатью нулями мало скажет вашему воображению. Вы получите более наглядное представление о могуществе этого притяжения, если я сообщу вам, что всю обращенную к Солнцу поверхность земного шара пришлось бы густо покрыть непроходимым лесом таких тросов, по 70 на каждый квадратный метр.

Так огромна невидимая сила, влекущая планеты к Солнцу.

Впрочем, для межпланетных полетов не понадобится рассекать эту связь миров и сдвигать небесные светила с их вековечных путей. Будущему моряку Вселенной придется считаться лишь с притягательным действием планет и Солнца на мелкие тела и прежде всего, конечно, с силой тяжести близ земной поверхности: она-то и приковывает нас к нашей планете.

Земная тяжесть интересует нас сейчас не тем, что она заставляет каждое лежащее или подвешенное земное тело давить на свою опору. Для нас важнее то, что всем телам, оставленным без опоры, тяжесть

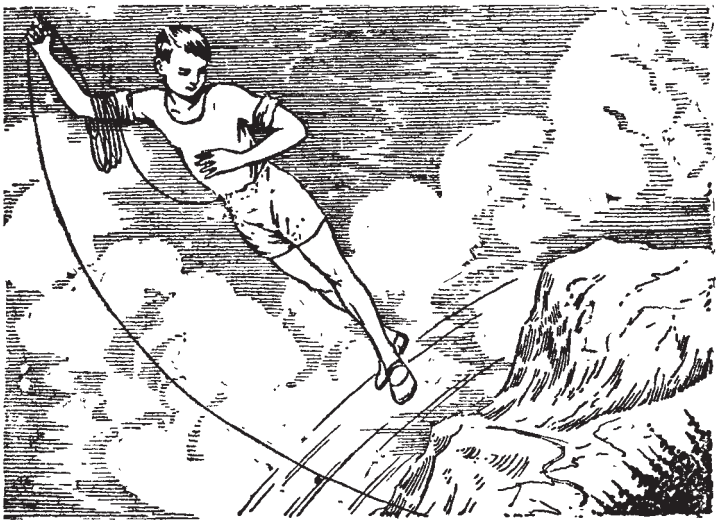


Рис. 5. Если бы тяжесть на Земле была такая же, как на Эросе...

сообщает движение «вниз», к центру Земли. Вопреки обычному мнению, для всех тел — тяжелых и легких — быстрота этого движения в безвоздушном пространстве совершенно одинакова и по истечении первой секунды падения всегда равна 10 м/с*. По истечении второй секунды к накопленной 10-метровой скорости присоединяются еще 10 м: скорость удваивается. Возрастание скорости длится все время, пока совершается падение. С каждой секундой скорость падения возрастает на одну и ту же величину — на 10 м/с. Поэтому к концу третьей секунды скорость равна 30 м/с, к концу четвертой — 40 и т. д. Если же тело брошено снизу вверх, то скорость взлета, наоборот, уменьшается каждую следующую секунду на те же 10 м/с: по истечении первой секунды она на 10 м/с меньше, чем начальная; по истечении второй — еще на 10 м/с меньше, т. е. в итоге на 20 м/с и т. д., пока не истощится вся первоначально сообщенная телу скорость и оно не начнет падать вниз. (Так происходит лишь до тех пор, пока взлетающее тело не слишком удаляется от земной поверхности; на значительном расстоянии от Земли напряжение тяжести ослабевает, и тогда ежесекундно отнимается уже не 10 м/с, а меньше.) Сухие цифры — но они должны нам многое пояснить.

* Точнее — 9,8 м/с; округляем это число ради простоты.

В старину, говорят, к ноге каторжан приковывали цепь с тяжелой гирей, чтобы отяжелить их шаг и сделать неспособными к побегу. Все мы, жители Земли, незримо отягчены подобной же гирей, мешающей нам вырваться из земного плена в окружающий простор Вселенной. При малейшем усилии подняться ввысь невидимая гиря дает себя чувствовать и влечет нас вниз с возрастающей стремительностью. Быстрота нарастания скорости падения — по 10 м/с^2 — служит мерою отягчающего действия невидимой гири, которая держит нас в земном плену.

Все мечтающие о полетах по беспредельному океану Вселенной должны сожалеть о том, что человеческому роду приходится жить как раз на той планете, которую мы именуем Землей. Среди небесных сестер земного шара не все обладают столь значительным напряжением тяжести, как наша планета. Вы убедитесь в этом, если взглянете на прилагаемую табличку, где напряжение тяжести на различных планетах дано по сравнению с напряжением земной тяжести.

НАПРЯЖЕНИЕ ТЯЖЕСТИ
(На Земле = 1)

На Юпитере	2,36
На Сатурне	0,96
На Уране	0,99
На Нептуне	1,53
На Плутоне	0,05
На Венере	0,88
На Марсе	0,39
На Меркурии	0,38
На Луне	0,17
На астероиде Церере	0,04
На астероиде Эросе	0,001

Будь условия тяжести у нас такие, как на Меркурии или на Луне, а тем более на Церере или Эросе, не пришлось бы, пожалуй, писать теперь этой

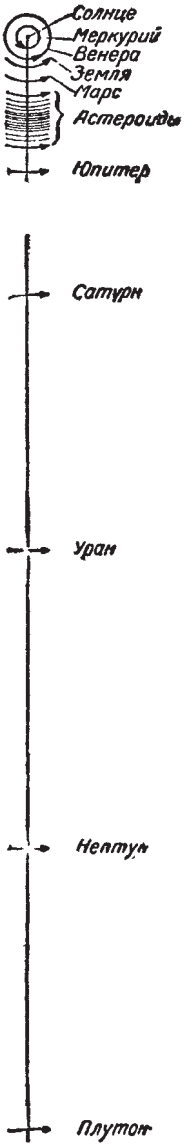


Рис. 6. Относительные расстояния планет от Солнца

книги, потому что люди давно путешествовали бы уже по мировому пространству. На мелких астероидах достаточно было бы просто оттолкнуться от планеты, чтобы навеки унестись в простор Вселенной...

Итак, межпланетные перелеты, помимо изыскания способов управления в пустоте, требуют разрешения вопроса о том, какими способами возможно бороться с силою земного притяжения.

Мысль наша способна вообразить лишь троякого рода борьбу с земною тяжестью:

1) можно искать средства *укрыться* или заслониться от силы притяжения, сделаться для нее неуязвимым;

2) можно пытаться *ослабить* напряжение земной тяжести;

3) и наконец, оставляя силу земной тяжести без изменения, можно изыскивать средства ее *преодолеть*.

Каждый из трех путей в случае успеха сулит возможность освободиться от плена тяжести и пуститься в свободное плавание по Вселенной.

В этой последовательности мы и рассмотрим далее наиболее любопытные, заманчивые или поучительные проекты осуществления космических перелетов, прежде чем перейдем к изложению современного состояния вопроса.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

МОЖНО ЛИ УКРЫТЬСЯ ОТ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ?

С детства привыкли мы к тому, что все вещи прикованы своим весом к Земле; нам трудно поэтому даже мысленно отрешиться от тяжести и представить себе картину того, что было бы, если бы мы умели эту силу уничтожать по своему желанию. Такую фантастическую картину нарисовал в одной из своих статей американский ученый Г. Сервис:

> «Если бы в самый разгар военной кампании мы могли посылать волны, которые нейтрализовали бы силу тяжести, то всюду, куда бы они ни попадали, немедленно наступал бы хаос. Гигантские пушки взлетали бы на воздух, как мыльные пузыри. Марширующие солдаты, внезапно почувствовав себя легче перышка, беспомощно витали бы в воздухе, всецело во власти неприятеля, находящегося вне сферы действия этих волн. Картина забавная и, как может показаться, невероятная — а между тем так было бы в действительности, если бы людям удалось подчинить своей власти силу тяжести».

Все это, конечно, фантазия. Не приходится и думать о том, чтобы распоряжаться силою тяготения по своему желанию. Мы не в состоянии даже сколько-нибудь отклонить эту силу от пути, по которому она действует, не можем ни одного тела защитить от ее действия. Тяготение — единственная сила природы, для которой не существует преград. Какое бы огромное, какое бы плотное тело ни стояло на ее пути — сила эта проникает сквозь него, как через пустое место. Тел, для тяготения непроницаемых, — сколько нам известно — в природе нет.

Но если бы человеческому гению посчастливилось в будущем отыскать или приготовить такое непроницаемое для тяготения вещество, смогли ли бы мы с его помощью укрыться от силы притяжения, сбросить цепи тяжести и свободно ринуться в мировое пространство?



Рис. 7

Английский писатель Герберт Уэллс подробно развил мысль о заслоне от тяготения в фантастическом романе «Первые люди на Луне». Ученый герой романа, изобретатель Кевор, открыл способ изготовления именно такого вещества, непроницаемого для тяготения. Об этом фантастическом веществе, названном в романе «кеворитом», автор рассуждает так:

«Почти каждое тело отличается непрозрачностью для какого-нибудь рода лучистой энергии и прозрачно для других ее видов. Стекло, например, пропускает видимый свет, но для невидимых лучей, производящих нагревание, оно гораздо менее прозрачно; квасцы, прозрачные для видимых лучей света, полностью задерживают лучи невидимые, нагревающие. Напротив, раствор йода в жидкости, называемой сероуглеродом, непрозрачен для видимых лучей света, но свободно пропускает невидимые, греющие лучи: через сосуд с такой жидкостью не видно пламени, но хорошо ощущается его теплота. Металлы непрозрачны не только для лучей света, видимого и невидимого, но и для электрических колебаний, которые, однако, свободно проходят сквозь стекло или через упомянутый раствор, как сквозь пустое пространство, и т. д.

Далее. Мы знаем, что для всемирного тяготения, т. е. для силы тяжести, проницаемы все тела. Вы можете поставить преграды, чтобы отрезать лучам света доступ к предметам; с помощью металлических листов можете оградить предмет от доступа радиоволн, — но никакими преградами не можете вы защитить предмет от действия тяготения Солнца или от силы земной тяжести. Почему, собственно, в природе нет подобных

преград для тяготения — трудно сказать. Однако Кевор не видел причин, почему бы и не существовать такому веществу, непроницаемому для тяготения; он считал себя способным искусственно создать такое непроницаемое для тяготения вещество.

Всякий, обладающий хоть искрой воображения, легко представит себе, какие необычайные возможности открывает перед нами подобное вещество. Если, например, нужно поднять груз, то, как бы огромен он ни был, достаточно будет разостлать под ним лист из этого вещества — и груз можно будет поднять хоть соломинкой».

Располагая столь замечательным веществом, герои романа сооружают небесный дирижабль, в котором и совершают смелый перелет на Луну. Устройство снаряда весьма несложно: в нем нет никакого двигательного механизма, так как он перемещается действием внешних сил. Вот описание этого фантастического аппарата:

«Вообразите себе шарообразный снаряд, достаточно просторный, чтобы вместить двух человек с их багажом. Снаряд будет иметь две оболочки — внутреннюю и наружную; внутренняя — из толстого стекла, наружная — стальная. Можно взять с собою запас сгущенного воздуха, концентрированной пищи, аппараты для дистилляции воды и т. п. Стальной шар будет снаружи весь покрыт слоем кеворита. Внутренняя стеклянная оболочка будет сплошная, кроме люка; стальная же будет состоять из отдельных частей, и каждая такая часть может сворачиваться, как штора. Когда все шторы наглухо спущены, внутрь шара не может проникнуть ни свет, никакой вообще вид лучистой энергии, ни сила всемирного тяготения. Но вообразите, что одна из штор поднята; тогда любое массивное тело, которое случайно находится вдали против этого окна, притянет нас к себе. Практически мы можем путешествовать в мировом пространстве в том направлении, в каком пожелаем, притягиваемые то одним, то другим небесным телом».

Интересно описан в романе момент отправления аппарата в путь. Слой «кеворита», покрывающий аппарат, делает его совершенно невесомым. Невесомое тело не может спокойно лежать на дне воздушного океана; с ним должно произойти то же, что происходит с пробкой, погруженной на дно озера: она всплывает на поверхность воды. Точно так же невесомый аппарат должен стремительно подняться ввысь и, миновав крайние границы атмосферы, умчаться по инерции в мировое пространство. Герои романа Уэллса так и полетели. А очутившись далеко за пределами атмосферы, они, открывая одни заслонки, закрывая другие, подвергая свой снаряд притяжению то Солнца, то Земли, то Луны, добрались наконец до поверхности нашего спутника.

Впоследствии таким же путем аппарат благополучно возвратился на Землю.

Описанный проект космических перелетов кажется на первый взгляд настолько правдоподобным, что, естественно, возникает мысль: не в этом ли направлении следует искать разрешения задачи звездоплавания? Нельзя ли, в самом деле, найти или изобрести вещество, непроницаемое для тяготения, и, пользуясь им, устроить межпланетный корабль?

Достаточно, однако, глубже вдуматься в эту идею, чтобы убедиться в полной ее несостоятельности.

Не говорю уже о том, как мало у нас надежды отыскать вещество, заслоняющее от тяготения. Ведь последние элементарные частицы, электроны и протоны, из которых построены все виды материи, обладают весомостью и проницаемы для тяготения. Немыслимо представить себе, чтобы какое-нибудь их сочетание могло обладать иными свойствами в этом отношении.

Современное представление о сущности тяготения (учение А. Эйнштейна) рассматривает его вовсе не как силу природы, а как своеобразное воздействие материи на форму окружающего пространства: пространство в соседстве с материей приобретает кривизну. Уяснить себе это крайне необычное воззрение можно отчасти с помощью следующей аналогии. У вас имеется натянутая на обруче ткань; вы пускаете по ткани (мимо центра) легкий шарик — он покатится по прямой линии. Но вообразите, что вблизи пути легкого шарика положен на ткань крупный свинцовый шар. Он вдавит под собою ткань в виде чашки; легкий шарик, пущенный в прежнем направлении, не пронесется мимо этой чашки по прямой линии, а будет втянут вдавленностью и закружится по ее склонам вокруг свинцового шара, как планета около Солнца. Планеты — такова сущность учения Эйнштейна — обращаются вокруг Солнца не потому, что отклоняются от прямолинейного пути притягательной силой центрального светила, а потому, что пространство, окружающее Солнце, искривлено.

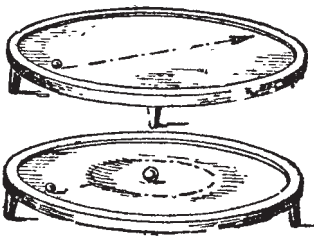


Рис. 8. Аналогия тяготения по воззрениям Эйнштейна

Читатель не должен забывать, что картина эта — всего лишь грубая аналогия, пытающаяся придать наглядность крайне отвлеченным представлениям. Как бы то ни было, современный взгляд на природу тяготения исключает воз-

можность существования экрана, непроницаемого для действия этого фактора. Но пусть даже фантастический кеворит найден, пусть сооружен аппарат по идее английского романиста. Пригоден ли будет такой аппарат для межпланетных путешествий, как описано в романе? Посмотрим.

В уме читателя, вероятно, уже мелькнуло сомнение, когда романист говорил нам о возможности поднять тяжелый груз «хоть соломинкой», поместив под ним непроницаемый для тяготения экран. Ведь это значит ни более ни менее как разрешить проблему вечного двигателя, создать энергию ни из чего! Вообразите, в самом деле, что мы обладаем заслоном от тяготения. Подкладываем лист «кеворита» под любой груз, поднимаем, без всякой затраты энергии, наш теперь уже невесомый груз на любую высоту и снова убираем экран. Груз, конечно, падает вниз и может произвести при падении некоторую работу. Повторяем эту простую операцию дважды, трижды, тысячу, миллион раз, сколько пожелаем — и получаем произвольно большое количество энергии, ниоткуда ее не заимствуя.

Выходит, что непроницаемый для тяготения экран дает нам чудесную возможность творить энергию ни из чего, так как ее появление, по-видимому, не сопровождается одновременным исчезновением равного количества энергии в другом месте или в иной форме. Если бы герой романа действительно побывал на Луне и возвратился на Землю тем способом, какой там описан, то в результате подобного путешествия мир обогатился бы энергией. Общее количество ее во Вселенной увеличилось бы настолько, насколько составляет разность работ, совершаемых силою тяготения при падении человеческого тела с Луны на Землю и с Земли на Луну. Земля притягивает сильнее, чем Луна, и, следовательно, первая работа больше второй. Пусть эта прибавка энергии ничтожна по сравнению с запасом ее во Вселенной, все же такое сотворение энергии, несомненно, противоречит закону сохранения энергии.

Если мы пришли к явному противоречию с законами природы, то, очевидно, в рассуждение вкралась не замеченная нами ошибка. Нетрудно понять, где именно надо ее искать. Идея заслона, непроницаемого для тяготения, сама по себе не заключает логической нелепости; но ошибочно думать, будто с помощью его можно сделать тело невесомым без затраты энергии. Нельзя перенести тело за экран тяготения, не производя при этом никакой работы. Невозможно задвинуть шторы «кеворитного» шара, не применяя силы. Обе операции должны сопровождаться затратой количества энергии, равного тому,

которое потом является словно созданным из ничего. В этом и состоит разрешение противоречия, к которому мы пришли.

Задвигая заслонки межпланетного аппарата, герои Уэллса тем самым словно рассекали невидимую цепь притяжения, которая приковывала их к Земле. Мы знаем в точности крепость этой цепи и можем вычислить величину работы, необходимой для ее разрыва. Это та работа, которую мы совершили бы, если бы перенесли весомое тело с земной поверхности в бесконечно удаленную точку пространства, где сила земного притяжения равна нулю.

Есть люди, привыкшие относиться к слову «бесконечность» с мистическим благоговением, и упоминание этого слова нередко порождает в уме нематематика весьма превратные представления. Когда я сказал о работе, производимой телом на бесконечном пути, иные читатели, вероятно, уже решили про себя, что эта работа бесконечно велика. На самом деле она хотя и очень велика, но имеет конечную величину, которую математик может в точности вычислить. Работу перенесения весомого тела с земной поверхности в бесконечность мы можем рассматривать как сумму бесконечного ряда слагаемых, которые быстро уменьшаются, потому что с удалением от Земли сила притяжения заметно ослабевает. Сумма подобных слагаемых, хотя бы их было бесчисленное множество, нередко дает результат конечный. Сделайте шаг, потом еще полшага, затем еще $^1/_4$ шага, еще $^1/_8$, $^1/_{16}$, $^1/_{32}$ и т. д. Вы можете подвигаться так целую вечность — и все же не сделаете больше двух полных шагов. При учете работы тяготения мы имеем нечто вроде подобного суммирования, и читатель не должен удивляться, что работа эта даже на бесконечном пути имеет значение конечное. Можно вычислить, что для груза в 1 кг работа его перенесения с земной поверхности в бесконечность составляет немного более 6 миллионов килограммометров. Так как эта техническая оценка работы не для всех понятна, то поясню, что она равна величине работы, которую произвел бы, например, подъемный кран, подняв паровоз с тендером (75 т) на высоту 80 м. Современные океанские пароходы-исполины, с турбинами мощностью в 100 000 лошадиных сил, совершают ту же работу менее чем за одну секунду.

Далее. В смысле затраты работы совершенно безразлично, перенесете ли вы груз с Земли в бесконечно удаленную точку или же в весьма близкое место, но такое, где он вовсе не притягивается Землей. В обоих случаях вы совершили бы одинаковую работу: величина ее зависит не от длины пройденного пути, а только от разности

силы притяжения в крайних точках пути. При переносе тела в бесконечность работа производится на протяжении бесконечно длинного пути; при переносе за экран тяготения та же самая работа затрачивается в те несколько мгновений, пока совершается перенос. Надо ли говорить, что вторую работу практически было бы еще труднее произвести, чем первую? Теперь становится очевидной безнадежность фантастического проекта Уэллса. Романист не подозревал, что перенесение тела за экран, непроницаемый для тяготения, представляет неимоверно трудную механическую задачу*. Задвинуть заслонки «кеворитного» снаряда не так просто, как захлопнуть дверцу автомобиля: в промежуток времени, пока закрываются заслоны и пассажиры уединяются от весомого мира, должна быть выполнена работа, равная работе перенесения пассажиров в бесконечность. А так как два человека весят свыше 100 кг, то, значит, задвигая заслонки снаряда, герои романа должны были в одну секунду совершить работу ни много ни мало в 600 миллионов килограммометров. Это столь же легко выполнить, как втащить сорок паровозов на вершину Эйфелевой башни в течение одной секунды. Обладая такой мощностью, мы и без «кеворита» могли бы буквально прыгнуть с Земли на Луну.

Итак, идея странствовать во Вселенной под защитою вещества, непроницаемого для тяготения, приводит к тому, что в логике называется порочным кругом. Чтобы воспользоваться таким веществом, надо преодолеть притяжение Земли, т. е. выполнять именно то, ради чего и должен быть придуман заслон тяготения. Следовательно, заслон для тяготения не разрешил бы проблемы небесных путешествий.

---

* На этот давно обнаруженный мною недосмотр в рассуждениях Уэллса я имел возможность обратить внимание писателя лишь в 1934 г., при его посещении СССР.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

МОЖНО ЛИ ОСЛАБИТЬ ЗЕМНУЮ ТЯЖЕСТЬ?

Если несбыточны надежды укрыться от силы тяжести, то, быть может, существуют способы хотя бы *ослабить* тяжесть на земной поверхности?

Казалось бы, закон тяготения не допускает подобной возможности даже в теории: сила притяжения зависит ведь от массы земного шара, уменьшить которую мы не в состоянии. Однако это не так. Речь идет о напряжении тяжести *на поверхности* нашей планеты, а оно, как известно, зависит не от одной лишь массы, но и от расстояния до центра земного шара, т. е. от величины земного радиуса. Если бы мы могли разрыхлить земной шар настолько, чтобы, увеличившись в объеме, он приобрел радиус, например, вдвое больше, чем теперь, то напряжение тяжести на поверхности такого шара стало бы



Рис. 9

вчетверо меньше. В самом деле: находясь на поверхности Земли, мы были бы вдвое дальше от притягивающего центра (шарообразные тела притягиваются так, словно вся их масса сосредоточена в центре). Выгода от подобного переустройства обитаемой нами планеты получилась бы еще и та, что поверхность земного шара увеличилась бы в четыре раза. Людям жилось бы на Земле буквально вчетверо «свободнее» и вчетверо «легче»...

Разумеется, современная и даже будущая техника не в состоянии осуществить ничего подобного.

Механика указывает и другой путь к ослаблению земной тяжести. Он состоит в том, чтобы ускорить быстроту вращения Земли вокруг оси. Уже и теперь центробежный эффект вращения земного шара уменьшает вес каждого тела на экваторе на $^1/_{290}$ долю. В соединении с другой причиной (вздутием земного шара у экватора) вращение Земли действует так, что все тела на экваторе весят на 0,5% меньше, чем близ полюсов. Паровоз, весящий в Москве 60 т, становится по прибытии в Архангельск на 60 кг тяжелее, а в Одессу — на столько же легче. Партия угля в 5000 т, доставленная со Шпицбергена в экваториальный порт, уменьшилась бы в весе на 20 т, если бы приемщику пришла фантазия принять груз, пользуясь пружинными весами, выверенными на Шпицбергене. Линкор, весящий в Архангельске 20 000 т, становится по прибытии в экваториальные воды легче на 80 т; но это, конечно, неощутительно, так как соответственно легче делаются и все другие тела, не исключая и воды в океане. Разницу веса похищает главным образом центробежный эффект: на экваторе он несколько больше, чем в удаленных от него широтах, где точки земной поверхности при вращении Земли описывают гораздо меньшие круги.

Нетрудно доказать, что если бы Земля вращалась в 17 раз быстрее, чем теперь, то центробежный эффект на экваторе увеличился бы в 17 × 17, т. е. почти в 290 раз. Вспомнив, что теперь центробежный эффект похищает у тел как раз $^1/_{290}$ долю их веса, вы поймете, что на экваторе столь быстро вращающейся Земли тела *совсем не имели бы веса*. Стоило бы тогда лишь достичь экватора, чтобы, слегка оттолкнувшись там, ринуться в мировое пространство. Задача звездоплавания разрешалась бы крайне просто. А если бы Земля вращалась еще быстрее, мы сделались бы небесными странниками поневоле, так как инерция при вращении сама отбросила бы нас в бездонную глубь неба. Людям приходилось бы задумываться уже над проблемой «земных», а не межпланетных странствований...

Но мы чересчур далеко забрели в область фантазии. Все сказанное лежит, конечно, за гранью достижимого. Если бы в наших силах и была возможность ускорить вращение земного шара, то, вертясь достаточно быстро, Земля расплющилась бы (в плоскости своего экватора), а быть может, даже еще ранее разлетелась бы на части, как чересчур быстро заверченный жернов. Возможность путешествовать в межзвездных пространствах приобретена была бы слишком дорогой ценой...

ГЛАВА ПЯТАЯ

ВОПРЕКИ ТЯЖЕСТИ — НА ВОЛНАХ СВЕТА

Из трех мыслимых способов борьбы с тяготением мы рассмотрели и отвергли два: способ защиты от тяготения и способ ослабления земной тяжести. Ни тот ни другой не дают надежды успешно разрешить заманчивую проблему межпланетных перелетов. Бесплодны всякие попытки укрыться от силы тяготения; безнадежно стремление ослабить напряжение тяжести. Остается одно: вступить с тяготением в борьбу, искать средство преодолеть его и покинуть нашу планету вопреки притяжению.

Проектов подобного рода существует несколько. Они, без сомнения, интереснее всех других, так как их авторы не измышляют фантастических веществ вроде «экрана тяготения», не предлагают переделать земной шар или изменить скорость его вращения.

Один из проектов рассматриваемой категории предлагает воспользоваться для межпланетных перелетов *давлением световых лучей*. Лицам, мало знакомым с физикой, должно казаться невероятным, что нежные лучи света оказывают давление на озаряемые ими предметы. Между тем одной из величайших заслуг нашего гениального физика П. Н. Лебедева было то, что он на опыте обнаружил и измерил отталкивающую силу лучей света.

Всякое светящееся тело, будь то свеча на вашем столе, электрическая лампа, раскаленное Солнце или даже темное тело, испускающее невидимые лучи, давит своими лучами на озаряемые тела. П. Н. Лебедеву удалось измерить силу давления, оказываемого солнечными лучами на освещаемые ими земные предметы: в мерах веса она составляет около $^1/_2$ мг для площади в квадратный метр. Если умножить полмиллиграмма на площадь большого круга земного шара, мы получим для давления солнечных лучей на Землю весьма внушительный итог: около 60 000 т.

Такова величина силы, с которой Солнце давлением своих лучей постоянно отталкивает нашу планету. Сама по себе взятая, сила эта велика. Но если сравнить ее с величиною солнечного притяжения, то окажется, что отталкивание в 60 000 т не может иметь заметного влияния на движение земного шара: сила эта в 60 *биллионов* раз слабее солнечного *притяжения*. Далекий Сириус, от которого свет странствует к нам 8 лет, притягивает Землю с гораздо большей силой — 10 000 000 тонн, а планета наша словно не чувствует этого. Не забудем, что 60 000 т — это вес только одного большого океанского парохода. (Вычислено, что под давлением солнечных лучей земной шар должен удаляться от Солнца на $2^1/_2$ мм в год.)

Однако чем тело меньше, тем большую долю силы притяжения составляет световое давление. Вы поймете, почему это, если вспомните, что притяжение пропорционально *массе* тела, световое же давление пропорционально его *поверхности*. Уменьшите мысленно земной шар так, чтобы поперечник его стал вдвое меньше. Объем, а с ним и масса Земли уменьшается в $2 \times 2 \times 2 = 8$ раз, поверхность же уменьшится лишь в $2 \times 2 = 4$ раза; значит, притяжение ослабнет в 8 раз, пропорционально уменьшению массы; световое же давление уменьшится соответственно поверхности, т. е. всего лишь в 4 раза. Вы видите, что притяжение ослабело заметнее, чем световое давление. Уменьшите Землю еще вдвое — получится снова выгода в пользу светового давления.

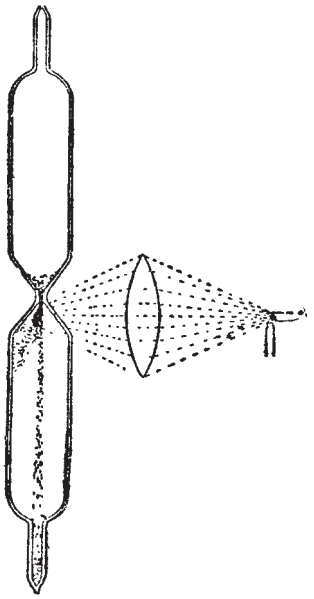


Рис. 10. Опыт Никольса и Гулла, обнаруживающий давление световых лучей

Если будете продолжать и далее это неравное состязание кубов с квадратами, то неизбежно дойдете до таких мелких частиц, для которых световое давление наконец сравняется с притяжением. Подобная частица не будет уже приближаться к Солнцу — притяжение уничтожится равным отталкиванием. Вычислено, что для шарика плотности воды это должно иметь место в том случае, если поперечник его немного менее тысячной доли миллиметра.

Ясно, что если подобный шарик будет еще меньше, то световое отталкивание

превзойдет силу притяжения и крупинка будет уже стремиться не к Солнцу, а от Солнца. Чем крупинка меньше, тем сильнее должна она отталкиваться от Солнца. Перевес светового давления над тяготением, конечно, выражается ничтожной величиной, но ведь и ничтожность относительна. Масса пылинки, которую эта сила движет, также чрезвычайно мала; и мы не должны удивляться тому, что маленькая сила сообщает весьма маленькой массе огромную скорость — в десятки, сотни и тысячи километров в секунду...*

Как читатель узнает позже, достаточно сообщить телу секундную скорость около 11 км, чтобы отослать его с земной поверхности в мировое пространство, а при начальной скорости 17 км/ с тело сможет свободно странствовать по планетной системе. Значит, если ничтожная земная пылинка очутится почему-либо за пределами атмосферы, она будет подхвачена там световым давлением и увлечется им в мировое пространство, навсегда покинув породившую ее Землю. Она будет мчаться с возрастающей скоростью все далее и далее к окраинам нашей планетной системы, пересекая орбиты Марса, астероидов, Юпитера, и через каких-нибудь полторы декады будет уже у крайней границы нашей Солнечной системы.

Два американских ученых, Никольс и Гулл, изучавшие световое давление одновременно с П. Н. Лебедевым, произвели следующий чрезвычайно поучительный опыт. В абсолютно пустую стеклянную трубку, имеющую перехват, как в песочных часах (рис. 10), они насыпали смесь прокаленных грибных спор и наждачного порошка. Прокаленные и, следовательно, превращенные в уголь споры необычайно малы и легки; они имеют не более 0,002 мм в поперечнике и в десять раз легче воды. Поэтому если направить на них сильный свет, сосредоточенный с помощью зажигательного стекла**, то можно ожидать, что пылинки будут отталкиваться световыми лучами. Так и происходило в опыте: когда смесь пересыпалась сквозь шейку перехвата, то направленный сюда свет (вольтовой дуги) отталкивал угольные пылинки, между тем как более тяжелые частицы наждачного порошка падали отвесно.

---

* «Однако закон обратной пропорциональности радиусу не имеет больше силы, когда радиус становится слишком малым в сравнении с длиной волны отталкивающих световых лучей: при некотором радиусе, близком к 0,0001 мм, отношение давления к притяжению начинает быстро уменьшаться» (Пойнтинг).

** Сосредоточенный пучок лучей, естественно, должен оказывать более сильное давление, нежели обыкновенный.

Загадочная особенность кометных хвостов, словно отталкиваемых Солнцем, по всей вероятности, объясняется именно лучевым давлением. Об этом догадывался гениальный Кеплер, законодатель планетной системы, писавший три века назад следующие строки в своем трактате о кометах: «По натуре всех вещей полагаю, что когда материя в пространстве Вселенной извержена бывает и сия пропускающая свет голова кометы прямыми лучами Солнца ударяется и пронизывается, то из внутренней материи кометы нечто им следует и тою же дорогою исходит, которой солнечные лучи пробивают и тело кометы освещают... Указание на причину, что из материи кометного тела нечто непрерывно изгоняется солнечными лучами силою оных, подал мне хвост кометы, о коем известно, что он всегда удаляется в сторону, противоположную Солнцу, и лучами Солнца формируется... Итак, нимало не сомневайся, читатель, что хвосты комет образуются Солнцем из материи, из головы изгнанной».

Не может ли и человек воспользоваться тою же силою для межпланетных путешествий? Для этого не надо было бы непременно уменьшаться до микроскопических размеров; достаточно устроить аппарат с таким же выгодным отношением поверхности и массы, как у мельчайших пылинок, отталкиваемых лучами Солнца. Другими словами: поверхность аппарата должна быть во столько же раз больше поверхности пылинки, во сколько раз вес снаряда больше веса этой пылинки.

Автор одного астрономического романа перенес своих героев на другие планеты именно в подобном аппарате. Его герои соорудили каюту из легчайшего материала, снабженную огромным, но легким зеркалом, которое можно было поворачивать наподобие паруса. Помещая зеркало под различными углами к солнечным лучам, пассажиры небесного корабля, смотря по желанию, либо ослабляли отталкивающее действие света, либо же сводили его на нет, всецело отдаваясь притягательной силе. Они плавали взад и вперед по океану Вселенной, посещая одну планету за другой. В романе все выходит правдоподобно и заманчиво. Но точный расчет разрушает эту мечту, не оставляя надежды на осуществление подобного проекта. Ведь зеркало площадью в один квадратный метр должно обладать массой не менее килограмма; мы хотим, чтобы под действием светового давления оно приобрело скорость, дающую ему возможность свободно странствовать в Солнечной системе, т. е. — как узнаем далее — 17 км/с. Легко рассчитать, что такая скорость может накопиться под действием светового давления только в... 130 лет!

Правда, изготовив зеркало из легчайшего металла — лития, при толщине 0,1 мм мы имели бы на квадратный метр его массу только в 50 г. Срок накопления космической скорости для такого зеркала (но не для увлекаемого им аппарата!) сокращается в 20 раз. Практически это, однако, не меняет дела: ясно, что при подобных темпах изменения скорости маневрирование космическим кораблем невозможно. К тому же не надо упускать из виду, что световое давление должно двигать, кроме зеркала, также и весь соединенный с ним аппарат, пассажиров и груз.

Использовать световое давление можно было бы, пожалуй, лишь для перемещения так называемой внеземной станции, о которой речь будет у нас впереди (глава «Искусственная луна. Внеземная станция»).

Столь же безнадежно обстоит вопрос с проектом применить для этой цели радиоволны, посылаемые с Земли в мировое пространство. Во-первых, за внешние пределы земной атмосферы может пробиться в лучшем случае только незначительная часть посылаемых электромагнитных лучей (см. Приложение 11). Если для движения звездолета оказывается недостаточной механическая энергия солнечного излучения, то что сказать об излучении земных радиостанций? Что же касается управления межпланетным кораблем по радио, то и об этом тоже говорить не приходится, потому что такое управление возможно было бы лишь в случае, если бы корабль имел в себе механизм для движения в безвоздушном пространстве, — а в этом ведь и вся задача.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ИЗ ПУШКИ НА ЛУНУ. ТЕОРИЯ

Небесные силы отказали нам в помощи. Остается рассчитывать лишь на могущество человеческой техники, преодолевшей уже немало природных препятствий. Найдем ли мы в ней орудие достаточно могучее, чтобы разорвать оковы тяжести и ринуться в простор мироздания для исследования иных миров?

Надо было обладать оригинальным умом Жюля Верна, чтобы в смертоносном орудии — в пушке — усмотреть средство «вознестись живым на небо». Большинство людей не отдает себе отчета в том, что с механической точки зрения пушка — самая мощная из всех машин, созданных до сих пор человеческой изобретательностью. Пороховые газы, образующиеся в канале орудия при выстреле, оказывают на снаряд давление в 2–3 тысячи килограммов на квадратный сантиметр: это в несколько раз превышает чудовищное давление водных масс в глубочайших пучинах океана. Чтобы оценить работоспособность современной пушки в единицах мощности, т. е. в лошадиных силах, рассмотрим 40-сантиметровое орудие, выбрасывающее снаряд в 600 кг со скоростью 900 м/с. «Живая сила» такого снаряда — полупроизведение массы на квадрат скорости — составляет около 24 000 000 кгм. Если принять во внимание, что столь огромный запас работы развивается в течение небольшой доли секунды — в данном случае 30-й, — то окажется, что секундная работа, выполняемая пушкой, т. е. ее мощность, определяется числом 10 000 000 л. с. Между тем мощность машин величайшего океанского парохода* только 200 000 л. с; понадобилось бы полсотни двигателей подобного исполина, чтобы выполнить механическую работу, совершаемую пороховыми газами орудия в течение секунды.

Не без основания, как видим, предлагал французский романист именно с помощью пушки разрешить проблему заатмосферных по-

* «Куин Мери» («Королева Мария»).



Рис. 11

летов. В своих романах он оставил нам самый популярный проект межпланетных путешествий. Кто в юности не путешествовал с его героями на Луну внутри пушечного ядра?

Остроумная идея, разработанная романистом в двух произведениях — «От Земли до Луны» и «Вокруг Луны»*, заслуживает большего внимания, чем то, которое обычно ей уделяется. Увлекшись фабулой произведения, читатели склонны превратно оценивать его основную мысль, считая ее фантастичной там, где она реальна, и осуществимой там, где она несбыточна. Рассмотрим же поближе проект Жюля Верна как техническую идею.

Признаюсь, не без волнения приступаю я к строгому разбору пленительных повестей увлекательного романиста. За десятки лет, протекших со времени появления (1865–1870) этих произведений, увенчанных премией Академии, они успели стать любимым чтением молодежи всех стран. В годы моей юности они зажгли во мне впервые живой интерес к астрономии; не сомневаюсь, что тем же обязаны им и многие тысячи других читателей. И если я решаюсь вонзить анатомический нож в поэтическое создание романиста, то утешаю себя мыслью, что следую лишь примеру его даровитого соотечественника, известного физика Шарля Гийома**.

* Имеется русский перевод под редакцией и с примечаниями Я. И. Перельмана.

** См. последнюю главу его «Initation à la Mechanique» (есть русский перевод под заглавием «Введение в механику»).

Вы имеете превратное представление о науке, если думаете, что она безжалостно подсекает крылья воображению и обрекает нас пресмыкаться в обыденности повседневной жизни. Бесплодной Сахарой было бы поле научных исследований, если бы ученые не прибегали к услугам воображения, не умели отвлекаться от мира видимого, чтобы создавать мысленные, неосязаемые образы. Ни одного шага не делает наука без воображения; она постоянно питается плодами фантазии, но фантазии научной, рисующей воображаемые образы со всею возможною отчетливостью.

Научный разбор романа Жюля Верна не есть поэтому столкновение действительности с фантазией. Нет, это соперничество двух родов воображения — научного и ненаучного. И победа остается за наукой вовсе не потому, что романист слишком много фантазировал. Напротив, он фантазировал недостаточно, не достроил до конца своих мысленных образов. Созданная им фантастическая картина межпланетного путешествия страдает недоделанностью. Нам придется восполнить эти недостающие подробности, и не наша вина, если упущенные черты существенно изменяют всю картину.

Надо ли пересказывать содержание романа, который у всех в памяти? Напомню лишь вкратце, словами самого Жюля Верна, главнейшие из интересующих нас обстоятельств:

> «В 186... году весь мир был в высшей степени взволнован одним научным опытом, первым и совершенно оригинальным в летописях науки. Члены Пушечного клуба, основанного артиллеристами в Балтиморе после американской войны*, вздумали войти в сношение с Луной — да, с Луной, — послав в нее снаряд. Их председатель, Барбикен, инициатор предприятия, посоветовавшись с астрономами Кембриджской (в Сев. Америке) обсерватории, принял все необходимые меры, чтобы обеспечить это необыкновенное предприятие.
>
> Согласно указаниям, данным членами обсерватории, пушка, из которой будет сделан выстрел, должна быть установлена в стране, расположенной между 0 и 28° северной или южной широты, чтобы можно было навести ее на Луну в зените. Снаряду должна быть дана первоначальная скорость в 16 тысяч метров в секунду. Выпущенный 1 декабря в десять часов сорок секунд вечера, он должен достичь цели через четыре дня после своего отправления, 5 декабря, ровно в полночь, в тот самый момент, когда Луна будет находиться в своем перигее, т. е. на ближайшем расстоянии от Земли.
>
> Решено было, что 1) снаряд будет представлять собою алюминиевую гранату диаметром 275 см, со стенками толщиной 30 см, и будет весить 9 т;

* Северных и Южных штатов.

2) пушка будет чугунная, длиною 275 м и будет вылита прямо в земле; 3) на заряд будет взято 107 т пироксилина, который, выпустив под снарядом шесть миллиардов литров газа, легко добросит его до ночного светила.

Когда эти вопросы были разрешены, председатель клуба, Барбикен, выбрал место, где после чудовищной работы была вполне успешно отлита эта колумбиада (пушка).

В таком положении находились дела, когда случилось событие, во сто раз увеличившее интерес, возбужденный этим великим предприятием.



Рис. 12. Проект Жюля Верна.
«Снаряд будет представлять собою алюминиевую гранату...»

Один француз*, фантаст-парижанин, умный и отважный, попросил заключить его в снаряд, так как он хочет попасть на Луну и познакомиться с земным спутником. Он помирил председателя Барбикена с его смертельным врагом, капитаном Николаем, и в залог примирения уговорил их отправиться вместе с ним в снаряде. Предложение было принято. Изменили форму снаряда. Теперь он стал цилиндроконическим. Этот род воздушного вагона снабдили сильными пружинами и легко разбирающимися перегородками, которые должны были ослабить силу толчка при выстреле. Захватили съестных припасов на год и воды на несколько месяцев, газа на несколько дней. Особый автоматический аппарат изготовлял и доставлял воздух, необходимый для дыхания трем путешественникам.

1 декабря, в назначенный час, в присутствии необычайного скопления зрителей, начался полет — и в первый раз три человеческих существа, покинув земной шар, понеслись в мировое пространство с полной уверенностью, что достигнут своей цели».

Прежде всего нам предстоит обсудить, конечно, вопрос о том, насколько реальна самая идея закинуть пушечное ядро на Луну. Мысль о возможности бросить тело с такой скоростью, которая навсегда унесла бы его с Земли, кажется многим совершенно нелепой. Большинство людей привыкло думать, что всякое брошенное тело непременно должно упасть обратно. Таким людям идея Жюля Верна о посылке ядра на Луну представляется абсурдной и беспочвенной. Мыслимо ли, в самом деле, сообщить земному телу такую скорость, чтобы оно безвозвратно покинуло нашу планету? Механика дает на этот вопрос безусловно положительный ответ.

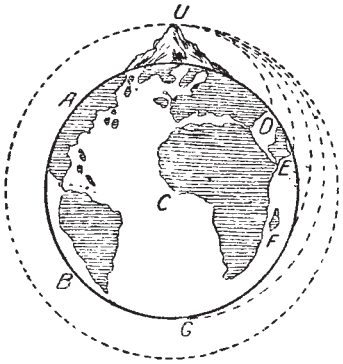


Рис. 13. Воображаемый опыт Ньютона с пушечными снарядами

Предоставим слово Ньютону. В своих «Математических началах физики», фундаменте современной механики и астрономии, он писал (книга I, отд. I, определение V):

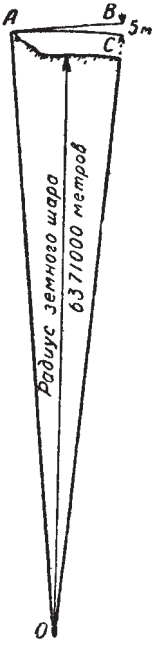
«Если свинцовое ядро, брошенное горизонтально силою пороха из пушки, поставленной на вершине горы, отлетает по кривой — прежде

* В романе он фигурирует под именем Ардана — прозрачный намек на псевдоним известного французского аэронавта и фотографа Надара (Феликса Турнашона), который и послужил прообразом этого персонажа.

чем упасть на Землю — на две мили, то (предполагая, что сопротивления воздуха нет), если бросить его с двойной скоростью, оно отлетит приблизительно вдвое дальше; если с десятикратною, то в десять раз. Увеличивая скорость, можно по желанию увеличить и дальность полета и уменьшить кривизну линии, по которой ядро движется, так что можно бы заставить его упасть на расстоянии 10, 30 и 90°, можно заставить его окружить всю Землю и даже уйти в небесные пространства и продолжать удаляться до бесконечности».

Итак, ядро, извергнутое воображаемой ньютоновой пушкой, при известной скорости безостановочно кружилось бы около нашей планеты, наподобие крошечной Луны (рис. 13). Мы можем вычислить, какая начальная скорость нужна для такого полета ядра. Вычисление это (если пренебречь сопротивлением атмосферы) настолько же просто, насколько любопытен его результат.

Чтобы найти искомую скорость, отдадим себе отчет в том, почему ядро, выброшенное пушкой горизонтально, падает в конце концов на Землю. Потому, что земное притяжение искривляет путь ядра, — снаряд летит не по прямой линии, а по кривой, которая упирается в земную поверхность. Но если бы мы могли уменьшить кривизну пути ядра настолько, чтобы сделать ее одинаковой с кривизной земной поверхности, то ядро никогда на Землю не упало бы: оно вечно мчалось бы по кривой, концентрической с окружностью нашей планеты. Этого можно добиться, сообщив ядру достаточную скорость, и мы сейчас определим какую. Взгляните на рис. 14.



Снаряд, выброшенный пушкой из точки *A* по касательной, спустя секунду был бы, скажем, в точке *B* — если бы не действие земного притяжения. Тяжесть меняет дело, и под ее влиянием снаряд через секунду окажется не в *B,* а ниже настолько, насколько всякое свободное тело опускается в первую секунду своего падения, т. е. на 5 м. Если, опустившись на эти 5 м, снаряд окажется над уровнем Земли ровно настолько же, насколько и в точке *A,* то, значит, он летит параллельно земной поверхности, не приближаясь и не удаляясь от нее. Это и есть то, чего мы желаем добиться.

Рис. 14. Вычисление скорости ядра, которое должно вечно кружиться около Земли

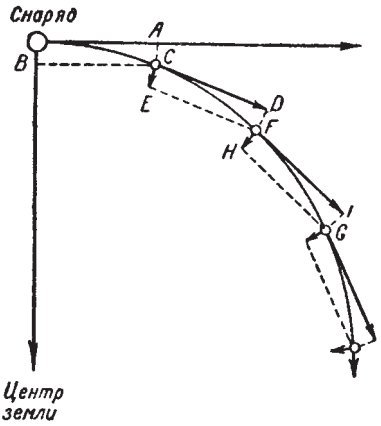


Рис. 15. Как направлена сила тяжести, действующая на снаряд в воображаемом опыте Ньютона

Остается вычислить лишь длину *AB*, т. е. путь снаряда в одну секунду; результат и даст искомую секундную скорость ядра. Вычисление может быть выполнено по теореме Пифагора. В прямоугольном треугольнике *ABO* (см. рис. 14) линия *AO* есть земной радиус, равный 6 371 000 м. Отрезок *OC* = *AO*, отрезок *BC* = 5 м; следовательно, *OB* = 6 371 005 м. По теореме Пифагора имеем:

$$6\,371\,005^2 = 6\,371\,000^2 + AB^2.$$

Отсюда уже легко вычислить искомую величину секундной скорости:

$$AB = 7900 \text{ м/с}.$$

Итак, если бы пушка могла сообщить снаряду начальную скорость 8 км/с, то при отсутствии сопротивления атмосферы такой снаряд никогда не упал бы на Землю, а вечно вращался бы вокруг нее*. Пролетая в каждую секунду 8 км, он в течение 1 ч 23 мин успел бы описать полный круг и возвратился бы в точку исхода, чтобы начать новый круг, и т. д. Это был бы настоящий спутник земного шара, наша вторая Луна, более близкая и более быстрая, чем первая. Ее «месяц» равнялся бы всего только 1 ч 23 мин. Она мчалась бы в 17 раз быстрее, чем любая точка земного экватора, и если вы вспомните то, что сказано было выше об ослаблении тяжести вследствие вращения Земли (см. с. 832–833), то вам станет еще яснее, почему ядро наше не падает на Землю. Мы знаем, что если бы земной шар вращался в 17 раз быстрее, то тела на экваторе целиком потеряли бы

* Расчет, поясняемый рис. 14, смущает некоторых читателей тем, что величина секундного приближения падающего тела к центру Земли принимается здесь постоянной; между тем для свободно падающего тела величина эта в последующие секунды растет, как известно, пропорционально квадрату числа протекших секунд: в первую секунду падения тело опускается на 5 м, в первые две — на 20 м, в первые три — на 45 м и т. д. Не надо забывать, однако, что пройденный путь возрастает так лишь тогда, когда направление силы земного притяжения, действующей на тело, остается неизменным или параллельным самому себе. В нашем же случае направление силы тяжести каждый момент меняется, составляя всегда прямой угол с касательной скоростью (рис. 15). Поэтому отвесная скорость не накапливается, и тело ежесекундно опускается на 5 м.

свой вес; скорость же нашего снаряда — 8 км/с — как раз в 17 раз больше скорости точек земного экватора.

Человеческой гордости должно льстить сознание, что мы имеем возможность — правда, лишь теоретическую — подарить Земле маленький, но все же настоящий спутник. Пылкий герой жюль-верновского «Путешествия на Луну», артиллерист Мастон, не без основания воскликнул, что в создании пушечного ядра человек проявил высшую степень могущества: «Создав пушечное ядро, человек сотворил подобие несущихся в пространстве небесных светил, которые в сущности те же ядра». Еще справедливее это сравнение с небесными светилами для того снаряда, который отсылается в мировое пространство. Это новое небесное тело, при своей миниатюрности, будет не хуже всех остальных подчиняться трем законам Кеплера, управляющим небесными движениями. Нужды нет, что пушечный снаряд — предмет «земной»: приобретя космическую скорость, он превращается в настоящее небесное тело.

Итак, сообщив пушечному снаряду начальную скорость 8 км/с, мы превращаем его в маленькое небесное тело, которое, победив земное притяжение, уже не возвращается на Землю. Что же будет, если сообщить снаряду еще большую начальную скорость? В небесной механике доказывается, что при начальной секундной скорости 8, 9, 10 км/с снаряд, выброшенный пушкой, будет описывать около Земли не окружность, а эллипс — тем более вытянутый, чем значительнее начальная скорость; центр Земли занимает один из фокусов этого эллипса.

Когда же мы доведем начальную скорость приблизительно до 11 км/с, эллипс превратится уже в незамкнутую кривую — в параболу (рис. 17). Точнее говоря, он должен был бы превратиться в параболу, если бы Земля была единственным телом, притяжение которого

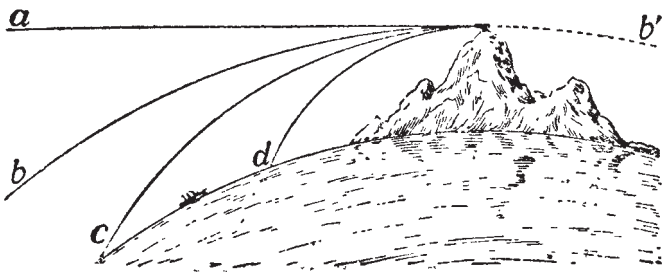


Рис. 16. Судьба ядер, выброшенных пушкой с весьма большими скоростями

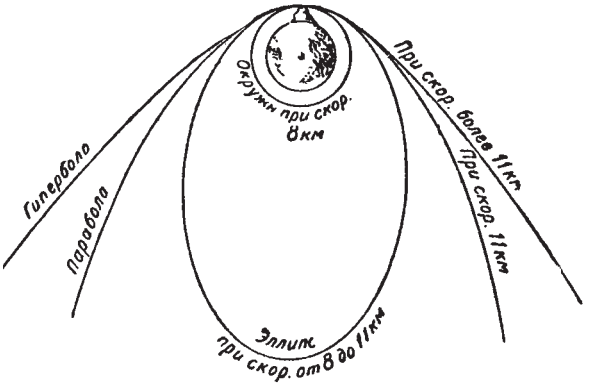


Рис. 17. Какие пути должны описывать в пустом пространстве тела, брошенные с Земли горизонтально со скоростью 8 км/с и более

влияет на путь нашего снаряда. Могучее притяжение Солнца также действует на снаряд и мешает ему удалиться в бесконечность. Брошенный с указанной скоростью в направлении годового движения Земли снаряд избегнет падения на Солнце и будет вечно обращаться вокруг него, подобно земному шару и другим планетам. В астрономическом смысле он повысится в ранге: из спутника Земли превратится в спутника Солнца, в самостоятельную планету. Человеческая техника подарит Солнечной системе нового миниатюрного члена.

Ради простоты мы начали с рассмотрения тела, брошенного горизонтально. В небесной механике доказывается, однако, что те же выводы справедливы и для тела, брошенного под любым углом к горизонту, даже отвесно, как ядро в романе Жюля Верна. Во всех случаях при достаточной скорости снаряд покидает Землю навсегда и уносится в мировое пространство.

Вот какие чудесные возможности открывает перед нами теория. Что же говорит ее несговорчивая сестра — практика? В состоянии ли современная артиллерия осуществить эти возможности?

Величайшая пушка, действительно сооруженная, — это то знаменитое сверхдальнобойное орудие, которым немцы в 1918 г. обстреливали Париж с расстояния 120 км. В следующей табличке сопоставлены данные об обеих пушках — немецкой* и жюль-верновской:

* По данным «Артиллерийского журнала» (1935, № 1), почерпнутым из немецкой книги Эйсгрубера «Как мы обстреливали Париж» (1934).

	Немецкое орудие	Колумбиада Жюля Верна
Длина ствола	34 м	275 м
Вес орудия	750 т	68 000 т
Наружный диаметр	1 м	6,75 м
Толщина стенок	40 см	200 см
Калибр	21 см	275 см
Длина снаряда	95–111 см	400 см
Вес снаряда	100–115 кг	8000 кг
Вес заряда	150 кг	180 000 кг
Начальная скорость	2000 м/с	16 000 м/с

Сравнивая оба исполина — реальный и фантастический, мы видим, что немецкие артиллеристы создали орудие, которое по линейным размерам всего в 7–8 раз было меньше колумбиады Жюля Верна и выбрасывало снаряд со скоростью 2 км/с. Эта рекордная начальная скорость в 5,5 раза меньше того, что необходимо для переброски снаряда с Земли на Луну.

Переход от 2 к 11 как будто не так уже значителен. Техника в победном шествии своем преодолела гораздо большую дистанцию, когда заменила древние катапульты мощными орудиями современной артиллерии. Римские легионеры назвали бы безумцем всякого, кто сказал бы, что их потомки будут перебрасывать снаряды в тонну весом на расстояние 40 км и более. Энергия, выбрасывающая снаряд из крупного орудия, в десятки миллионов раз превышает энергию человека, невооруженной рукой бросающего камень. Если мы могли так головокружительно далеко превзойти силу первобытного дикаря, то не опрометчиво ли ставить какие-нибудь границы дальнейшему росту могущества артиллерийской техники?

Досадно, конечно, что земная тяжесть так значительна. На Луне напряжение тяжести вшестеро слабее, чем на Земле, и совершенно отсутствует атмосфера, служащая серьезным препятствием полету снаряда; поэтому там для превращения снаряда в спутник почти достаточна была бы одна из тех дальнобойных пушек, которыми наша техника уже располагает в данный момент (нужна начальная скорость 2,3 км/с). А на спутнике Марса — крошечном Фобосе — можно просто бросить камень рукой, чтобы он никогда уже не упал обратно.

Однако мы живем не на Фобосе и не на Луне, а на Земле. Нам необходимо поэтому добиваться секундной скорости около 13–17 км, чтобы иметь возможность перекидывать пушечные снаряды на иные планеты. Достигнем ли мы этого когда-нибудь?

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ИЗ ПУШКИ НА ЛУНУ. ПРАКТИКА

Итак, можно ли надеяться, что артиллерия когда-нибудь осуществит смелый замысел членов Пушечного клуба, подсказанный им фантазией Жюля Верна?

Нет; и вот почему.

Нетрудно сообразить, что газы, образующиеся при взрыве орудийного заряда, могут сообщить выталкиваемому снаряду скорость не большую той, какою они обладают сами. С того момента, как скорость снаряда сделается равной скорости молекул пороховых газов, последние перестанут на него напирать, и дальнейшее нарастание скорости прекратится. Энергию же движения газы эти черпают из запаса химической энергии заряда. Зная это, можно вычислить ту предельную скорость, какую данное взрывчатое вещество способно сообщить артиллерийскому снаряду. Черный порох, например, выделяет при сгорании 685 больших калорий на килограмм своей массы. В единицах механической энергии это соответствует — считая по 427 кгм на калорию — 290 000 кгм. Так как живая сила килограмма вещества, движущегося со скоростью v, равна $\frac{v^2}{20}$ кгм, то имеем уравнение:

$$290\,000 = \frac{v^2}{20},$$

откуда $v \approx 2400$ м/с. Значит, наибольшая скорость, какую черный порох способен сообщить снаряду, — 2400 м/с, и никакие усовершенствования огнестрельного оружия не превзойдут этого предела.

Из всех известных нам взрывчатых веществ наибольший запас энергии заключает нитроглицерин: 1580 больших калорий на килограмм (пироксилин, отправивший на Луну героев Жюля Верна, развивает при взрыве всего 1100 калорий). В переводе на механическую энергию получим 670 000 кгм, а из уравнения

$$670\,000 = \frac{v^2}{0{,}7}$$

узнаем соответствующую предельную скорость снаряда: 3660 м/с.

Как видите, это еще далеко от тех 11–17 км/с, какие нужны для выстрела в мировое пространство.

Если для сообщения артиллерийскому снаряду космической скорости не годятся современные взрывчатые вещества, то нельзя ли надеяться на то, что химия снабдит нас когда-нибудь более мощными взрывчатыми составами? Однако химики дают на этот счет мало обнадеживающие сведения. «Нельзя ждать значительного успеха в изобретении сильных взрывчатых веществ. Наши взрывчатые вещества и без того дают очень много тепла и приводят к очень высоким температурам... Трудно надеяться, чтобы химическими способами можно было выйти далеко за пределы этих температур. Таким образом, нельзя рассчитывать изобрести взрывчатые вещества, которые давали бы много больше работы, чем современные» (Е. Шилов «Пределы силы взрывчатых веществ»).

Как видим, пушка, заряжаемая взрывчатыми составами, совершенно недостаточна для обстрела мирового пространства и навсегда останется такой. Но, быть может, это будет осуществлено когда-нибудь пушками электромагнитными, слухи об изобретении которых проникали в печать? Здесь мы вступаем в область неизвестного.

Будем оптимистами и станем надеяться, что это неизвестное сулит успех и поможет людям со временем перебросить снаряд на Луну.

Если бы вопрос состоял только в этом, если бы мы искали способа установить между планетами своего рода небесную почту, если бы мы стремились лишь отправлять в далекие миры посылки для неведомых адресатов, то задача решалась бы электромагнитной пушкой вполне удовлетворительно.

Но мы заботились пока только о снаряде, о том, чтобы он полетел достаточно быстро и достиг своей цели. Подумаем теперь и о том, что будет происходить внутри снаряда. Ведь перед нами не простой артиллерийский снаряд; это своего рода вагон, в котором находятся живые существа. Какая участь ожидает их при полете?

Здесь, а не в самой мысли перекинуть снаряд на Луну, кроется слабое место заманчивого проекта Жюля Верна.

Небывалое путешествие должно было пройти для пассажиров жюль-верновского снаряда далеко не так благополучно, как описано в романе. Не думайте, впрочем, что опасность грозит им во время путешествия от Земли до Луны. Ничуть! Если бы пассажирам удалось

остаться живыми к моменту, когда они покинут канал пушки, то в дальнейшем путешествии им нечего было бы уже опасаться. В океане Вселенной нет ни бурь, ни волн, ни качки. Встреча с метеором весьма маловероятна; тот «второй спутник Земли», который едва не преградил путь снаряду Жюля Верна, в действительности не существует. А огромная скорость, с которой пассажиры летели бы в мировом пространстве вместе с их вагоном, была бы столь же безвредна для них, как безвредна для нас, обитателей Земли, та секундная скорость в 30 км, с какой мы мчимся вокруг Солнца.

Опасный момент для жюль-верновских путешественников представляют те сотые доли секунды, в течение которых снаряд-вагон движется в канале ствола самой пушки. В этот ничтожно малый промежуток времени скорость движения пассажиров должна неимоверно возрасти: от нуля до 16 км/с*. Герои романа были вполне правы, утверждая, что момент, когда снаряд полетит, будет столь же опасен для них, как если бы они находились не внутри снаряда, а прямо перед ним. Действительно, в момент выстрела нижняя площадка (пол) каюты должна ударить пассажиров с такой же силой, с какой обрушился бы снаряд на любое тело, находящееся впереди него. Напрасно пассажиры воображали, что отделаются лишь сильными приливами крови к голове.

Дело неизмеримо серьезнее. Произведем несложный расчет. В канале ствола пушки снаряд движется ускоренно — скорость его увеличивается под постоянным напором газов, образующихся при взрыве; в течение ничтожной доли секунды она возрастает от нуля до 16 км. Как же велико «ускорение» этого движения, т. е. на какую величину нарастает здесь скорость в течение полной секунды? Не важно, что движение длится лишь малую долю секунды: расчет можно вести на целые секунды. Оказывается, что секундное «ускорение» ядра, скользящего в канале ствола орудия, выражается огромным числом — 640 км/с (см. Приложение 6). Для сравнения напомню, что секундное ускорение трогающегося курьерского поезда — не более 1 м/с.

Все значение этого числа — 640 км/с^2 — мы постигнем лишь тогда, когда сравним его с ускорением падающего тела на земной поверхности, ускорением, составляющим всего около 10 м/с^2, т. е. в 64 000 раз меньше. Это значит, что в момент выстрела каждый предмет внутри

* Жюль Верн выбрал для снаряда именно такую скорость в расчете преодолеть не только силу тяжести, но и сопротивление атмосферы.

снаряда придавливался бы ко дну снаряда с силой, которая в 64 000 раз более веса самого предмета. Пассажиры почувствовали бы, что внезапно сделались в десятки тысяч раз тяжелее. Цилиндр мистера Барбикена один весил бы десятки тонн. Правда, это длилось бы всего 40-ю долю секунды, но можно не сомневаться, что под действием такой колоссальной тяжести люди были бы буквально расплющены. Бессильны все меры, принятые героями Жюля Верна для ослабления силы удара: пружинные буфера и двойное дно с водой. Продолжительность удара от этого, правда, растягивается, и, следовательно, быстрота нарастания скорости уменьшается. Но при тех огромных величинах, с которыми приходится иметь здесь дело, выгода получается ничтожная: сила, придавливающая пассажиров к полу, уменьшается на какую-нибудь сотую долю, не более.

Нет ли средств избегнуть при взрыве роковой быстроты нарастания скорости?*

Этого можно было бы достигнуть весьма значительным удлинением канала пушки. Легко убедиться вычислением (см. Приложение 8), что если, например, мы хотим иметь «искусственную» тяжесть внутри ядра в момент выстрела равною обыкновенной тяжести на земном шаре, то нам нужно изготовить пушку длиною — ни много ни мало — 6000 км. Жюль-верновская колумбиада должна была бы простираться вглубь земного шара почти до самого центра, чтобы пассажиры были избавлены от этих неприятностей: они почувствовали бы, что стали только вдвое тяжелее.

Надо заметить, что человеческий организм в течение весьма краткого промежутка времени без вреда переносит увеличение собственной тяжести в несколько раз. Когда мы скатываемся с ледяной горы вниз и здесь быстро меняем направление своего движения, то в этот краткий миг вес наш увеличивается (т. е. тело наше сильнее обычного прижимается к салазкам)... Если даже допустить, что человек может безвредно переносить в течение короткого времени 20-кратное увеличение своего веса, то для отправления людей на Луну достаточно будет отлить пушку в 200 км длиной. Однако и это малоутешительно, потому что подобное сооружение лежит за пределами технической достижимости. Не говорю уже о том, что извергающая сила такой непомерно длинной пушки должна значительно уменьшиться вследствие трения ядра в 300-километровом канале орудия.

* В сущности, это огромное ускорение есть лишь другое название для того, что мы именуем сотрясением.

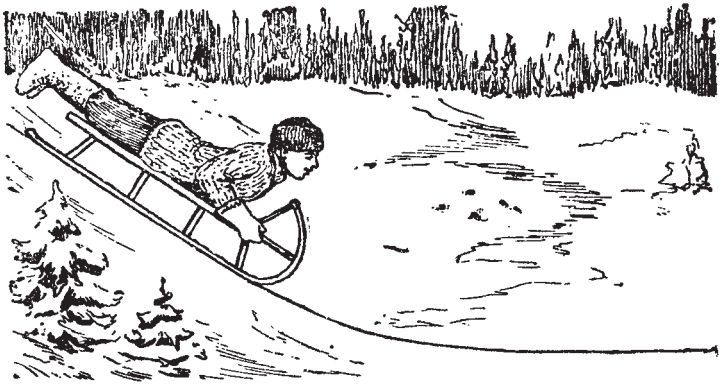


Рис. 18. При скатывании с ледяной горы вес нашего тела увеличивается

Физика указывает и на другое средство ослабить силу удара. Самую хрупкую вещь можно уберечь от поломки при сотрясении, погрузив ее в жидкость равного удельного веса. Так, если заключить хрупкий предмет в сосуд с жидкостью такой же плотности и герметически закупорить его, то подобный сосуд можно ронять с высоты и вообще подвергать сильнейшим сотрясениям, при условии, разумеется, что сосуд остается цел, — и хрупкий предмет от толчков почти не страдает. Мысль эта впервые высказана К. Э. Циолковским:

> «Известно, — пишет он, — что все слабое, нежно устроенное — зародыши — природа помещает в жидкости или окружает ими... Возьмите стакан с водою, куриное яйцо и соль. Яйцо положите в воду, а соль подсыпайте в стакан до тех пор, пока яйцо не начнет подниматься со дна к поверхности воды. Тогда прибавьте немного воды, чтобы яйцо находилось в равновесии во всяком месте сосуда, т. е. чтобы оно, будучи на средней высоте, не поднималось кверху и не опускалось на дно. Теперь ударьте смело стаканом о стол настолько сильно, насколько позволяет крепость стекла, — и от этого яйцо в стакане не шелохнется. Без воды яйцо, конечно, и при самых слабых ударах моментально раскалывается. Опыты эти описаны мною в трудах Московского общества любителей естествознания за 1891 г.».

Не следует думать, однако, что мы могли бы поэтому осуществить смелую затею жюль-верновских артиллеристов, если бы наполнили внутренность снаряда соленой водой средней плотности человеческого тела и в эту среду погрузили пассажиров, одетых в водолазные костюмы, с запасом воздуха; после же выстрела, когда нарастание

скорости прекратится и пассажиры приобретут скорость снаряда, они якобы могли бы уже выпустить воду и устроиться в каюте, не опасаясь неприятных неожиданностей. Такая мысль ошибочна, потому что тела живых существ имеют неоднородное строение: они состоят из частей различного удельного веса (кости, мускулы и т. п.), а окружить каждую отдельную часть жидкостью соответствующей плотности невозможно.

В частности, невозможно оградить от сотрясения мозг, заключенный в черепной коробке. Между тем, как показали опыты, именно этот орган всего более чувствителен к резким изменениям скорости (мозг сильно придавливается тогда к внутренним стенкам черепа).

Итак, вот какие затруднения нужно было бы преодолеть, чтобы осуществить в действительности заманчивый проект Жюля Верна:

1. Придумать способ метать снаряды со скоростью, всемерно большей, чем начальная скорость быстрейших современных снарядов.

2. Соорудить пушку длиною километров в 300.

3. Поместить пушку так, чтобы жерло ее выступало за пределы земной атмосферы, избегнув этим сопротивления воздуха.

А в результате — отправиться в небесное странствование без малейшей надежды вернуться не только живым, но даже и мертвым: ведь только счастливая случайность помогла героям романа возвратиться на Землю. Жюль-верновское ядро — снаряд неуправляемый; чтобы дать ему новое направление, надо зарядить им пушку. А где взять пушку в мировом пространстве или на другой планете?

Невольно вспоминается глубокое изречение Паскаля: «Никто не странствовал бы по свету, если бы не надеялся когда-нибудь рассказать другим о том, что видел...» Но именно этой надежды пушка Жюля Верна нам не оставляет.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

К ЗВЕЗДАМ НА РАКЕТЕ

После ряда разочарований мы подходим наконец к единственному действительно осуществимому проекту межпланетных путешествий. Путь этот указан был впервые нашим ученым К. Э. Циолковским (в 1903 г.) и стоит в стороне от всех фантастических замыслов, рассмотренных ранее. Здесь перед нами уже не фантазия романиста, не просто любопытная задача из области небесной механики, а глубоко продуманный механический принцип, реальный путь к осуществлению заатмосферных полетов в управляемом снаряде — звездолете.

Ничто не может быть проще той мысли, которая положена в основу этого проекта: двигаться, управляясь в пустом пространстве без опоры. На первых уроках физики знакомимся мы с законом «действия и противодействия», иначе называемым третьим законом Ньютона: каждая сила всегда вызывает равную ей силу противодействия. Эта-то последняя сила и поможет нам умчаться в бездны мироздания. Сила противодействия проявляется на каждом шагу, — быть может, именно потому мы и не отдаем себе ясного отчета в ее суще-

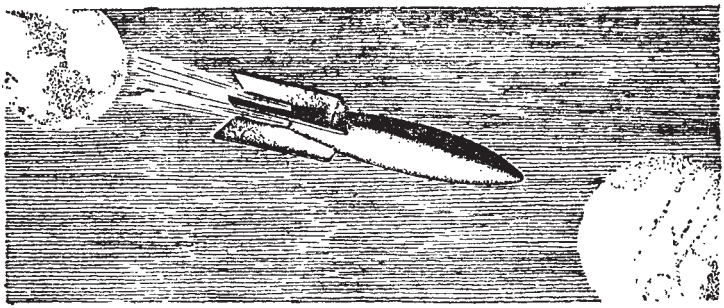


Рис. 19

ствовании; нужны особые обстоятельства, чтобы заставить мысль остановиться на ней.

Когда вы стреляете из ружья, вы чувствуете его «отдачу»: давление взрывных газов отбрасывает пулю в одну сторону и с равною силою отталкивает ружье в обратную сторону. Если бы ружье весило столько же, сколько и пуля, приклад ударял бы стреляющего с такою же скоростью, с какою ударяет пуля, выпущенная в упор; каждый стрелок был бы тогда самоубийцей. Но ружье значительно тяжелее пули, и во столько же раз ослабляется действие его возвратного удара. Надо всегда помнить, что вообще действие силы на тело зависит от массы этого тела: одна и та же сила сообщает грузному телу меньшую скорость, чем легкому (соответственно обратному отношению их масс). Закон «равенства действия и противодействия» не следует понимать буквально: само *действие* почти никогда не равно противодействию, равны лишь действующие при этом силы, могущие вызвать весьма различные результаты.

Наблюдая падение яблока на Землю, не думайте, что земной шар остается неподвижен, нарушая закон противодействия. Притяжение и здесь взаимное; сила действия Земли на яблоко вызывает точно такую же силу противодействия. Яблоко и Земля буквально *падают друг на друга*, влекомые равными силами; но так как масса земного шара неизмеримо больше массы яблока, то скорость падения Земли неизмеримо меньше скорости падения яблока. Пока яблоко падает с дерева на Землю, наша планета перемещается навстречу яблоку едва на одну стотриллионную долю сантиметра. Практически Земля остается неподвижной и замечается лишь движение яблока.

Этот-то закон, впервые провозглашенный великим Ньютоном, открывает перед нами возможность свободно двигаться, ни на что не опираясь. Перемещаться, ни от чего не отталкиваясь, одними лишь внутренними силами — не звучит ли это так, как поднятие самого себя за волосы по анекдотическому способу барона Мюнхгаузена? Но сходство — чисто внешнее. По существу разница здесь огромная, и насколько бесполезно поднимать себя за волосы, настолько действителен способ движения по принципу отдачи. Природа давно уже осуществила такое перемещение для многих живых существ. Каракатица набирает воду в жаберную полость и затем энергично выбрасывает струю воды через особую воронку впереди тела; вода устремляется вперед, а тело каракатицы получает обратный толчок, отбрасывающий ее назад; направляя трубку воронки вбок или вниз, животное может таким своеобразным способом двигаться в любом

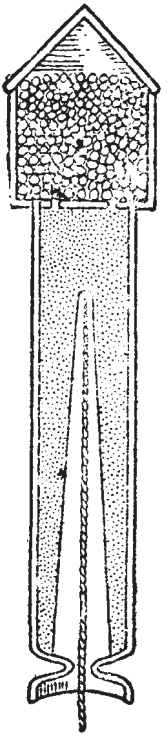


Рис. 20. Увеселительная ракета с цветными звездками (шарики состава бенгальского огня в головной части ракеты)

направлении. Подобным же образом перемещают свое тело медузы, сальпы, личинки стрекоз и многие другие обитатели вод. Пользуется этим приемом и человеческая техника: вращение водяных и так называемых реакционных паровых турбин тоже основано на законе противодействия.

Нигде, однако, интересующий нас способ перемещения не проявляется так наглядно, как при полете обыкновенной ракеты. Сколько раз любовались вы ее эффектным взлетом — но приходило ли вам в голову, что вы видите перед собою уменьшенное подобие будущего межзвездного дирижабля? А между тем еще гениальный Гаусс предрекал ракете в будущем великое значение, более важное, чем открытие Америки...

Отчего ракета взлетает вверх при горении наполняющего ее пороха? Даже среди людей науки приходится нередко слышать, будто ракета летит вверх потому, что газами, которые вытекают из нее при горении пороха, она «отталкивается от воздуха». На самом же деле воздух не только не обусловливает движение ракеты, но даже мешает ей: в безвоздушном пространстве ракета должна лететь быстрее, чем в атмосфере. Истинная причина движения ракеты состоит в том, что, когда пороховые газы стремительно вытекают из нее вниз, сама трубка ракеты, по закону противодействия, отталкивается вверх. Весьма наглядно объяснены механические условия такого полета в предсмертной записке известного революционера-первомартовца Кибальчича, о котором у нас еще будет речь. Он писал:

«Представьте себе, что мы имеем из листового железа цилиндр, закрытый герметически со всех сторон и только в нижнем дне своем имеющий отверстие. Расположим по оси этого цилиндра кусок прессованного пороха и зажжем его. При горении образуются газы, которые будут давить на всю внутреннюю поверхность цилиндра. Но давления на боковую поверхность цилиндра будут взаимно уравновешиваться, и только давление газов на закрытое дно цилиндра не будет уравновешено противоположным давлением, так как с противоположной стороны газы

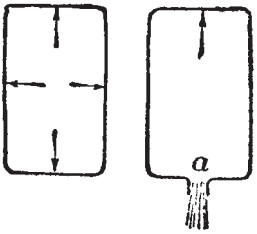


Рис. 21. Действие газов внутри ракеты (схема)

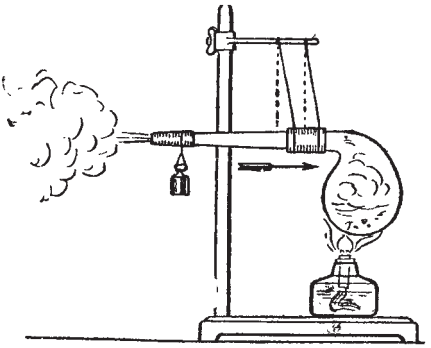


Рис. 22. «Тепловой маятник» Цельнера

имеют свободный выход через отверстие*. Если цилиндр поставлен закрытым дном кверху, то при известном давлении газов цилиндр должен подняться вверх» (см. рис. 21).

При горении пороха ракеты происходит, в сущности, то же, что и при выстреле из пушки. Снаряд летит вперед, пушка отталкивается назад.

Если бы пушка висела в воздухе, ни на что не опираясь, она после выстрела устремилась бы назад со скоростью, которая во столько раз меньше скорости снаряда, во сколько раз он легче пушки. Ракета — нечто как раз противоположное пушке; в пушке назначение взрыва — выбросить снаряд, почти не сдвигая ствола пушки; в ракете же взрывные газы предназначаются именно для перемещения самого тела ракеты. Скорость и масса этих газов так значительны, что «отдача» заставляет тело ракеты быстро взлетать вверх. Все время, пока происходит горение пороха, скорость ракеты возрастает; к прежней скорости непрерывно, каждую секунду, прибавляется новая**, да и сама ракета, теряя свои горючие запасы, уменьшает свою массу и потому заметнее поддается действию силы.

Опишу несложный прибор, действие которого объясняется тем же принципом. Прибор нетрудно устроить самому. Он наглядно убеждает в существовании силы, которая должна увлекать ракету в сторону, противоположную истечению газов. Стеклянный сосуд (рис. 22)

* Это надо понимать в том смысле, что противодействующая сила порождает здесь не напор на стенку, а истечение газов из отверстия.

** Ускорение, с каким движется вверх пиротехническая ракета, в десятки раз больше ускорения земной тяжести.

подвешен к подставке на нитях. В сосуд наливают воды и подставляют под него горелку. Когда вода закипит, пар будет струйкой выбиваться из сосуда, сам же сосуд при этом откачнется в обратную сторону. Но, очутившись вне пламени, реторта скоро охладится; вода перестанет кипеть, пар больше выбиваться не будет, и сосуд вернется в прежнее положение. Опять начнется кипение, опять реторта откачнется и т. д. Сосуд будет качаться, как маятник («тепловой маятник» Цельнера).

Ньютон, говорят, проектировал устройство самодвижущегося экипажа, устроенного подобным же образом, т. е., в сущности, то, что выполнено теперь строителями ракетного автомобиля.

Однако вернемся к ракете и к идее межпланетного корабля. Когда порох в ракете весь выгорит, пустая ракетная трубка, пролетев еще некоторый путь по инерции, падает обратно на землю: ее скорость недостаточна для окончательного преодоления силы тяжести. Но вообразите ракету в десятки метров длиною, снабдите ее таким запасом горючего, чтобы она успела накопить секундную скорость в 11 км (эта скорость, мы знаем, достаточна, чтобы безвозвратно покинуть Землю), — тогда цепи земного тяготения будут разорваны. Способ странствовать в мировом пространстве найден!

Вот физические соображения, приводящие к мысли об устройстве летательного аппарата, способного двигаться не только в атмосфере, но и за ее пределами. Впервые идея подобного аппарата — правда, для земных, а не для межпланетных полетов — была высказана в 1881 г. известным русским революционером-изобретателем Н. И. Кибальчичем в проекте, составленном этим замечательным человеком незадолго до казни. Проект Кибальчича был высказан лишь в форме основной идеи: «Будучи на свободе, я не имел достаточно времени, чтобы разработать свой проект в подробностях и доказать его осуществимость математическими вычислениями», — писал он. Гораздо обстоятельнее разработана та же мысль недавно умершим физиком К. Э. Циолковским, создавшим идею настоящего межпланетного дирижабля-звездолета и обосновавшим его на строгом математическом расчете.

По тому же пути, независимо от русских изобретателей, пошли и на Западе другие исследователи, о которых у нас еще будет речь.

Аппарат К. Э. Циолковского — не что иное, как огромная ракета с каютой для пассажиров. «Представим себе, — писал он еще в 1903 г., — такой снаряд: металлическая продолговатая камера, снабженная светом, кислородом, поглотителями углекислоты и других

животных выделений, предназначена не только для хранения разных физических приборов, но и для управляющего камерой разумного существа. Камера имеет большой запас веществ, которые при своем смешении тотчас же образуют взрывчатую массу. Вещества эти, правильно и равномерно взрываясь в определенном для этого месте, текут в виде горячих газов по расширяющимся трубам. В расширенном конце, сильно разредившись и охладившись от этого, они вырываются наружу через раструбы с громадною скоростью. Понятно, что такой снаряд при известных условиях должен подниматься

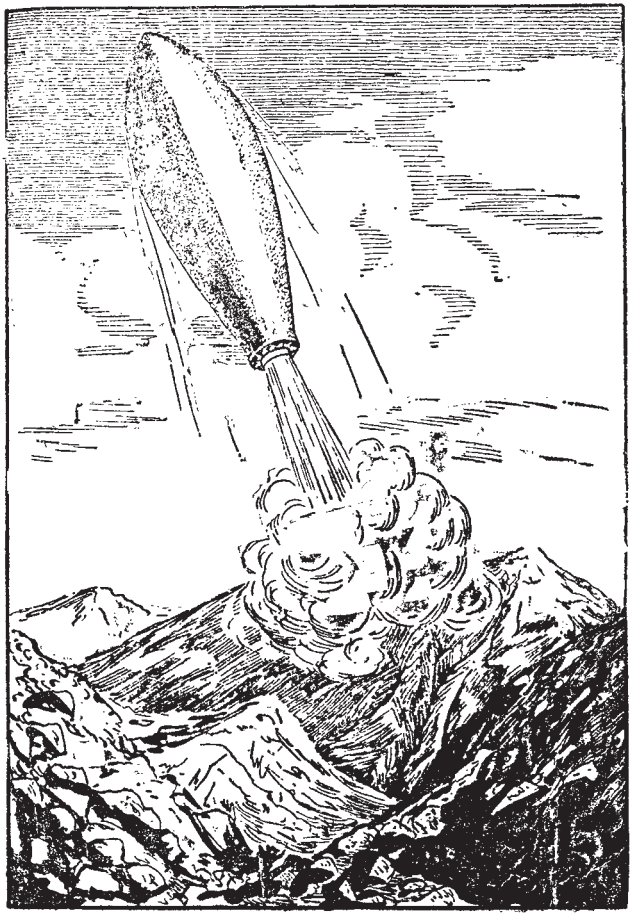


Рис. 23. Ракетный звездолет (фантастический рисунок)

в высоту... Люди в этом аппарате смогут при помощи особого руля направлять его в любую сторону. Это будет настоящий управляемый космический корабль, на котором можно умчаться в беспредельное мировое пространство, перелететь на Луну, к планетам... Пассажиры смогут, управляя горением, увеличивать скорость своего звездолета с необходимой постепенностью, чтобы возрастание ее было безвредно».

Мы еще вернемся к более подробному описанию проектов подобного рода, а пока отметим существенные преимущества, которыми обладает звездолет К. Э. Циолковского по сравнению с пушечным снарядом Жюля Верна. Прежде всего, сооружение его, конечно, гораздо осуществимее, нежели сооружение исполинской пушки Жюля Верна. Затем, звездолет развивает свою чудовищную скорость не сразу, как пушечное ядро, а постепенно, избавляя пассажиров от опасности быть раздавленными стремительным возрастанием их собственного веса.

Не опасно для ракетного звездолета и сопротивление воздуха: аппарат прорезает атмосферу не с космической скоростью, а с гораздо меньшею — например, со скоростью современной пули; полную же межпланетную скорость он развивает, лишь очутившись за пределами воздушной оболочки. Там, в мировом пространстве, взрывание может быть совершенно прекращено: звездолет умчится по инерции со скоростью, которая будет убывать лишь под действием земного притяжения. Он может мчаться так, без затраты горючего вещества, миллионы километров, и лишь для перемены направления полета, для изменения скорости или для ослабления удара при высадке на планету понадобится снова пустить в действие взрывной механизм.

Но самое главное преимущество ракетного звездолета состоит в том, что он даст будущим морякам Вселенной возможность, обогнув Луну или посетив какую-нибудь малую планету, в желаемый момент снова возвратиться на родную Землю. Нужно лишь обильно запастись взрывчатыми веществами, как полярные мореплаватели запасаются топливом.

Некоторую опасность представляет разве что встреча с крупным метеоритом — с одним из тех космических камней, которые стремительно прорезают во всех направлениях пустыни межпланетного пространства. Расчет показывает, однако, что вероятность встречи с метеоритом опасных размеров крайне ничтожна (к метеорной опасности мы вернемся еще в другом месте).

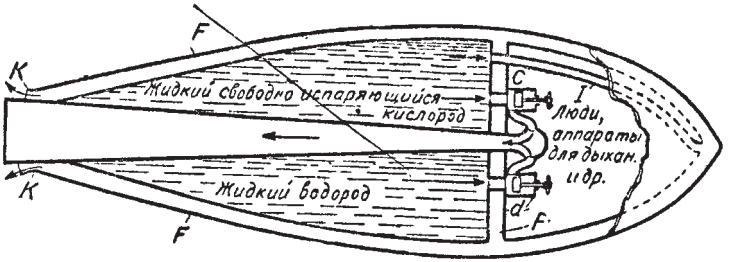


Рис. 24. Схема внутреннего устройства ракетного корабля по идее Циолковского

Так заманчивая возможность достижения иных миров, путешествия на Луну, на астероиды, к Марсу может превратиться в реальную действительность. Воздух для дыхания нетрудно будет взять с собой (в виде сжиженного кислорода), как и аппараты для поглощения выдыхаемой углекислоты. Мыслимо также снабдить небесных путешественников запасом пищи, питья и т. п. С этой стороны не предвидится серьезных препятствий — по крайней мере, для не слишком долговременных межпланетных путешествий.

Высадка на Луну, на астероид или на один из мелких спутников больших планет — если только поверхность их в таком состоянии, что делает спуск возможным, — будет лишь вопросом достаточного количества взрывчатых веществ. Надлежаще направленными взрывами можно уменьшить огромную скорость ракеты настолько, чтобы падение ее совершалось плавно и безопасно. Но надо иметь еще в запасе достаточно взрывчатого вещества, чтобы вновь покинуть это временное пристанище, преодолеть силу притяжения планеты и пуститься в обратный путь с необходимым запасом для плавного спуска на Землю.

В особых непроницаемых костюмах, вроде водолазных, будущие Колумбы Вселенной, достигнув планеты, смогут рискнуть выйти из небесного корабля. С запасом кислорода в металлическом ранце за плечами будут они бродить по почве неведомого мира, делать научные наблюдения, изучать его природу, мертвую и — если такая имеется — живую, собирать коллекцию... «Стать на почву астероидов, поднять камень с Луны, наблюдать Марс на расстоянии нескольких десятков километров, высадиться на его спутник или даже на самую его поверхность, — что, по-видимому, может быть фантастичнее? Однако только с момента применения ракетных приборов начнется

новая великая эра в астрономии: эпоха более пристального изучения неба» (Циолковский).

К. Э. Циолковский не дал конструктивного проекта своего звездолета, считая необходимой предварительную, более детальную разработку его идеи с принципиальной стороны. Но в виде наглядного примера одной из возможных форм осуществления основного принципа прилагаю схематический чертеж, выполненный с наброска, который сделан был К. Э. Циолковским по моей просьбе еще в 1914 г. (рис. 24). Вот краткое, составленное им же, пояснение:

> «Снаряд имеет снаружи вид бескрылой птицы, легко рассекающей воздух. Большая часть внутренности занята двумя веществами в жидком состоянии: водородом и кислородом. Они разделены перегородкой и соединяются между собой только мало-помалу. Остальная часть камеры, меньшей вместимости, назначена для помещения наблюдателя и разного рода аппаратов, необходимых для сохранения его жизни, для научных наблюдений и для управления. Водород и кислород, смешиваясь в узкой части постепенно расширяющейся трубы, соединяются химически и образуют водяной пар при весьма высокой температуре. Он имеет огромную упругость и вырывается из широкого отверстия трубы или продольной оси камеры. Направление давления пара и направление полета снаряда прямо противоположны».

Подробнее о звездоплавательных планах К. Э. Циолковского у нас будет речь в особой главе.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

УСТРОЙСТВО ПОРОХОВОЙ РАКЕТЫ

Прежде чем бросить взгляд на многообещающее будущее ракеты, на открывающиеся перед нею заманчивые дали, остановимся немного на устройстве и истории пороховой ракеты.

Начнем с обыкновенной пиротехнической ракеты, украшающей многолюдные празднества. Как она устроена? Она представляет собой картонную трубку — «гильзу», набитую порохом. С одной стороны — передней — трубка закрыта, с задней она имеет суженный просвет и раструб — «дюзу». Сквозь сужение введен запальный шнур, служащий для поджигания пороховой массы. Порох не насыпают в гильзу рыхло, а набивают в мелко размолотом виде возможно плотнее, чтобы при зажигании заряд горел только с поверхности. Для увеличения поверхности горения (примерно в четыре раза) в плотной пороховой массе сделана вдавленность вдоль оси гильзы — так называемое пролетное пространство. Наконец, чтобы придать ракете устойчивость в полете, к ней прикрепляется деревянная палка в несколько раз длиннее гильзы; этот «хвост» мешает летящей ракете перекидываться в воздухе. Таково в основных чертах несложное устройство и всякой пороховой ракеты, какое бы назначение и какие бы размеры она ни имела. Но ошибкой было бы думать, что изготовление ракет — дело простое, посильное для любителя. Прежде всего фабрикация, а также пуск ракет сопряжены с опасностью взрыва даже в руках опытного профессионала. Следует поэтому настойчиво предостеречь от любительского экспериментирования с ракетами, не раз уже кончавшегося катастрофами, с пожарами и гибелью людей. Техника изготовления ракет требует основательного знания всех деталей производства, знания, которого нельзя почерпнуть из самых подробных руководств по пиротехнике.

На некоторых деталях поучительно будет здесь остановиться.

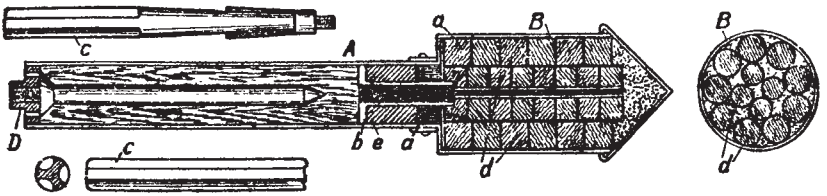


Рис. 25. Разрез светящейся ракеты

Порох для ракет употребляется обычно черный, дымный, особого состава. Укажем состав, употреблявшийся всемирно известной немецкой пиротехнической лабораторией в Шпандау*: 76 частей селитры, 10 частей серы и 16 частей черемухового угля — состав, выработанный путем многолетних опытов и применяемый лабораторией с 1886 г. Порох разрывает ракету, если заряд недостаточно плотно впрессован в гильзу. Необходимо, чтобы горение состава происходило только с поверхности, т. е. не слишком быстро. Присутствие в заряде трещин может повлечь за собою одновременное воспламенение всей пороховой массы и взрыв ракеты. Пиротехники опасаются даже тончайших трещинок в прессуемой массе заряда. Поэтому ракеты крупного калибра (начиная с 8 см) изготовляются с помощью гидравлического пресса, под давлением 750 атм, с соблюдением тщательных предосторожностей.

Гильзы делаются для небесных ракет картонные, для более крупных — металлические, лучше всего из алюминия или из сплавов магния. Медь в качестве материала для гильз избегается не только из-за тяжеловесности и недостаточной прочности, но и ввиду ее хорошей теплопроводности: быстрое нагревание стенок ракеты легко может вызвать преждевременное воспламенение и взрыв всего заряда. Стальные гильзы также не рекомендуются, так как в случае взрыва они разлетаются градом острых осколков.

При изготовлении металлических гильз для ракет продолжительного горения прибегают к теплоизоляции стенок.

---

* Эта лаборатория снабжала ракетами не только Германию (в том числе и германскую армию), но и другие государства. Ее спасательные морские ракеты считались лучшими в мире и выписывались даже английским адмиралтейством. После ста лет существования она была по Версальскому договору закрыта наряду с прочими военными заводами, и оборудование ее уничтожено. В настоящее время славится другая немецкая ракетная лаборатория, в Везермюнде, руководимая знатоком пороховых ракет инж. Ф. Зандером.

Чтобы дать представление об устройстве ракет крупного калибра, на рис. 25 показан разрез военной светящейся ракеты, употребляемой для освещения позиций противника. Вот ее описание (из курса артиллерии Нилуса и Маркевича):

«Трехдюймовая светящаяся ракета состоит из: 1) железной гильзы *A*, набитой движущим (форсовым) пороховым составом, имеющей внутренний диаметр 3 дюйма; 2) жестяного колпака *B*, заряженного светящими звездками и мякотью, и 3) длинного деревянного хвоста *C*, служащего для направления движения ракеты.

У заднего кольца гильзы закрепляется железный поддон *D*. Посередине поддона ввинчивается железный наконечник деревянного хвоста. Около него проделаны отверстия для выхода газов ракетного состава и для его зажигания. Сумма площадей этих отверстий равна $^1/_4$ площади внутреннего поперечного сечения.

Гильза запрессовывается составом из селитры, серы и угля по длине около 5 калибров. При сплошной набивке состава поверхность горения равнялась бы поперечному сечению и была бы слишком малой: количества образующихся газов было бы недостаточно для того, чтобы преодолеть инерцию ракеты и привести ее в движение. Для увеличения поверхности горения в составе выделывают по оси цилиндрический канал, не доводя его до конца состава. При зажигании ракеты воспламеняется вся поверхность этого канала. На состав ставится медная дистанционная трубка *a* с медным же поддоном *b*, набитая также ракетным составом: она служит для передачи огня звездкам с некоторым замедлением, после того как форсовый состав уже выгорел и ракета начинает падать вниз. Промежуток между трубкой *a* и стенками гильзы забит измельченной серой *e*, удерживающей трубку на месте. Затем к стенкам гильзы прикрепляется шейка жестяного колпака *B*, наполненная звездками *d*.

Звездки готовятся из прессованного в цилиндрики состава бенгальского огня. На колпак надевается коническая крышка, которая соединяется с колпаком с помощью штыкового соединения. Свободное место в крышке над звездками закладывается войлоком. Отверстия поддона заклеиваются пластырем. Ракета весит около 16 кг».

Чем ракета крупнее, чем больше ее заряд и продолжительность горения, тем большая скорость накапливается к концу горения и, следовательно, тем выше подъем ракеты. Но это возрастание высоты взлета с увеличением калибра ракеты имеет предел, обусловленный тем, что поверхность горения пороховой массы растет пропорционально квадрату калибра, в то время как общий вес ракеты увеличивается пропорционально кубу калибра. Для крупных ракет получается поэтому невыгодное соотношение между поднимаемым грузом

и количеством газов, образующихся при горении заряда. По соображениям подобного рода считалось еще недавно, что предельная высота подъема пороховых ракет равна 2–$2^1/_2$ км.

Предел этот, однако, был недавно далеко превзойден крупнокалиберными ракетами инженера Тиллинга, а также инженера Ф. Зандера*, работавшего совместно с безвременно погибшим деятелем звездоплавания Максом Валье. Летом 1928 г. Зандер запускал свои пороховые ракеты до границы стратосферы, т. е. на высоту 12–13 км. При калибре 22 см ракеты Зандера поднимали грузы в 400–500 кг на высоту 4–5 км, откуда они плавно опускались на парашюте.

«Каким способом такие результаты достигнуты, об этом, по соображениям секретности, естественно, ничего сообщить нельзя», — читаем мы в книге Валье.

Испытание подобных ракет сопряжено с большою опасностью. «Опыты производились на особом полигоне, — пишет Валье, — где за пуском ракет следили через окошечки толстого сруба с помощью стереотруб, фотоаппаратов и кинематографической ленты. На первых порах почти ежедневные взрывы вдребезги разносили дорогие инструменты, а острые осколки гильз вонзались на несколько сантиметров в стены сруба.

Случалось, что тяжелые, добела раскаленные дюзы взметались на сотни метров вверх или относились в сторону; далеко откинутая часть невыгоревшего заряда едва не причинила однажды лесного пожара».

О ракетах Тиллинга будет сказано в следующей главе.

---

* Не смешивать с советским работником ракетного дела инженером Ф. А. Цандером.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

ИСТОРИЯ ПОРОХОВОЙ РАКЕТЫ

История ракеты уходит далеко в глубь веков. Ракета гораздо древнее огнестрельного оружия, потому что китайцы — которые, вероятно, и являются ее изобретателями — употребляли ее для декоративных целей еще до начала нашего летосчисления. На протяжении первого тысячелетия нашей эры можно найти, впрочем лишь глухие, упоминания об употреблении ракет. Имеются, далее, сведения, что в XIII веке китайцами и арабами применялись при осаде зажигательные ракеты. Около того же времени встречаются упоминания о них в сочинении знаменитого ученого-схоластика Альберта Великого и в некоторых арабских трудах по военному делу.

В Европу ракеты проникли, по-видимому, лишь в XIV веке. Любопытно, что уже в начале XV века появились проекты (де Фонтана) применения ракет в качестве двигателя для повозки, лодки, подводной торпеды и даже для воздушной торпеды в виде «ракетного голубя», т. е. зажигательной ракеты, снабженной хвостом и несущими плоскостями. Такие «ракетные голуби», надо думать, существовали не только в проекте: имеется свидетельство о пожаре в лагере осаждающих гуситов, возникшем (очевидно, вследствие противного ветра) при «пуске ракетного голубя» в осажденный город.

В течение XV и XVII веков ракеты неоднократно описываются в качестве военного оружия немецкими и польскими авторами*. В 1668 г. в Берлине производились опыты с весьма крупными ракетами, 50–100 фунтов весом, предназначавшимися для переброски зажигательных снарядов. В 1720 г. в сочинении лейденского физика Гравезанда (изобретателя известного нашим школьникам «шарика Гравезанда») мы находим описание паровой ракетной повозки, устроенной по мысли Ньютона.

---

* В 1516 г. зажигательные ракеты применили запорожские казаки гетмана Рушинского в сражении с войском крымского хана.

В XVIII веке появляется уже специальный род войск, вооруженный ракетами. Индусские раджи содержали ракетные отряды численностью в несколько тысяч человек. Употреблявшиеся ими ракеты весили 3–6 кг и снабжены были хвостами до $2^1/_2$ м длины.

Между прочим, в XVII и XVIII веках ракеты находят себе применение и на охоте — для рассеивания больших стай животных, которых охотники предпочитали преследовать врассыпную.

Эпохой расцвета ракетного военного оружия надо считать начало XIX века, когда генерал английской службы Конгрев, в борьбе с индусами познакомившийся с действием зажигательных ракет, стал вводить их в английской армии. В его руках ракета превратилась в грозное оружие, способное по разрушительному действию соперничать с артиллерией. Уже первые ракеты Конгрева (в 1805 г.) имели дальность переброски около $2^1/_2$ км. При дальнейшем усовершенствовании Конгрев добивался увеличения не столько дальности действия ракет, сколько их грузоподъемности. В 1807 г. при осаде Копенгагена он засыпал город 40 тысячами зажигательных ракет весом 24 фунта, 32 фунта и даже 48 фунтов. Пример английской армии не остался без подражания, и вскоре большинство европейских государств ввело в своих войсках зажигательные ракеты. Распространению этого



Рис. 26. Действие ракетной гранаты на туркестанскую конницу в эпоху среднеазиатских походов царской армии

рода оружия способствовало появление печатного труда Конгрева, где убедительно выяснены ценные преимущества ракетного оружия в смысле дешевизны и удобства перевозки, особенно по сравнению с артиллерией.

Между прочим, Конгрев утверждает в своем сочинении, что при лабораторных опытах он изготовлял ракеты весом в 300 фунтов (130 кг) и что вполне осуществимы ракеты весом в 1000 фунтов (440 кг). Его военные ракеты обычного типа весили 32 фунта (14 кг) и перекидывали зажигательный снаряд в $3^1/_2$ кг на 2700 м, а в 12 кг — на 1800 м; калибр ракеты Конгрева — от 5 до 12 см.

В эпоху Наполеоновских войн ракеты нашли себе новое боевое применение: их употребляли для переброски разрывных снарядов. Ракетная артиллерия продолжала развиваться до середины прошлого века, пока не была оттеснена на второй план значительными успехами артиллерии орудийной. Каким внушительным оружием была в то время ракетная граната, можно судить по тому, что употреблялись ракеты в 20 кг весом, несшие бомбу в 60 кг и перебрасывавшие ее почти на три километра; калибр этих ракет был 12 см*. Следующие государства имели в составе армии специальные ракетные отряды, метательные орудия, лаборатории и т. п.: Англия, Пруссия, Польша, Россия, Голландия, Швейцария, Греция, Сардиния, Франция, Испания, Австрия, Италия, Сицилия. Во второй половине прошлого века все страны одна за другой отказались от услуг ракетной артиллерии: Австрия — в 1867 г., Германия — в 1872 г. (в Франко-прусскую войну ракетные бомбы не находили себе применения).

Позже всего — до 1885 г. — удержался этот род оружия в английских колониальных войсках, действовавших в трудно доступных местах, куда невозможно было доставить тяжеловесные пушки.

Ракетной артиллерией снабжалась и русская армия в эпоху завоевания Туркестана. «При походах в Туркестан пользовались ракетами, снабженными гранатой, взамен артиллерии. Своим огненным хвостом, шумом и разрывом снаряда при падении они производили очень сильное впечатление на туркестанскую кавалерию» (Нилус и Маркевич, «Курс артиллерии»).

Особого внимания заслуживает изобретение в 1846 г. в Америке ракет, вращающихся вокруг продольной оси и тем приобретающих большую устойчивость в полете.

* Кибальчич упоминает о ракетах, могущих поднимать до 5 пудов разрывного снаряда.

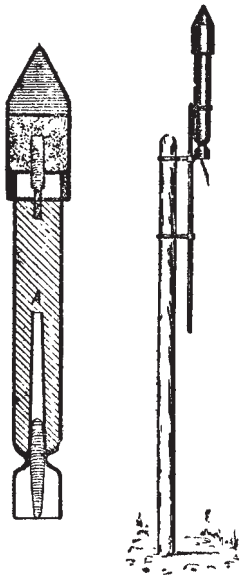


Рис. 27. Противоградовая ракета: слева — в разрезе, справа — установленная для пуска

Вращение порождалось тем, что вытекающие газы приводили в движение небольшой пропеллер, прикрепленный к ракете. Это усовершенствование нашло себе применение в австрийской ракетной артиллерии.

С 30-х гг. XIX века крупная ракета получает и мирное применение — прежде всего в деле оказания помощи экипажу тонущего судна. Спасательная ракета, пущенная с берега, переносит на судно конец троса, посредством которого устраивается подвесная дорога для сообщения с берегом. Ракета калибром в 8 см, длиною 35 см, с зарядом 3 кг перебрасывает на 400 м многожильный трос, весящий 16 кг.

Все страны снабжались спасательными ракетами немецкого производства (лаборатория в Шпандау).

До сих пор речь шла исключительно о ракетах, заряженных прессованным черным порохом. Но имеются предшественники и у ракеты с зарядом из жидких горючих веществ. Такова ракета перуанского изобретателя Педро Полета, работавшая на бензине с азотным ангидридом (в качестве источника кислорода). Производя опыты со своей ракетой, изобретатель не пускал ее в свободный полет, а заставлял действовать на пружинный динамометр, измеряя таким образом ее подъемную силу. К сожалению, это ценное изобретение в свое время осталось неизвестным и не дало непосредственного толчка другим работникам ракетного дела.

XX век принес ракете, между прочим, неожиданную область применения — в качестве средства защиты от града. Градорассеивающие ракеты (рис. 27) широко употребляются в Швейцарии, которая обязана им, говорят, понижением убытков от градобития. Если при выпадении первых градин пустить вверх ракету, то на площади в квадратный километр выпадают вместо града рыхлые снежные хлопья, которые после второй или третьей ракеты сменяются дождем. В окружающей местности в то же время идет град. Употребляемые для этого ракеты не принадлежат к крупным: их калибр всего 3–4 см, длина 25–35 см.

Обычно это картонные гильзы, наподобие пиротехнических. Самый же механизм воздействия ракет на ход метеорологического явления до сих пор не раскрыт и представляется загадочным: слишком велико несоответствие между запасом энергии, освобождаемой при горении ракеты, и тем количеством, какое требуется для растопления града на значительном пространстве*.

Из других мирных применений ракет в XX веке упомянем о перекидывании шнура через труднопроходимые реки, ущелья, пропасти, для установления связи с противоположной стороной; о таком же приеме установления сношений с местностями, отрезанными от прочего мира наводнением или другими стихийными бедствиями; о перебрасывании небольшого якоря с судна через полосу бурного прибоя и т. п.

Наряду с этим в XX веке вновь расширилось и военное применение ракет. В 1906–1908 гг. немецким инженером Маулем была изобретена для военных надобностей фотографическая ракета: фотоаппарат поднимается ракетой на высоту нескольких сотен метров, откуда автоматически снимает местность**. Ракета крупного калибра возносила камеру размером 20 × 25 см (при фокусном расстоянии 28 см) на высоту 800 м; с подобного возвышения открывается на ровной местности кругозор с радиусом в сотню километров. Попутно тот же изобретатель производил — по-видимому, впервые в истории ракеты — опыты подъема с помощью ракет живых существ: мышей, морских свинок и других мелких животных; четвероногие пассажиры находились в клетке, которая прикреплялась к ракете взамен фотоаппарата. Животные благополучно возвращались на Землю — факт весьма поучительный, так как ускорение при пуске пороховых ракет довольно велико, в десятки раз больше привычного нам ускорения тяжести***.

Опыты с фоторакетами были, однако, вскоре прекращены, так как развитие аэрофотосъемки сделало применение ракет для этой цели излишним.

---

* Хотя употребление противоградовых ракет широко практикуется в Швейцарии и в некоторых местностях Кавказа, пользу их нельзя считать бесспорно доказанной. Специальное опытное исследование вопроса, предпринятое в ряде кантонов Швейцарии в течение 1928 и 1929 гг., не дало решающих результатов; польза ракет, во всяком случае, не обнаружилась с достаточной определенностью (что, возможно, обусловливалось недостатками самой постановки опытов).

** См. статью А. Мауля в «Technik für Alle» за 1915–1916 гг.

*** Наблюдение это находится в согласии с опытами над мелкими животными, еще ранее произведенными К. Э. Циолковским с помощью центробежной машины, а позднее проф. Н. А. Рыниным и др. в Ленинграде (1930 г.).



Рис 28. Перекидывание шнура через ущелье при помощи ракеты

Одновременно с сейчас упомянутыми работами инженера Мауля велись в Германии на полигоне Круппа опыты полковника Унге с ракетными торпедами. Имелось в виду изобретение нового военного оружия, которое сделало бы излишними тяжеловесные пушки. Унге удалось изготовить модель, которая при 60 кг общего веса несла 40-килограммовую гранату и перебрасывала ее на расстояние 5–8 км. Такая ракета пускалась с особого лафета и получала устойчивость в полете благодаря вращению около продольной оси (с помощью пропеллера, приводимого в действие вытекающей из ракеты струей газов). Однако добиться удовлетворительной меткости попадания Унге не мог, и опыты его были прекращены.

Незадолго до войны подобные же опыты делались и с подводными торпедами (ракета хорошо горит под водою). Торпеды этого рода, осуществляя старинный проект де Фонтана, показали хорошую скорость, большую, чем обычные торпеды, приводимые в действие сжатым воздухом. Но недостаточная меткость решила судьбу изобретения. В разразившуюся вскоре затем войну 1914–1918 гг. ракета существенной роли как боевое оружие не играла.

После войны наибольших успехов в изготовлении пороховых ракет высокого подъема достигли немецкие конструкторы — инженеры Зандер, Поггензе и Тиллинг. (Особняком стоят чрезвычайно важные

экспериментальные исследования американского физика проф. Годдарда, о которых мы будем говорить в другом месте.)

Об опытах инженера Зандера мы уже упоминали в предыдущей главе. Ракета Поггензе (1931 г.) при весе 13 кг имела в длину $3^1/_2$ м и несла с собою метеорологические приборы-самописцы, а также фотоаппарат и измеритель ускорения. Приборы были скреплены с парашютом, который при испытании ракеты автоматически раскрывался в высшей точке подъема и благополучно доставлял свой груз на Землю.

Инженер Тиллинг при своих опытах в конце 1931 г. пускал ракеты $6^1/_2$ кг весом на высоту 8 км; длина ракет 190 см, диаметр 6,5 см. Они переносились на расстояние 18 км. Он проектировал пуск ракет, снабженных гироскопическими стабилизаторами, на высоту 10–15 км для исследования стратосферы. Им же был намечен план переброски почты с материка на близлежащие острова с помощью пороховых ракет его конструкции.

Этим планам не суждено было осуществиться: в октябре 1933 г. талантливый инженер погиб при взрыве своей лаборатории.

Последней новинкой в применении пороховых ракет является использование их для почтовых надобностей. Пока это осуществлено, насколько известно, только в одном пункте Австрии, там, где гористая местность делает невозможным пользование аэропланом, а доставка почты наземным транспортом крайне медленна из-за бездорожья. Почтовую кладь (примерно из сотни отправлений) заделывают внутрь ракеты, заботясь, конечно, чтобы корреспонденция не пострадала при горении заряда. Такую почтовую ракету пускают в сторону ближайшего почтового отделения, в нескольких километрах от пункта отправления. Дело налажено так хорошо, что почта берет даже заказные и служебные письма. Размеры ракеты: 25 см в диаметре и почти в рост человека в длину. Вес 30 кг, из которых 24 кг приходятся на заряд (порох особого состава, являющегося секретом изобретателя этих ракет, инженера Шмидля). Очерк истории пороховой ракеты был бы не полон, если бы мы не остановились подробнее на проекте использования пороховой ракеты в качестве двигателя для летательного аппарата — проекте Н. И. Кибальчича, вскользь упомянутом ранее. Этот важнейший эпизод в истории развития идей ракетного летания может считаться исходным пунктом звездоплавания и потому заслуживает более подробного рассмотрения.

ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ

ЛЕТАТЕЛЬНАЯ МАШИНА КИБАЛЬЧИЧА

Мысль о летательной машине занимала Кибальчича еще в то время, когда он жил и работал на свободе. Воздухоплавание в то время было в жалком состоянии. Люди умели подниматься над землей на воздушных шарах, но становились в воздухе игрушкой стихии; управляемых воздушных кораблей еще не существовало, и шар несло в ту сторону, куда дул ветер. Кибальчич мечтал о полном покорении воздуха, когда человек сможет совершать свой полет в желаемом направлении.

> «Какая сила должна быть употреблена, чтобы привести в движение такую машину? — размышлял Кибальчич. — Сила пара здесь непригодна... Паровая машина громоздка сама по себе и требует много угольного нагревания для приведения в действие. Какие бы приспособления ни были приделаны к паровой машине — вроде крыльев, подъемных винтов (пропеллеров) и пр., паровая машина не в состоянии будет поднять самое себя на воздух».

Напомним, что двигателей внутреннего горения, разрешивших впоследствии проблему авиации, в те годы еще не существовало. Вот почему от паровой машины мысль революционера-изобретателя обратилась сразу к электродвигателю:

> «В электродвигателях гораздо большая доля переданной энергии утилизируется в виде работы, но для большого электродвигателя нужна опять-таки паровая машина. Положим, что паровая и электродвигательная машины могут быть установлены на земле, а гальванический ток может по проволокам, наподобие телеграфных, передаваться воздухоплавательному прибору, который, скользя, так сказать, особой металлической частью по проволокам, получает ту силу, которою можно привести в движение крылья или другие подобные приспособления снаряда. Подобное устройство летательного снаряда во всяком случае было бы неудобно, дорого и не представляло бы никаких преимуществ перед движением по рельсам».

Зовут меня	*Николай Иванович Кибальчич*
От роду имею	*27 лет*
Вероисповедания	*православного*
Происхождение и народность	*сын священника, русский*
Звание	*был студентом Института инженеров путей сообщения*
Место рождения и место постоянного жительства	*в Черниговской губернии, Кролевецкого уезда, заштатном городе Короп*
Занятие	*литературный труд*
Средства к жизни	*заработки от литературного труда*
Семейное положение	*холост, имею двух родных братьев и двух сестер*
Экономическое положение родителей	*родителей нет в живых*
Место воспитания и на чей счет воспитывался	*сначала в Институте инженеров путей сообщения, а затем в медико-хирургической академии, на собственный счет*
Причина неокончания курса в случае выхода из заведения с указанием самого заведения	*из Медико-хирургической академии вышел в 1875 г. вследствие привлечения меня по политическому делу, а из института, в котором пробыл с 1871 по 1873 г., перешел в академию, пожелав переменить специальность*
Был ли за границей, где и когда именно	*не был*

Биографические сведения о Н. И. Кибальчиче
(Из показаний Кибальчича 20 марта 1881 г.)

Не может ли, однако, человек обойтись совсем без механических источников энергии, а летать силою своих мускулов, как ездит вело-

сипедист? Мысль Кибальчича работала и в этом направлении. Ему было известно, что

> «...многие изобретатели основывают движение воздухоплавательных снарядов на мускульной силе человека. Беря типом устройства своих проектируемых машин птицу, они думают, что можно устроить такие приспособления, которые, будучи приведены в движение собственной силой воздухоплавателя, позволят ему подниматься и летать по воздуху. Я думаю, что если и возможно устроить такого типа летательное приспособление, то оно все-таки будет иметь характер игрушки и серьезного значения иметь не может».

«Какая же сила применима к воздухоплаванию?» — снова и снова задавал себе вопрос Кибальчич и наконец напал на мысль, которая представлялась ему единственным решением задачи. Порох! Сила взрывчатых веществ.

> «Никакие другие вещества в природе не обладают способностью развивать в короткий промежуток времени столько энергии, как взрывчатые».

С действием этих веществ Кибальчич был знаком прекрасно. Еще до вступления в партию «Народной воли» (1879 г.) он, предвидя, что партии в ее террористической борьбе придется прибегнуть к таким веществам, как динамит, решил изучить приготовление и употребление этих веществ.

> «С этой целью, — писал он в своих показаниях, — я предварительно занимался практически химией, а затем перечитал по литературе взрывчатых веществ все, что мог достать. После этого я у себя в комнате добыл небольшое количество нитроглицерина и таким образом практически доказал возможность приготовлять нитроглицерин и динамит собственными средствами».

Кибальчич изобрел и сам изготовил те бомбы, которые были брошены под карету Александра II. Для этого ему «приходилось придумывать много новых, нигде не употреблявшихся приспособлений».

Принимал он деятельное участие и в подготовке подкопа на Садовой улице, где должен был проехать царь. Он рассчитал, «какое количество динамита необходимо для того, чтобы взрыв, во-первых, достиг цели, а во-вторых, не причинил вреда лицам, случившимся на тротуаре при проезде государя, а также прилежащим домам».

> «Но каким образом, — спрашивал Кибальчич, — можно применить энергию газов, образующихся при воспламенении взрывчатых веществ, к какой-либо продолжительной работе? Это возможно только под тем

условием, если та громадная энергия, которая образуется при горении взрывчатых веществ, будет образовываться не сразу, а в течение более или менее продолжительного промежутка времени».

При таких условиях работает прессованный порох в ракетах. Кибальчич ясно представлял себе причину полета ракеты — гораздо лучше, чем некоторые специалисты нашего времени, наивно полагающие, будто ракета струей вытекающих из нее газов отталкивается от окружающего воздуха. Он понимал, что окружающая среда только задерживает полет ракеты, движущей же силой являются газы, напирающие на ракету изнутри.

Размышляя в этом направлении, Кибальчич пришел к идее реактивного самолета, т. е. летательной машины, устроенной по принципу ракеты. Надо было разработать эту мысль, изложить ее в виде проекта и опубликовать. Но революционная деятельность настолько поглотила все силы Кибальчича, что для подобной ракеты у него не нашлось времени. Наступило событие 1 марта: царь убит бомбой Кибальчича, сам Кибальчич схвачен и заключен в Петропавловскую крепость; его ожидает смертная казнь. Чем же занят революционер в последние дни своей жизни?

«Когда я явился к Кибальчичу как назначенный ему защитник, — рассказывал суду В. Н. Герард, — меня прежде всего поразило, что он был занят совершенно иным делом, ничуть не касающимся настоящего процесса. Он был погружен в изыскание, которое он делал о каком-то воздухоплавательном снаряде; он жаждал, чтобы ему дали возможность написать свои математические изыскания об этом изобретении. Он их написал и представил по начальству».

Этот замечательный документ сохранился до наших дней. Он озаглавлен автором так:

Проект воздухоплавательного прибора
бывшего студента Института инженеров путей сообщения
Николая Ивановича Кибальчича,
члена русской социально-революционной партии

«Находясь в заключении, за несколько дней до своей смерти, я пишу этот проект, — такими словами начинается техническое завещание Кибальчича. — Я верю в осуществимость моей идеи, и эта вера поддерживает меня в моем ужасном положении.

Если моя идея после тщательного обсуждения учеными-специалистами будет признана осуществимой, то я буду счастлив тем, что окажу громадную услугу родине и человечеству. Я спокойно тогда встречу смерть, зная, что моя идея не погибнет вместе со мною, а будет существовать среди

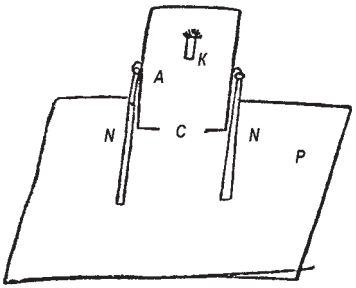


Рис. 29. Набросок проекта летательной машины Кибальчича, устроенной по принципу ракеты

человечества, для которого я готов был пожертвовать своею жизнью.

Вот схематическое описание моего прибора. В цилиндре *A*, имеющем в нижнем дне отверстие *C*, устанавливается по оси пороховая свечка *K* (так буду я называть цилиндрики из прессованного пороха). Цилиндр *A* посредством стоек *N* прикреплен к средней части платформы *P*, за которой должен стоять воздухоплаватель. Для зажигания пороховой свечки, а также для устанавливания новой свечки на место сгоревшей должны быть придуманы особые автоматические механизмы... Все это легко может быть разрешено современной техникой.

Представим теперь, что свеча *K* зажжена. Через очень короткий промежуток времени цилиндр *A* наполняется горячими газами, часть которых давит на верхнее дно цилиндра, и если это давление превосходит вес цилиндра, платформы и воздухоплавателя, то прибор должен подняться вверх... Давлением газов прибор должен подняться очень высоко, если величина давления газов на верхнее дно будет все время поднятия превышать тяжесть прибора.

Таким путем воздухоплавательный прибор может быть поставлен по отношению к воздушной среде в таком же положении, как неподвижно стоящее судно по отношению к воде. Каким же образом можно двинуть теперь наш аппарат в желаемом направлении? Для этого можно предложить два способа. Можно употребить второй подобный же цилиндр, установленный только горизонтально и с обращенным не вниз, а в сторону отверстием в дне. Для того же, чтобы горизонтальный цилиндр можно было устанавливать в каком угодно направлении, он должен иметь движение в горизонтальной плоскости. Для определения направления может служить компас. Но можно ограничиться и одним цилиндром, если устроить его таким образом, чтобы он мог быть наклоняем в вертикальной плоскости, а также мог бы иметь конусообразное движение. Наклонением цилиндра достигается вместе и поддерживание аппарата в воздухе и движение в горизонтальном направлении».

Этот проект революционера-изобретателя постигла трагическая судьба. Кибальчич просил представить его на суд специалистов, и ему это было обещано.

С нетерпением ждал приговоренный к смерти суждения о ценности его заветной мысли. Близился день казни, а ответа не было. За два дня до казни Кибальчич подал министру внутренних дел следующее прошение:

«По распоряжению вашего сиятельства мой проект воздухоплавательного аппарата передан на рассмотрение технического комитета. Не можете ли вы, ваше сиятельство, сделать распоряжение о дозволении мне иметь свидание с кем-либо из членов комитета по поводу этого проекта не позже завтрашнего утра или по крайней мере получить письменный ответ экспертизы, рассматривавшей мой проект, тоже не позже завтрашнего дня».

Ответа не последовало. Кибальчич был обманут: его проект никуда дальше департамента полиции не пошел и никем не рассматривался. Чья-то властная, но черствая рука написала на его предсмертном завещании следующую резолюцию:

«Давать это на рассмотрение ученых теперь едва ли будет своевременно и может вызвать только неуместные толки».

Чиновники поступили с проектом по-чиновничьи: запечатали в конверт, подшили к делу и похоронили в архиве. Нужды нет, что этим обрекалась на забвение замечательная техническая идея, одна из самых смелых, какие когда-либо были высказаны. 36 лет оставалась она неизвестной всему миру, пока революция 1917 г. не сняла запоров с дверей полицейского архива. Только тогда дошла до нас заветная мысль Кибальчича.

На языке техники наших дней изобретение Кибальчича должно быть названо не воздухоплавательным прибором, не самолетом, а звездолетом, потому что этот аппарат мог бы двигаться и в абсолютной пустоте межзвездных пространств. Кибальчич не подчеркивает этого обстоятельства, являющегося, на наш взгляд, наиболее замечательной особенностью его изобретения. Не отмечает он этого, вероятно, потому, что в его эпоху, когда люди не умели еще хорошо летать в атмосфере, несвоевременно было думать о полетах за ее пределами. Но, по существу, это был первый шаг в истории звездоплавания.

На этом заканчивается очерк истории пороховой ракеты. Прежде чем перейти к обозрению современного состояния ракетного дела, необходимо познакомить читателя с механикой ракеты, с условиями ее движения и с вытекающими из них перспективами звездоплавания.

ГЛАВА ДВЕНАДЦАТАЯ

ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ РАКЕТЫ

Ракета движется энергией, развивающейся при горении ее заряда; однако связь между энергией заряда и энергией движения в этом случае не похожа на ту, какую мы наблюдаем в тепловых машинах или в огнестрельном оружии. Вообще, ракета — прибор весьма своеобразный. Механика ее разработана слишком недавно, и оттого о полете ракет существует много превратных представлений. Даже иные специалисты ракетного производства высказывают зачастую о ракетах ошибочные суждения. Несколько лет назад (в 1928 г.) директор известной ракетной лаборатории в Шпандау (Германия) поместил в научном журнале статью, где высказал, между прочим, сомнение в том, чтобы ракета могла работать в безвоздушном пространстве! Между тем еще за десять лет до того американский физик проф. Годдард на опыте рассеял все сомнения на этот счет, доказав, что ракета летит в пустоте даже лучше, чем в воздухе.

Поучительна другая ошибка того же немецкого специалиста: он утверждает, что по окончании горения своего заряда ракета не может получить скорости большей, чем отбрасываемые ею продукты горения. Это верно для огнестрельного оружия (вспомните сказанное в начале седьмой главы), но совершенно ошибочно для ракеты: мы увидим далее, что ракета может приобрести скорость, во много раз большую той, какую имеют продукты ее горения; в этом особенность и преимущество ракеты, и только благодаря этому ракета призвана осуществить со временем межпланетные перелеты.

Чтобы правильно разбираться в вопросах звездоплавания, необходимо вооружиться знанием существенных особенностей ракеты. Познакомимся же ближе с условиями ее полета.

Источником, из которого ракета заимствует энергию своего движения, могут быть не только вещества взрывчатые, но и вещества горючие. Вероятно, не всем известно, чем отличаются друг от друга эти

два рода веществ. *Взрывчатыми* называют вещества, которые содержат необходимый для горения кислород в своем составе; вещества же, называемые *горючими*, черпают кислород для горения извне. Примером веществ взрывчатых может служить порох; примером горючих — нефть. Впрочем, это деление не безусловно; провести резкую границу между веществами обоего рода нельзя. Одно и то же вещество можно причислять то к взрывчатым, то к горючим, в зависимости от условий его сжигания. Бензин, например, когда он горит открыто в воздухе, — горючее; но если превратить его в газ и смешать с воздухом, он становится сильно взрывчатым веществом.

Возвращаясь к ракете, мы должны сказать, что для ее полета необходимо следующее: в ней что-то должно гореть или взрываться, а газообразные продукты горения или взрыва должны вытекать из ее трубки по одному направлению. Кто правильно представляет себе причину полета ракеты (см. главу 8), тому должно быть ясно, что ракета летит тем быстрее, чем больше скорость струи вытекающих газов. Отсюда вывод: для заряда ракеты выгодно брать такое вещество, которое, сгорая, сообщает продуктам горения возможно большую скорость.

Мы имеем, следовательно, один из существенных признаков для оценки пригодности того или иного вещества в качестве заряда для ракеты. Скорость вытекания продуктов горения в значительной мере зависит, конечно, от формы сопла — но существует предел (и его можно вычислить), которого эта скорость ни при каких условиях не может превзойти. Мы выполняли ранее (глава 7) подобный расчет, когда устанавливали высший предел скорости артиллерийского снаряда. Сейчас понадобится сделать такое же вычисление. Легко понять, что предельная скорость отброса будет та, какую приобрел бы вытекающий газ, если бы запас энергии заряда полностью преобразовался в живую силу движения газа. Для черного пороха нами была уже определена эта так называемая идеальная скорость; она равна 2400 м/с: газы, вырывающиеся из трубки ракеты, которая заряжена черным порохом, не могут двигаться (по отношению к ней) быстрее, чем с указанной скоростью. Для других сортов пороха получаются иные идеальные скорости: для пироксилинового ружейного — 2700 м/с, для пироксилина — 2900 м/с и т. п.

При виде того, как щепотка пороха, взрываясь, превращает безобидный кусочек свинца в стремительно летящее смертоносное оружие, нам, естественно, представляется, что порох заключает в себе огромный запас энергии. Мы склонны думать, что в грамме пороха

скрывается несравненно больше энергии, чем в грамме угля, бензина или нефти. Для многих поэтому должно звучать совершенно неправдоподобно утверждение, что такая уверенность ошибочна и что дело в действительности обстоит как раз наоборот. Не только керосин или бензин, но даже осиновые дрова — к которым мы относимся так презрительно, запасая топливо для наших квартир, — содержат энергии больше, нежели порох. Загляните в технический справочник, и вы узнаете, что грамм керосина или бензина, сгорая полностью, развивает около 10 000 тепловых единиц (малых калорий), грамм каменного угля — до 7000, древесины — до 4000; порох же, взятый в том же количестве, дает всего лишь 800 тепловых единиц! Даже если принять в расчет, что порох при горении не заимствует кислорода извне, а промышленное горючее нуждается во внешнем кислороде и что, следовательно, приведенные сейчас числа для керосина, бензина и угля должны быть несколько уменьшены, — все же преимущество остается на стороне невзрывчатых веществ. Топить комнатные печи или паровозы порохом было бы, безусловно, невыгодно.

Легко представляю себе недоумение читателя: если дело обстоит так, то почему ружья и пушки заряжают порохом, а не керосином, не кусочками дерева? На этот вопрос надо ответить, что если бы керосин или дерево горели столь же быстро, как порох, то, конечно, огнестрельное оружие следовало бы заряжать керосином или деревом. Для винтовки или пушки быстрота сгорания заряда имеет первостепенное значение. Нетрудно сообразить почему. Ведь пуля или снаряд скользят в стволе ружья или в канале пушки ничтожный промежуток времени, несколько сотых долей секунды. В течение этого краткого промежутка заряд должен передать пуле (или снаряду) возможно больше энергии — потому что после выхода снаряда из канала давление пороховых газов не влияет больше на ее скорость. Теперь понятно, что медленно горящий керосин успел бы передать пуле лишь незначительную долю из своего богатого источника энергии — гораздо меньше, чем сгорающий быстро, в тысячную долю секунды, порох передает из своего скудного запаса.

Совсем иные условия имеем мы в ракете. В то время как для огнестрельного оружия быстрота горения очень важна, для ракеты она не только не нужна, но, напротив, даже вредна. Если мы желаем со временем превратить ракету в корабль для межпланетных перелетов, то должны добиться медленного и плавного нарастания ее скорости, иначе пассажиры ракетного корабля будут раздавлены при отправ-

лении в путь. А постепенное нарастание скорости ракеты возможно лишь при медленном горении ее заряда.

После сказанного не остается сомнений, какому роду веществ нужно отдать предпочтение при выборе заряда для будущего ракетного корабля. Ракета должна порвать свою давнюю связь с порохом и перестроиться на промышленное горючее. В состав заряда будущей ракеты должны входить, во-первых, какая-нибудь горючая *жидкость* (потому что для твердых горючих понадобилось бы слишком сложное устройство, а для газообразных — чрезмерно большой собственный вес баллона) и, во-вторых, кислород или такое химическое соединение, которое способно его выделить. Окислитель должен также быть в жидком состоянии для удобного подведения его в камеру сгорания; всего лучше будет пользоваться сжиженным кислородом, но можно пустить в дело и такие жидкости, как азотная кислота* или другие соединения азота с кислородом.

Читатель, быть может, желал бы знать, как велика для различных горючих веществ та идеальная скорость вытекания продуктов их горения, о которой упоминалось выше. Приведем поэтому несколько относящихся сюда чисел, сопоставляя их с соответствующими числами для веществ взрывчатых.

Горючие вещества		*Взрывчатые вещества*	
Водород	5200 м/с	Порох охотничий	2600 м/с
Алкоголь	4200 »	» пироксилиновый	2700 »
Бензин	4400 »	Пироксилин	2900 »
Керосин	4200 »	Аммонал	3500 »

Таблица, естественно, внушает мысль, что выгоднейшим горючим для ракетного корабля является жидкий водород. Однако это не совсем так. Не говоря уже о том, что сжиженный водород имеет чрезвычайно низкую температуру и, кроме того, весьма дорог, он отличается еще чрезвычайной легкостью. Он в 14 раз легче воды; это значит, что килограмм его занимает в объеме 14 л. Для вмещения определенного весового количества такой жидкости требуется непомерно большой резервуар. Ракетный корабль с водородом в качестве горючего окажется поэтому очень тяжел и объемист; значит, помимо того что ему придется нести большой мертвый груз, он будет обладать небольшой «поперечной нагрузкой», т. е. будет мало спосо-

* Азотная кислота содействует горению: известно, что в азотной кислоте тлеющий уголь горит, а скипидар воспламеняется.

бен преодолевать сопротивление атмосферы. По этим соображениям надо при проектировании жидкостных ракет отказаться от водорода и иметь в виду другие роды жидкого горючего с жидким окислителем*.

Вопросы, так или иначе связанные с горючим для ракет, далеко не исчерпаны тем, что было сказано в этой главе. Кто будет иметь дело с сооружением крупных ракет, тому придется столкнуться с длинным рядом технических трудностей. Ему нужно будет подумать о подаче горючего и окислителя, об устройстве камеры сгорания, о нагревания ее стенок и об их искусственном охлаждении, о подготовке смеси для сгорания, о форме баков для горючего и окислителя, о сопле, о системе зажигания и управления и т. п. Моя книга не ставит себе задачей рассмотрение техники сооружения ракет; в ней выясняется только *физическая* сторона дела, освещаются лишь вопросы принципиальные. Интересующиеся техническими подробностями должны будут обратиться к другим сочинениям, из которых я особенно рекомендовал бы весьма содержательную, несмотря на небольшой объем, книжечку советского изобретателя жидкостной ракеты инженера М. К. Тихонравова «Ракетная техника» (1935; с. 77), а также книгу инженера С. П. Королева «Ракетный полет в стратосфере» (1934; с. 110) и Г. Лангемака и В. Глушко «Ракеты» (1935; с. 120).

---

* Отмечу, между прочим, что в Германии недавно (1935 г.) пущен в эксплуатацию первый 100-сильный двигатель внутреннего сгорания, использующий в качестве горючего водород.

ГЛАВА ТРИНАДЦАТАЯ

МЕХАНИКА ПОЛЕТА РАКЕТЫ

Мы подошли к другой стороне механики ракеты: к вопросу о том, от каких обстоятельств зависит окончательная скорость ракеты и — что не менее важно уяснить себе — от каких обстоятельств она не зависит. Теоретический вывод этих соотношений дан в конце книги. Здесь приводим лишь окончательный результат.

Математический анализ устанавливает, что в *среде без тяжести* (для простоты пока отвлекаемся от тяжести) окончательная скорость, приобретаемая ракетой после горения, зависит *только* от двух обстоятельств:

1) от той скорости, с какой вытекают из ее сопла газообразные продукты горения;

2) от отношения первоначальной массы ракеты к ее окончательной массе, т. е. отношения массы ракеты до горения к массе ее после горения.

Если первоначальную массу ракеты вместе с запасом горючего обозначим через M_t, а конечную массу, когда заряд выгорит, через M_k, то скорость, приобретаемая ракетой к концу горения, зависит от величины дроби:

$$\frac{M_t}{M_k}.$$

Ни от каких других причин окончательная скорость ракеты в среде без тяжести не зависит. Это — замечательный результат. Оказывается, что продолжительность и порядок горения нисколько не влияют на величину приобретаемой ракетой скорости. «Происходит ли горение равномерно или нет, длится ли оно секунды или тысячелетия — это все равно; даже перерывы ничего не значат» (Циолковский). Второй поучительный вывод тот, что скорость ракеты не обусловливается вовсе, как можно было бы ожидать, абсолютным количеством сожженных веществ; она зависит лишь *от отношения* массы этих

веществ к массе незаряженной (вернее — разряженной) ракеты. Маленькая ракета, заряженная несколькими граммами горючего, может приобрести такую же окончательную скорость, как и исполинская ракета с зарядом в сотни или тысячи тонн, — если только окончательная масса ракеты в обоих случаях составляет одинаковую долю первоначальной.

Читатель должен также отрешиться от распространенного представления о ракете как об аппарате, отталкивающемся от воздуха. Это странное ходячее мнение потому так живуче, что для поверхностного суждения кажется естественным и бесспорным. Хотя правильный взгляд на механизм полета ракеты установился уже в эпоху Ньютона, заблуждение это владеет большинством умов еще и в наши дни, мешая правильно разбираться в вопросах ракетного летания.

Уместно остановиться здесь и на другом заблуждении более тонкого характера. Против возможности межпланетных перелетов выдвигается нередко следующий довод. На земном шаре не существует такого горючего, энергия которого, превращенная в механическую работу, была бы достаточна для переноса его самого хотя бы на Луну. Килограмм наиболее энергоемкого горючего — смеси водорода с кислородом — развивает не более 2900 × 427, т. е. 1 240 000 кгм. Между тем, чтобы удалить 1 кг вещества с земной поверхности на расстояние до Луны, требуется совершить работу свыше 6 000 000 кгм. Отсюда делают поспешный вывод, что горючее, которое не может даже самого себя унести на Луну, тем более бессильно доставить туда еще какой-нибудь груз. Значит, межпланетные путешествия — несбыточная мечта; все стремления ее осуществить обречены на полную неудачу.

Рассуждения подобного рода, хотя и высказываются зачастую сведущими в других отношениях авторами, свидетельствуют о полном незнакомстве с условиями работы ракеты. Забывают, что ракета вовсе не несет с собою запаса горючего на протяжении всего пути. Она сжигает и отбрасывает свое горючее еще вблизи Земли, в первые несколько минут полета; весь же остальной путь ракета летит за счет энергии, запасенной в течение этих немногих минут горения. Кроме того, надо помнить, что межпланетная ракета расходует массу горючего, значительно превосходящую массу полезного груза ракеты.

Обратимся теперь к языку математических формул, чтобы отчетливее охватить условия движения ракеты. Обозначим, как прежде, начальную массу ракеты, т. е. массу ее вместе с зарядом, через M_t;

массу ракеты после израсходования заряда, т. е. ее конечную массу, буквами M_k. Скорость, с какою продукты сгорания удаляются от летящей ракеты, обозначим буквою c. Наконец, скорость, приобретаемую самой ракетой по израсходованию запаса горючего (в количестве $M_t - M_k$), обозначим через v.

Между этими четырьмя величинами — M_t, M_k, c и v — существует зависимость, впервые установленная К. Э. Циолковским; мы вправе называть ее формулой Циолковского. А именно: *для всякой ракеты, летящей в пустоте и в среде без тяжести, справедливо следующее равенство* («уравнение ракеты»):

$$\frac{M_t}{M_k} = 2{,}72^{\frac{v}{c}}.$$

Значение букв, входящих в уравнение ракеты, нам известно. Что же касается числа 2,72, то знакомые с математикой, конечно, узнают в нем основание натуральных логарифмов ($e = 2{,}71828...$).

Рассмотрим несколько следствий из этого уравнения*.

Прежде всего мы видим, что ракета может двигаться во много раз быстрее продуктов сгорания — в противоположность пушечному снаряду, который не может мчаться быстрее, чем толкающие его пороховые газы. Действительно, если мы желаем, чтобы ракета двигалась в 10 раз быстрее вытекающих из нее газов, т. е. чтобы отношение $\frac{v}{c}$ равнялось 10, мы должны положить в формуле ракеты $\frac{v}{c} = 10$; тогда

$$\frac{M_t}{M_k} = 2{,}72^{10} = 2200,$$

т. е. заряженная ракета должна быть в 2200 раз тяжелее незаряженной; или, иными словами, заряд должен по весу составлять $^{2199}/_{2200}$-ю долю веса ракеты. Теоретически это возможно, практически же, конечно, неосуществимо. При меньших значениях $\frac{v}{c}$ получаются для $\frac{M_t}{M_k}$ более благоприятные соотношения. Так, если скорость ракеты должна только вдвое превышать скорость вытекающих газов, то отношение

$$\frac{M_t}{M_k} = 2{,}72^2 = 7{,}4.$$

* Путем преобразования можно придать предыдущему уравнению и иной вид, а именно:

$$q = M_k(2{,}72^{\frac{v}{c}} - 1),$$

т. е. масса заряда q равна массе M_k полезного груза, умноженной на выражение в скобках.

Это значит, что вес заряда должен составлять 64/74, т. е. 87% веса ракеты. Вот несколько частных случаев:

Отношение $\frac{v}{c}$ скорости ракеты к скорости вытекания газов	1	2	3	4	5	10
Отношение $\frac{M_t}{M_k}$ веса заряженной ракеты к весу незаряженной	2,72	7,4	20,1	54,6	148	2200

Практически идти далеко в смысле увеличения скорости ракеты, как видим, в реальных условиях не удастся: числа второй строки растут чересчур стремительно. Если бы мы пожелали, например, добиться скорости ракеты в 20 раз большей скорости вытекания газов, нам пришлось бы зарядить ее количеством горючего, которое в 50 миллионов раз больше веса незаряженной ракеты! Напомним, что в цистерне с керосином содержимое только в 13 раз тяжелее тары; даже в пчелиной ячейке мед весит всего в 60 раз больше, чем восковая оболочка. Технике никогда, вероятно, не удастся соорудить ракету, которая в заряженном состоянии превышала бы вес незаряженной ракеты хотя бы только в 100 или даже в 50 раз. Едва ли поэтому придется на практике иметь дело со скоростями ракеты, превышающими скорость продуктов горения более чем в 4 раза. Отсюда понятно, как важно для развития ракетного дела добиться большей скорости вытекания газов. Каждая лишняя сотня метров скорости отброса создает заметную экономию в грузе горючего, который берет с собою ракета.

Еще раз подтверждается необходимость перехода от пороха к горючим жидкостям для достижения значительных скоростей полета. Если для ракет «земного» назначения порох оказывается еще достаточно энергоемким зарядом, то для перелетов космических он уже совсем непригоден. В виде примера сделаем два расчета.

1. Какой заряд пороха необходим ракете, предназначаемой для переброски бомбы в 50 кг весом с максимальной скоростью 500 м/с?

Пусть скорость вытекания пороховых газов из дюзы равна 1000 м/с. Если искомый заряд x, то по формуле Циолковского:

$$\frac{M_t}{M_k} = \frac{50 + x}{50} = 2{,}72^{\frac{50}{1000}} = \sqrt{2{,}72} = 1{,}6.$$

Легко вычислить, что $x = 30$ кг. При скорости вытекания пороховых газов 2000 м/с достаточен для этого еще меньший заряд — 14 кг.

2. Какой заряд необходим для переброски одной тонны полезного груза с Земли на Луну?

Чтобы долететь до Луны с наименьшим расходом горючего, ракета должна быть снабжена запасом энергии, отвечающим скорости 12 240 м/с (см. Приложение 4). Возьмем наибольшую скорость вытекания пороховых газов, 2400 м/с, и составим уравнение:

$$\frac{M_t}{M_k} = \frac{x+1}{1} = 2{,}72^{\frac{12\,240}{2\,400}} = 2{,}72^{5{,}1} = 160.$$

Отсюда $x = 159$. Заряд должен составлять $^{159}/_{160}$ веса ракеты; на всю долю полезного груза остается 0,6% общего веса. Излишне говорить, что это конструктивно неосуществимо.

Пользуясь же жидким горючим, со скоростью вытекания газов 4000 м/с, мы получаем гораздо более благоприятные соотношения:

$$\frac{x+1}{1} = 2{,}72^{\frac{12\,240}{4\,000}} = 2{,}72^{3{,}06} = 20,$$

откуда $x = 19$. Заряд составляет $^{19}/_{20}$ общего веса, и на долю полезного груза приходится уже 5%.

Читателю должна быть понятна теперь та задача, которую поставили перед собой работники звездоплавания на нынешнем этапе его развития: во что бы то ни стало изобрести ракету с жидким зарядом. Будущее имеют только такие ракеты; без них заманчивые цели звездоплавания никогда не будут претворены в действительность. В дальнейших главах мы побеседуем о результатах этих изобретательских стремлений.

Перейдем теперь к следующему пункту механики реактивного движения. Как вычислить силу, с какой продукты горения давят на ракету? Для этого достаточно знать количество ежесекундно потребляемого горючего и скорость вытекания газов. Расчет основан на элементарных положениях динамики. По закону противодействия, количество движения *(mc)*, присущее вытекающим газам, в каждый момент равно количеству движения *(Mv)* самой ракеты. Последнее же равно импульсу силы, увлекающей ракету *(Ft = Mv)*. Значит (считая $t = 1$с), имеем, что искомая сила напора на ракету равна

$$F = mc,$$

где m — масса ежесекундно потребляемого горючего, c — секундная скорость газовой струи. Если, например, ракета сжигает 160 г бензина

в секунду, а продукты сгорания вытекают со скоростью 2000 м/с = = 200 000 см/с, то сила напора на ракету (или сила тяги) составляет

$$160 \times 200\,000 = 32\,000\,000 \text{ дин} \approx 32 \text{ кг}.$$

Нам предстоит еще рассмотреть вопрос о влиянии силы тяжести на полет ракеты. До сих пор мы вели расчеты в предположении, что земная тяжесть на ракету не действует. Вспомним, однако, что под влиянием земной тяжести все тела близ поверхности Земли падают с секундным ускорением около 10 м/с^2. Отсюда прямо следует, что если ракета должна в среде без тяжести получить движение отвесно вверх с ускорением 40 м/с^2, то, взлетая с Земли, она получит ускорение всего в 30 м/с^2. Далее, если собственное ускорение ракеты меньше ускорения земной тяжести, то такая ракета вовсе не будет подниматься над Землей, как бы долго ни продолжалось горение и сколько бы горючего ни было израсходовано. Наконец, в случае *равенства* обоих ускорений ракета представляет картину, совершенно необычайную: она неподвижно висит над Землей все время, пока происходит горение, а по окончании его — падает на Землю.

Как видим, быстрота сгорания, обусловливающая нарастание скорости ракеты, определяет в среде тяжести судьбу ракеты; если горение идет слишком медленным темпом, отлет ракеты вовсе не состоится. Математическое рассмотрение вопроса (см. Приложение 3) показывает, что в условиях тяжести скорость отвесного поднятия ракеты всегда несколько меньше той, какую получила бы ракета, израсходовав равный запас горючего в среде без тяжести. Чем больше собственное ускорение ракеты по сравнению с ускорением тяжести, тем меньше различие между скоростью ракеты в среде без тяжести и в условиях тяжести. Но так как человеческий организм может безопасно переносить не более чем трехкратное увеличение земной тяжести, то при отлете с Земли придется практически весьма считаться с этим различием.

Кроме силы тяжести, отлету ракеты с поверхности Земли должна препятствовать и атмосфера. Мы не можем рассматривать в этой книге влияние сопротивления воздуха на движение ракеты — вопрос этот чересчур сложен. Ограничимся указанием на то, что работа по преодолению ракетой атмосферного сопротивления гораздо меньше, чем работа по преодолению тяжести. При весе ракеты 10 т, площади поперечного сечения 4 м^2 и ускорении ее движения 30 м/с^2 давление взрывных газов на нее будет равно 30 т; сопротивление же атмосферы, по расчетам К. Э. Циолковского, при хорошо обтекаемой

форме ракеты, не будет превышать 100 кг. Проф. Оберт, немецкий теоретик звездоплавания, считает, что скорость ракеты, отсылаемой с Земли в бесконечность, уменьшается сопротивлением атмосферы всего на 200 м/с. Для ракет земного назначения, пролетающих в атмосфере значительную часть пути, величина сопротивления больше, чем для космических. В случае отсылки, например, ракеты на Луну (при выборе наиболее экономного проекта) максимальная скорость достигается на высоте 1700 км — далеко за пределами атмосферы. Плотный же слой атмосферы, толщиной 50 км, прорезается этой ракетой с довольно умеренной скоростью, которая лишь на уровне 50 км достигает 1,7 км/с — величины порядка скорости снаряда сверхдальнобойной артиллерии. Следовательно, нет места тем опасениям, которые нередко высказываются противниками звездоплавания, — что ракета не в силах пробить воздушный панцирь нашей планеты. Точно так же и при возвращении из космического перелета снова на Землю ракета вступит в плотную часть нашей атмосферы вовсе не со скоростью, близкой к скорости метеоров.

Присутствие атмосферы — отметим кстати — не только не является препятствием к осуществлению межпланетных перелетов, но, напротив, должно быть рассматриваемо как фактор, без которого они едва ли могли бы быть когда-нибудь реализованы. В самом деле: если атмосфера несколько увеличивает расход горючего при отлете с Земли, то зато она же создает огромную экономию горючего при возвращении ракеты из межпланетного рейса, давая возможность затормозить ракету почти без расхода горючего (подробнее об этом будет сказано в главе 15).

Часто задают вопрос: может ли ракета в мировом пространстве изменить направление своего полета? Безусловно, может. Для этого нужно лишь изменить направление газовой струи. Тогда с ракетой произойдет то же, что происходит с свободным телом, получившим удар вне центра его массы: ракета получит вращательное движение. Пользуясь этим, пилот будет иметь возможность менять по желанию курс своего ракетного корабля и даже повертывать его в безвоздушном пространстве на 180°.

ГЛАВА ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ

ЗВЕЗДНАЯ НАВИГАЦИЯ. СКОРОСТИ, ПУТИ, СРОКИ

Первое, что надо разрешить, обсуждая условия звездоплавания, — это вопрос скорости: какою скоростью необходимо снабдить отправляемый с Земли звездолет, чтобы он мог выполнить тот или иной межпланетный рейс? Некоторые из относящихся сюда числовых данных уже приводились ранее. Мы знаем, что круговой облет земного шара осуществляется при скорости (за пределами атмосферы) 7,9 км/с, а при затрате энергии, отвечающей скорости 11,2 км/с, звездолет совершенно освобождается от цепей земного тяготения. Земного — но не солнечного. Ракета, которая ринется с Земли с такой скоростью в направлении годового движения нашей планеты, превратится как бы в самостоятельную планету, кружащуюся не около Земли, а около Солнца со скоростью 30 км/с. Она сможет беспрепятственно удаляться от Земли по ее орбите, но не сможет еще уйти от власти Солнца, могучее притяжение которого будет удерживать ее на определенном расстоянии. Чтобы заставить ракету удалиться от Солнца, т. е. описывать более обширную орбиту, нужно увеличить ее скорость либо же с самого начала бросить ее в пространство с увеличенной скоростью. Если мы желаем, чтобы звездолет мог свободно перемещаться по всей планетной системе и даже вовсе покинуть царство нашего Солнца, мы должны снабдить его энергией, соответствующей скорости 16,7 км/с. При скорости промежуточной между 11,2 и 16,7 км/с ракета сможет долететь до орбиты любой из планет нашей системы. Какая же минимальная скорость нужна для достижения с Земли той или иной планеты? Расчет дает следующие цифры (подобные расчеты см. в Приложении 4):

Для достижения с Земли орбиты	Необходимая минимальная начальная скорость (км/с)
Меркурия	13,5
Венеры	11,4
Марса	11,6
Юпитера	14,2
Сатурна	15,2
Урана	15,9
Нептуна	16,2
Плутона	16,4

Здесь надо сделать два пояснения. Во-первых, слово «скорость» в этих случаях есть не столько мера быстроты передвижения, сколько мера запаса энергии звездолета. Во-вторых, не следует думать, что, покинув Землю с некоторою скоростью, звездолет сохраняет ее во все время перелета; нет, скорость в пути изменяется согласно второму закону Кеплера: звездолет движется тем медленнее, чем дальше уходит он от центра притяжения.

Будущему звездоплавателю придется отчаливать не только с Земли. В далеких странствованиях, посетив другие планеты, он должен будет взлетать на своем корабле с их поверхности. Какие понадобятся скорости для освобождения от их притяжения? Это можно вычислить, зная радиус планеты и напряжение тяжести на ее поверхности (см. Приложение 4).

Результаты вычислений даны в следующей табличке:

Планета	Необходимая начальная скорость (км/с)
Земля	11,2
Луна	2,4
Марс	5,0
Венера	10,3
Меркурий	3,7
Юпитер	60,0
Сатурн	35,0
Уран	22,0
Нептун	24,0
Плутон	4,9

Труднее всего было бы подняться с поверхности (фотосферы) Солнца, если бы это могло понадобиться: нужна скорость 618 км/с. За-

то с лунной поверхности можно отлететь при скорости всего 2,4 км/с, не слишком далекой от той, с какой снаряды покидали жерло пушки «Колоссаль» при бомбардировке Парижа с расстояния 120 км.

Небесные тела, от которых всего легче отчаливать космическому кораблю, — это астероиды и мелкие планетные спутники. Чтобы покинуть, например, поверхность одного из спутников Марса — самых крошечных из известных нам планетных лун, — достаточно было бы сообщить ракете начальную скорость всего лишь 20 м/с. Отсюда ясно, какое важное значение приобретут в будущем подобные миниатюрные небесные тела в качестве удобных пристаней для временных стоянок космических кораблей.

Зато высадка на Юпитер (и обратный взлет с него) совершенно неосуществимы при тех средствах, которые мы можем предвидеть. Действительно, для подъема с Юпитера нужна начальная скорость 60 км/с — в 12 раз большая, чем скорость вытекания газа в водородной ракете. Но если $\frac{v}{c} = 12$, то $\frac{M_t}{M_k} \approx 160\,000$ (см. уравнение ракеты). Устроить ракету в 160 тысяч раз более легкую, чем заключенный в ней запас горючего, конечно, немыслимо. Вообще, посещение больших планет — Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна — вопрос, не разрешенный современной теорией звездоплавания.

От скоростей перейдем к маршрутам путешествий и к их продолжительности. С путями следования космических кораблей дело обстоит довольно своеобразно. Казалось бы, в просторе межпланетных пустынь самый естественный и выгодный путь — прямая линия. Где, как не в мировом пространстве, целесообразен был бы тот примитивный способ решения дорожного вопроса, с помощью которого Николай I наметил некогда направление Николаевской железной дороги*, прокладывать пути по линейке? Между тем именно прямые направления явятся в звездной навигации редким исключением, правилом же будут пути кривые. Кратчайший в геометрическом смысле путь окажется в практике звездоплавания настолько невыгодным в смысле расходования горючего, что им совершенно невозможно будет воспользоваться.

Мы поймем происхождение этого парадокса, если вспомним, что ракета, покидающая земной шар по направлению радиуса земной орбиты, сохраняет и ту скорость, какую имеет земной шар, т. е. 30 км/с по направлению, перпендикулярному к радиусу. Если бы мы поже-

* С 1923 г. Октябрьская железная дорога. — *Примеч. ред.*

лали направить звездолет по кратчайшему пути на Марс в момент противостояния, то должны были бы прежде всего свести к нулю 30-километровую скорость звездолета по касательной к земной орбите. Для уничтожения этой скорости нет другого средства, как сообщить ракете такую же скорость в противоположном направлении. Значит, еще до начала собственно полета на Марс звездолет должен развить скорость 30 км/с, для чего при нефтяном горючем потребовался бы запас его в 1500 раз тяжелее самой ракеты. Уже и это совершенно неисполнимо — а ведь нужно еще иметь запас горючего для сообщения ракете значительной скорости по направлению к орбите Марса; и наконец, понадобится весьма много горючего для безопасного спуска на Марс, так как, приблизившись под прямым углом к его движению, звездолет должен приобрести ту скорость, с какою Марс движется по орбите (24 км/с). Общий итог так огромен, что неосуществимость подобного полета становится совершенно бесспорной.

Сходные затруднения представятся при полете по прямому пути и к другим планетам, безразлично — внешним или внутренним. Приходится поэтому отказаться от прямолинейных маршрутов и избрать иные пути. Как мореплаватели для передвижения парусных судов пользуются морскими и воздушными течениями, так звездоплаватели будут пользоваться притяжением Солнца, направляя корабли по путям, определенным законами небесной механики. А эти дороги — не прямые: естественный путь космического корабля — дуга эллипса, более или менее вытянутого. Как и всякое небесное тело, звездолет должен двигаться по коническому сечению.

Рассмотрим сначала путешествие на соседние с нами планеты — Марс и Венеру. Лунные маршруты сложнее, и о них мы поговорим особо.

Полет на Марс с наименьшим расходом энергии может быть осуществлен по эллиптическому пути, который охватывает земную орбиту и лежит внутри орбиты Марса, касаясь обеих орбит в начальной и конечной точках путешествия. Рисунок 30 поясняет сказанное: *T* — положение Земли; *M* — положение Марса; эллипс *TM* — путь перелета. Ракета должна покинуть земной шар с такой скоростью, какая необходима, чтобы, подчиняясь законам небесной механики, направиться

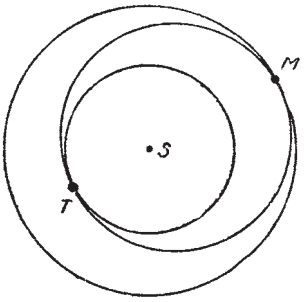


Рис. 30. Маршрут наивыгоднейшего перелета с Земли *(T)* на Марс *(M)*

по эллипсу *TM*. Первоначальный запас скорости донесет ракету до точки *M*, где (если надлежащим образом выбрать момент отправления) будет находиться Марс; обозрев Марс, не снижаясь на него, пассажиры умчатся в ракете по другой половине эллиптического пути к исходной точке *T*. Но найдут ли они здесь в момент прибытия родную планету? Нет, потому что все путешествие по такому маршруту займет 519 суток и Земля окажется далеко от своего прежнего положения.

Отсюда возникает необходимость выждать некоторый срок, пребывая в состоянии спутника Марса, прежде чем пуститься в обратный путь. По расчетам немецкого теоретика звездоплавания В. Гоманна, период выжидания при полете на Марс должен длиться 450 суток, так что все путешествие в оба конца отнимет 970 суток. Таков самый экономный, в смысле расхода горючего, маршрут. Сократить продолжительность возможно лишь за счет увеличения скорости, т. е. расхода горючего.

Для трехлетнего путешествия в мировом пространстве потребовалось бы прежде всего снабдить пассажиров огромным запасом пищи. Можно ли рассчитывать на изобретение в будущем каких-нибудь питательных пилюль, которые при ничтожном весе вполне насытят человека? Не входя в подробности, скажем прямо, что подобные мечты несбыточны. Ведь пища снабжает нас не только энергией, но и материей; пилюля не может содержать достаточно вещества для возмещения всех материальных потерь животного организма. «Покуда человек остается человеком, а природа, в которой мы живем, не перестает быть сама собой, мечтать о насыщении человека несколькими таблетками так же мало основательно, как верить, что кто-либо мог пять тысяч человек насытить тремя хлебами» (Б. Завадовский, «Может ли человек насытиться таблеткой?»). Минимальный вес суточного пищевого пайка на одного человека не может быть ниже 600 г. Это составляет при путешествии на Марс запас пищи свыше полутонны для каждого пассажира, а следовательно — много десятков тонн избыточного горючего.

Вообще, осуществление перелета на Марс встречает весьма серьезные затруднения, пути к разрешению которых в настоящее время еще не намечены.

Но как бы ни были впоследствии разрешены эти вопросы, лететь на Марс во всяком случае придется не по прямому пути в 60 миллионов километров, а по гораздо более длинному окружному пути, пользуясь даровою силою притяжения Солнца, нашего испытанного со-

юзника в работе на Земле. «При путешествии на Марс и обратно, — говорил немецкий теоретик звездоплавания И. Винклер, — тяготение является врагом в течение десяти минут, зато в течение ряда лет — нашим другом».

Подобным же образом можно заставить работать Солнце и при перелете на другую нашу соседку — Венеру. Здесь также надо избрать окружной путь, по эллипсу, который в этом случае будет касаться извне орбиты Венеры и изнутри — орбиты Земли. Путешествие в один конец по такому эллипсу продлится 147 с небольшим суток, а полный оборот — 295 суток. Возвращение же на Землю без расхода горючего возможно только через два с лишним года, после 470-суточного ожидания в качестве спутника Венеры.

Впрочем, немецким инженером Гоманном разработан проект более кратковременного путешествия к Венере (без высадки) с возвращением на Землю: при сравнительно небольшом дополнительном расходе горючего в пути общая длительность перелета может быть сведена к 1,6 года. Тем же исследователем предложен маршрут полуторагодового путешествия с *приближением* к Марсу и к Венере (не ближе 8 000 000 км). Другой исследователь этого вопроса, немецкий инженер Пирке, разработал маршруты, уменьшающие продолжительность перелета на Марс до 192 суток, а на Венеру — до 97 суток; но эти маршруты связаны с гораздо большим расходом горючего. При желании еще более ускорить путешествие на Венеру можно избрать путь по эллипсу, касающемуся орбит Земли и Меркурия. Этот маршрут отнял бы всего 64 дня, но, конечно, был бы еще менее экономичен.

Обратимся теперь к лунным путешествиям и рассмотрим два проекта: первый — полет на Луну с высадкой на ней; второй — вылет за лунную орбиту с целью обозрения недоступной для нас «задней» стороны ночного светила. (Читателю, вероятно, известно, что Луна, обходя вокруг Земли, обращена к ней все время одной и той же своей стороной; противоположной стороны нашего спутника мы видеть не можем, и о физическом ее устройстве нам ничего неизвестно.)

Полет на Луну с высадкой на нее может быть наиболее экономно осуществлен по тому плану, который предложен был еще Жюлем Верном. Ради сбережения горючего надо направить ракету сначала по вытянутому эллипсу (рис. 31), один фокус которого совпадает с центром Земли; самая удаленная от Земли точка этого эллипса находится в месте равного притяжения обоих небесных тел. (Для про-

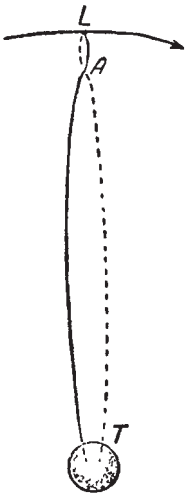


Рис. 31. Наивыгоднейший путь перелета с Земли *(T)* на Луну *(L)*. Путь перегибается в точке *(A)* равного притяжения

стоты мы считаем пока Луну неподвижной.) Путь по этому эллипсу в один конец, от Земли до точки *A*, ракета пролетит с запасом скорости, полученным при первоначальном горении, без дополнительного расхода горючего в дороге. Достигнув точки *A*, ракета, предоставленная самой себе, отправилась бы в обратный путь по другой половине эллипса. Но вмешательство пилота, пускающего на короткое время в действие взрывной механизм, сообщает ракете скорость такой величины и такого направления, что звездолет меняет курс: он следует по дуге другого, меньшего эллипса, которая и приводит его к поверхности Луны. Движение Луны по ее орбите вокруг Земли изменяет вид пути ракеты — но в общем он сохраняет S-образную форму с точкой перегиба на расстоянии 40 000 км от центра Луны.

Пополню схему некоторыми подробностями, основанными на моих расчетах (см. Приложение 4). Ракета поднимается с земной поверхности сначала с небольшой скоростью, которая по мере взлета все возрастает и достигает максимума — 9780 м/с относительно Земли — минут через 6 от начала полета. К этому моменту ракета оставит далеко позади себя всю толщу атмосферы, так как будет находиться на высоте около 1700 км. Плотную часть атмосферы ракета пролетит с умеренной скоростью, не превышающей 1,3 км/с (на высоте 30 км).

Отпадают поэтому опасения, что вследствие сопротивления атмосферы стенки звездолета расплавятся. Когда звездолет накопит скорость 9780 м/с, т. е. на высоте 1700 км, пилот прекращает работу ракетного мотора и предоставляет кораблю лететь по инерции, с постепенным уменьшением скорости под действием земного тяготения. Линии равного притяжения Землею и Луною звездолет достигает, таким образом, со скоростью, близкою к нулю. Далее идет уже падение на Луну. Приблизившись к ее поверхности до расстояния 90 км, ракета должна повернуться соплом к Луне и возобновить горение. Газы, вырываясь из сопла по направлению к Луне, замедляют своей реакцией стремительность падения и в течение одной минуты понижают его скорость до нуля.

Какова продолжительность этого путешествия? Вычисление дает следующий результат. От Земли до точки равного притяжения ракета будет взлетать 4,1 суток. Отсюда начнется падение на Луну. Если бы падение это совершалось только под действием притяжения Луны, оно длилось бы 1,4 суток (33,5 ч). Но ракета подвержена также притяжению Земли, замедляющему падение; расчет показывает, что земное притяжение должно удвоить продолжительность падения ракеты на Луну, так что общая длительность путешествия:

$$4{,}1 + 2{,}8 = 6{,}9 \text{ сут.}$$

Итак, перелет на Луну — если вести его самым экономным образом в смысле сбережения горючего — должен отнять около 7 суток. При этом из 7 суток путешествия ракета летит под напором газов всего лишь 7 мин, остальное же время — по инерции.

Если технические условия позволят не быть столь экономными в горючем, то срок путешествия на Луну можно будет сократить. Так, если отослать звездолет со скоростью — на высоте 1600 км – 10 км/с, он достигнет линии равного притяжения через 43 ч со скоростью 1500 м/с, а отсюда долетит до Луны за 6 ч, употребив на весь перелет только двое суток.

При первых полетах, однако, нельзя будет осуществить сразу спуск на лунную почву; придется лишь облететь вокруг Луны один или несколько раз на весьма близком расстоянии для тщательной рекогносцировки. Такой обследовательский круговой полет потребовал бы сравнительно небольшого дополнительного расхода горючего.

Проект полета за орбиту Луны для осмотра недоступной земному наблюдателю части ночного светила подробно разработан В. Гоманном в книге «Досягаемость небесных тел» (Берлин, 1925). Предлагаемый им маршрут изображен на рис. 32, где одновременные положения ракеты и Луны обозначены одинаковыми цифрами при буквах R (ракета) и L (Луна). Ракета покидает Землю в точке R_0 и, побывав в точках R_1, R_2, R_3, возвращается к исходной точке. Время отлета выбирается с таким расчетом, чтобы в продолжение всего путешествия ракета не приближалась

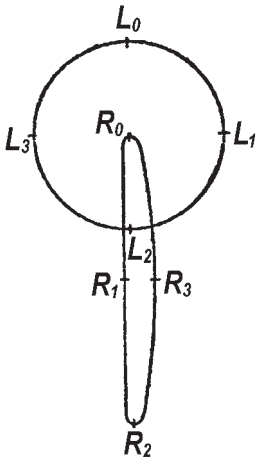


Рис. 32. Маршрут вылета за орбиту Луны по проекту Гоманна

к Луне больше чем на половину радиуса лунной орбиты; притяжение ракеты Луною никогда поэтому не будет превышать $^1/_{20}$ одновременного притяжения Земли и, следовательно, изменит давление ракеты весьма незначительно. Наблюдать «заднюю» сторону Луны (а это и является целью путешествия) можно будет из точки R_2, когда спутник наш находится в L_2. Конечно, момент отлета должен быть так выбран, чтобы в точке L_2 Луна была в фазе новолуния (тогда задняя ее сторона залита солнечным светом).

Таков предлагаемый Гоманном маршрут. Рассмотрим некоторые условия его осуществления. Ракета, покинув Землю со скоростью 11 200 м/с, достигает расстояния 40 000 км от поверхности Земли; к этому моменту скорость ракеты должна, как показывает расчет, понизиться до 4350 м/с. Гоманн вычислил, что если, находясь здесь, ракета увеличит горением всю скорость всего лишь на 110 м/с, то этого окажется достаточным, чтобы она направилась по эллипсу, отдаленнейший пункт которого R_2 лежит на расстоянии двойного радиуса лунной орбиты (800 000 км). Чтобы возвратиться к Земле после достижения этого крайнего пункта, ракета должна получить снова небольшую прибавку скорости (90 м/с). Значит, помимо начального взрывания, отправляющего ракету в ее межпланетный рейс, путешествие потребует еще два кратковременных взрывания в пути с небольшим расходом горючего. Продолжительность полета исчислена Гоманном в 30 суток. Пассажирам придется взять с собою, по расчету автора проекта, до 2600 т пороха и около 3 т необходимых припасов. Пользование вместо пороха бензином (и кислородом), как мы знаем из предыдущей главы, значительно уменьшило бы груз горючего.

Плавание по океану Вселенной потребует от пилота умения ориентироваться в мировом пространстве, т. е. определять положение ракетного корабля в каждый момент путешествия. Как это будет осуществляться? Как будет моряк Вселенной знать, что корабль идет правильным курсом, а не уклонился от предначертанного пути, не отстал, не залетел чересчур далеко вперед?

Ориентирование в мировом пространстве представляет, по существу, довольно сложную астрономическую задачу. Весь путь ракетного корабля вычислен заранее. Вместе с тем заранее определены для каждого момента путешествия: 1) угловая величина земного шара и той планеты, к которой звездолет направляется; 2) неподвижные звезды, возле которых Земля и планета назначения должны быть видимы. Во время полета пилот измеряет угловую величину земного шара и положение его между звездами. Если окажется, что видимые

размеры Земли больше предвычисленных, то это будет означать, что корабль недостаточно удалился от Земли, т. е. летит слишком медленно. Если Земля будет видна не возле тех звезд, которые должны окружать ее по расчету, то это даст указание на необходимость соответственно изменить направление полета. Ориентирование по небесным светилам облегчается тем, что за пределами атмосферы небо всегда чисто и *звезды видны даже при свете Солнца*.

Одного весьма важного вопроса — спуска — мы до сих пор пока не касались; спуск ракетного корабля на планету и затруднения, связанные с ним, будут попутно рассмотрены в дальнейших главах.

Многих интересует, во что обойдется сооружение и отправка звездолета на Луну. Хотя делать сколько-нибудь точные финансовые расчеты в этой области невозможно, приведу результат примерной калькуляции, выполненной австрийским исследователем вопросов звездоплавания Гвидо Пирке. Он полагает, что постройка и отправка на Луну первой пассажирской ракеты в 500 т весом обойдется в $3^1/_2$ миллиона марок, а вместе с предварительными опытами первый лунный перелет потребует расходов круглым числом — 10 миллионов марок.

ГЛАВА ПЯТНАДЦАТАЯ

ПРОЕКТЫ К. Э. ЦИОЛКОВСКОГО

После этих общих замечаний перейдем к рассмотрению образца конкретного проекта межпланетного перелета, избрав для этого план нашего соотечественника К. Э. Циолковского, теоретические изыскания которого опередили исследования других деятелей на том же поприще не только по времени, но зачастую и по полноте и разносторонности.

Изложить подробно содержание его интересных исследований — задача научного сочинения, а не популярной книги. Мы можем развернуть перед читателем только общий план завоеваний мирового пространства, как он вырисовывается в последних работах К. Э. Циолковского*. Этот очерк поможет читателю если не представить себе, то, по крайней мере, ощутить основную линию грядущего развития заатмосферного летания**.

Отлет межпланетной ракеты с Земли состоится где-нибудь в высокой горной местности. Должна быть подготовлена прямая ровная дорога для разбега, идущая наклонно вверх под углом 10–12°. Ракета помещается на самодвижущемся экипаже — например, на автомобиле, мчащемся с наибольшею возможною для него скоростью. Получив таким образом начальный разбег, ракета начинает свой самостоятельный восходящий полет под действием взрывающихся в ней горючих веществ. По мере возрастания скорости крутизна взлета постепенно уменьшается, путь ракеты становится все более пологим. Вынырнув за атмосферу, аппарат принимает горизонтальное направление и начинает кружиться около земного шара на расстоянии 1–2 тысяч километров от его поверхности, наподобие спутника.

---

* Главным образом в книге «Исследование мировых пространств реактивными приборами» (Калуга, 1926).

** Дальнейший текст этой главы был просмотрен и отчасти дополнен К. Э. Циолковским.

По законам небесной механики это возможно — как мы уже говорили — при скорости 8 км/с. Скорость эта достигается постепенно: взрывание регулируют так, чтобы секундное ускорение не слишком превышало привычное нам ускорение земной тяжести (10 м/с).

Благодаря этим предосторожностям искусственная тяжесть, возникающая в ракете при взрывании, не представляет опасности для пассажиров.

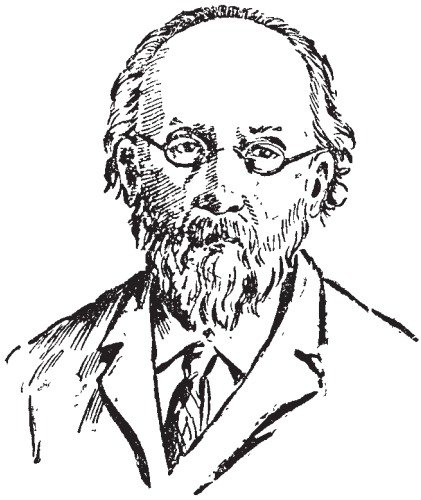


Рис. 33. Константин Эдуардович Циолковский (1857—1935)

Так достигается первый и самый трудный этап межпланетного путешествия — превращение ракеты в спутник Земли. Чтобы заставить теперь ракету удалиться от Земли на расстояние Луны или еще далее — в другие зоны нашей Солнечной системы, потребуется лишь добавочным взрыванием увеличить в $1^1/_2$–2 раза скорость той же ракеты. «Так мы можем, — пишет К. Э. Циолковский, — добраться до астероидов, маленьких планеток, спуск на которые, по малой на них тяжести, не представляет трудности. Достигнув этих крохотных небесных тел (от 400 до 10 и менее километров в диаметре), мы получим обилие опорного материала для космических путешествий...»

Остановимся подробнее на этом первом и решающем этапе межпланетного путешествия, обстоятельно рассмотренном в исследовании К. Э. Циолковского.

Мы сказали раньше, что начальный разбег сообщается ракете автомобилем. Но для этой цели пригодны вообще любые транспортные средства: паровоз, пароход, аэроплан, дирижабль. Годилась бы даже пушка, пороховая или электромагнитная, если бы необходимость делать ее чрезвычайно длинной (ради ослабления искусственной тяжести в снаряде) не увеличивала чрезмерно ее стоимости. Однако всеми перечисленными средствами (кроме пушки) нельзя надеяться достичь скорости больше 700 км/ч (200 м/с). Причина та, что окружная скорость на ободе колеса или на конечных точках пропеллера не должна превосходить и 200 м/с — иначе вращающемуся

телу угрожает разрыв. Между тем чрезвычайно важно довести скорость ракеты до возможно большей величины еще на Земле, при первоначальном разбеге, так как это создает весьма заметную экономию в количестве запасаемых ракетой веществ для взрывания.

Взамен автомобиля или какого-нибудь другого колесного экипажа Циолковский предлагает воспользоваться для разбега опять-таки ракетой. Эту вспомогательную ракету он называет земной — в отличие от космической, предназначенной для межпланетного рейса. Ракета космическая должна быть временно помещена внутрь ракеты земной, которая, не отрываясь от почвы, сообщит ей надлежащую скорость и в нужный момент освободит ее для самостоятельного полета в мировое пространство (рис. 34). Земная ракета под действием взрывания будет стремительно скользить без колес по особым, обильно смазанным рельсам.

Потеря энергии на трение (ослабленное смазкой) сильно уменьшается при весьма больших скоростях. Что же касается сопротивления воздуха, то его можно довести до минимальной величины, придав ракете весьма удлиненную, легко обтекаемую воздухом форму. Если бы возможно было построить ракету в сто раз длиннее ее толщины, сопротивление воздуха было бы настолько ничтожно, что им можно было бы и вовсе пренебречь. Длину земной ракеты нельзя, однако, практически делать свыше 100 м; а так как толщина ее должна быть не меньше нескольких метров, то ракета окажется всего в 20–30 раз длиннее своего поперечника. Впрочем, и при таких условиях общее сопротивление движению земной ракеты будет составлять всего несколько процентов энергии ее движения.

Итак, открытая спереди земная ракета с вложенной в нее космической стремительно движется по подготовленной для нее дороге.

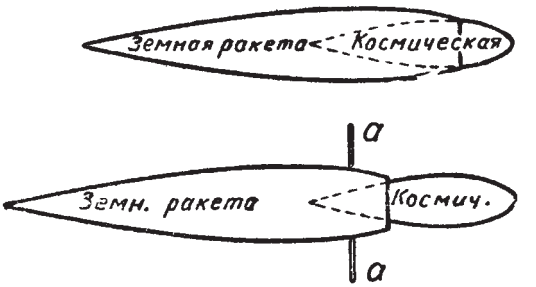


Рис. 34. Схема ракет Циолковского — земной и космической — до разъединения и (внизу) в момент разъединения

Наступает момент, когда надо освободить космическую ракету и пустить ее в мировое пространство. Каким образом это сделать?

Циолковский указывает весьма простое средство: затормозить земную ракету — космическая вырвется тогда из нее по инерции и, при одновременном пуске взрывного механизма, начнет самостоятельно двигаться с возрастающей скоростью. Торможение же земной ракеты достигается просто тем, что конечный участок дороги оставляют несмазанным: увеличенное трение замедлит и наконец совсем прекратит движение вспомогательной ракеты без добавочного расхода энергии. Еще лучший способ торможения состоит в том, что из земной ракеты выдвигаются перпендикулярные к ней тормозящие планы: сопротивление им воздуха при большой скорости громадно, и ракета скоро остановится. Тому же способствует открытая тупизна передней части ракеты. Использование земной ракеты для сообщения космической ракете начальной скорости, как мы уже заметили, ощутительно разгружает этот небесный корабль: оно освобождает его от необходимости нести с собою весьма большой запас горючего.

Мы знаем, что для определения солнечного притяжения и, следовательно, для свободных полетов во всей планетной системе ракета должна обладать скоростью около 17 км/с. Чтобы неподвижная ракета приобрела такую скорость, необходимо, в случае горения водорода, взять запас вещества для взрывания раз в 30 (а для ракеты с нефтью — в 70 раз) больше прочего веса ракеты. Между тем, если космическая ракета уже приобрела от разбега земной ракеты скорость 5 км/с, указанное отношение уменьшается втрое; запас веществ для взрывания (водорода и кислорода) должен быть только в 10 раз тяжелее незаряженной ракеты. Для получения скорости 5 км/с нужен для земной ракеты путь по Земле в 25 км при ускорении 500 м/с^2. Тяжесть в ракете увеличивается при этом в 50 раз (500 : 10); пассажиры на это время должны быть погружены в воду — иначе они едва ли перенесут такую усиленную тяжесть. Вообще, получение на Земле таких скоростей встретит много затруднений. Однако можно ограничиться и меньшей скоростью.

Чтобы покончить с *земной* ракетой, приведем еще несколько ориентирующих цифр. Вес ее должен быть около 50 т, из которых тонн 40 приходится на вещества для горения вместе с вложенной в нее 10-тонной космической ракетой, вполне снаряженная земная ракета будет весить тонн 60. Впрочем, земная ракета может устраиваться и меньшего веса, но тогда выгода будет менее значительна. Продолжительность разбега зависит от длины пути. Взрывание ведется

таким темпом, чтобы искусственная тяжесть, обусловленная нарастанием скорости, была весьма невелика — от 0,1 земной до, в крайнем случае, 10-кратной. При ускорении, значительно большем земного, пассажирам необходимо будет, по мнению Циолковского, погружаться в ванну для избежания вредных последствий усиленной тяжести. При ускорении же не более 30 м/с^2 искусственная тяжесть не превосходит степени, безвредно переносимой человеком. Такой же безопасной искусственной тяжести будут, конечно, подвержены

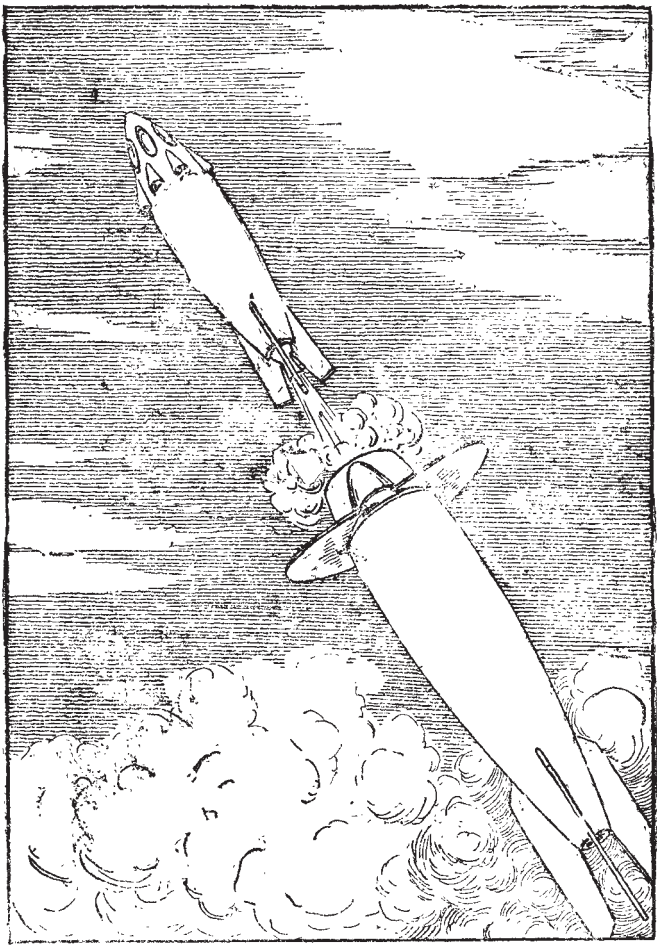


Рис. 35. Ракеты Циолковского в полете (фантастический рисунок)

и пассажиры, находящиеся в космической ракете. Гораздо сильнее искусственная тяжесть, порождаемая стремительным *торможением* земной ракеты на сравнительно коротком пути. По своей величине она заметно опаснее для нашего организма; поэтому необходимо устроить так, чтобы управление взрыванием в земной ракете осуществлялось автоматическим путем, без непосредственного участия человека. Пассажирам же космической ракеты это торможение не может причинить вреда, так как в первый же момент торможения они, нисколько не уменьшая достаточной скорости, уже покинут в своем снаряде земную ракету.

Ракета *космическая*, предназначенная для межпланетных полетов, должна иметь сравнительно небольшие размеры. По Циолковскому, ее длина 10–20 м, поперечник 1–2 м. Для успешного планирования при спуске на Землю или на другие планеты понадобится, быть может, соединять вместе несколько таких сигарообразных ракет бок о бок. Оболочка может быть из стали (вольфрамовая, хромовая или марганцевая сталь) умеренной толщины. По расчетам Циолковского, оболочка ракеты в 100 м^3 может весить меньше тонны (650 кг).

В качестве горючего вещества можно будет, по всей вероятности, обойтись нефтью, как веществом недорогим и дающим газообразные продукты горения, вытекающие из трубы с довольно значительною скоростью — около 4 км/с. Конечно, гораздо выгоднее взрывать не нефть, а чистый жидкий водород (скорость отбрасываемых продуктов горения — до 5 км/с), но это вещество довольно дорогое. Необходимый для горения и дыхания кислород берется в сжиженном виде. Предпочтение, оказываемое жидкостям перед сильно сжатыми газами, вполне понятно. Сжатые газы необходимо было бы хранить в герметических толстостенных резервуарах, масса которых в несколько раз превышает массу их содержимого; запасать кислород в таком виде — значило бы обременять ракету мертвым грузом, а мы знаем, как невыгоден для межпланетной ракеты каждый лишний килограмм мертвой массы. Сжиженный же газ оказывает на стенки сосуда сравнительно ничтожное давление (если хранить его, как обычно и делают, в открытом резервуаре). Низкая температура жидкого кислорода — около минус 180 °С — может быть использована для непрерывного охлаждения накаленных частей взрывной трубы.

Одна из самых ответственных частей ракеты — взрывная труба (дюза). В космической ракете Циолковского она должна иметь около 10 м в длину и 8 см в узкой части; вес ее около 30 кг. Горючее

и кислород накачиваются в ее узкую часть мотором аэропланного типа мощностью до 100 л. с. Температура в начале трубы доходит до 3000 °С, но постепенно падает по мере приближения к открытому концу. Наклонная часть трубы, как мы уже говорили, охлаждается жидким кислородом. Труба имеет коническую форму с углом раструба не больше 30°; это во много раз сокращает длину трубы при хорошем использовании теплоты горения.

Может показаться странным, что космическая ракета, предназначенная для движения в пустоте мирового пространства, будет снабжена рулями: горизонтальным рулем высоты, отвесным рулем направления и рулем боковой устойчивости. Но не следует упускать из виду, во-первых, того, что ракете при спуске на Землю придется планировать в атмосфере без взрывания, подобно аэроплану, а во-вторых, что рули понадобятся и вне атмосферы, в пустоте, для управления ракетой: быстрый поток вытекающих из трубы газов, встречая руль, уклоняется в сторону, вызывая тем самым поворот ракеты. Поэтому рули помещаются непосредственно у выходного отверстия взрывной трубы.

Излишне перечислять все те приспособления, которыми необходимо будет снабдить пассажирскую каюту. Романисты, мечтавшие о межпланетных перелетах, достаточно писали об этом и в общем — довольно правильно. Окна из кварца с предохранительным слоем обыкновенного стекла соединят прочность с защитой пассажиров от ультрафиолетовых лучей Солнца и дадут им возможность обозревать окрестности и ориентироваться при управлении ракетой. Вот при каких условиях будут отправляться космические дирижабли в свой межпланетный рейс. Первый этап — кружение около земного шара наподобие его спутника. Второй — странствование в отдаленные зоны нашей Солнечной системы, к другим планетным мирам. То и другое нами уже рассмотрено. Следующий этап — спуск на планету — представляет гораздо больше затруднений, чем может казаться с первого взгляда. Ракета мчится с космическою скоростью; пристать прямо к планете, которая движется в другом направлении и с другой скоростью, — значит подвергнуть ракету сокрушительному удару и неизбежной гибели. Как избегнуть удара, как уменьшить скорость настолько, чтобы возможен был безопасный спуск на планету? Не забудем, что то же затруднение возникает при возвращении на нашу родную планету. Необходимо изыскать средства его преодолеть.

Здесь есть два пути. Первый — тот, к которому прибегает машинист, желающий быстро остановить мчащийся паровоз: он дает «контрпар», т. е. сообщает машине обратный ход. Ракета тоже может

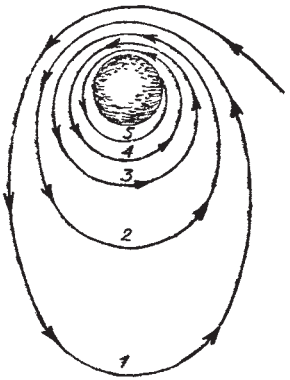


Рис. 36. Спиральный путь ракетного корабля, тормозящего о земную атмосферу при возвращении из межпланетного полета

«дать контрпар», повернувшись отверстием трубы к планете и пустив в действие взрывание. Новая скорость, имеющая направление, обратное существующей, будет отниматься от последней и постепенно сведет ее к нулю (конечно, лишь по отношению к планете). Это приводит, однако, к довольно безнадежным выводам. Если для отправления ракеты в путь понадобилось сжечь, например, такое количество взрывчатых веществ, масса которого составляла 0,9 массы ракеты, то, предполагая, что спуск состоится на Землю или на планету с равной силой тяжести (например, на Венеру), для остановки придется расходовать еще 0,9 остатка, а в оба раза $0,9 + 0,1 \times 0,9 = 0,99$ всей его массы. Остается всего 1% первоначальной массы. Надо, значит, устроить ракету так, чтобы масса ее оболочки составляла не более 1% массы снаряженной ракеты. Это уже достаточно трудно — чтобы не сказать невозможно, — а ведь понадобится еще снова взлететь с посещенной планеты, истратив опять 0,9 оставшейся массы ракеты, да еще опуститься на земной шар с новым расходованием 0,9 остатка. В конечном итоге из 10 000 кг массы звездолета, отправившегося в межпланетный рейс, возвратился бы всего 1 кг...

Столь безотрадный вывод лишил бы нас всякой надежды на посещение крупных планет, если бы как раз эти планеты не были окружены атмосферой, которою можно воспользоваться в качестве своего рода воздушного тормоза. Тут мы подходим ко второму средству уменьшения скорости межпланетной ракеты. По проекту Циолковского, ракета может описывать постепенно суживающуюся спираль вокруг планеты, прорезывая всякий раз часть ее атмосферы и теряя поэтому с каждым новым оборотом некоторую долю своей скорости. Достаточно уменьшив стремительность движения, ракета совершит планирующий спуск на поверхность планеты, избрав для большей безопасности местом спуска не сушу, а море. Замечательно, что ту же идею об использовании тормозящего действия атмосферы высказал и подробно разработал независимо от Циолковского (хотя и позже него) немецкий исследователь межпланетных полетов инженер

В. Гоманн. Однако сказанное лишь облегчает решение, но не решает проблемы высадки на планеты, особенно большие, с обратным подъемом. Это, в сущности, один из неразрешенных пока даже в теории вопросов звездоплавания.

Такова в главнейших своих очертаниях картина завоевания мирового пространства, рисующаяся нашему исследователю в дали будущего. Практика, без сомнения, внесет в нее значительные перемены. Не следует поэтому придавать абсолютного значения набросанному здесь очерку. Это лишь предварительный, ориентирующий план, с которым можно приступить к реальным достижениям. «Никогда не претендовал я, — пишет Циолковский, — на полное решение вопроса. Сначала неизбежно идут: мысль, фантазия, сказка. За ними шествует научный расчет. И уже в конце концов исполнение венчает мысль. Мои расчеты о космических путешествиях относятся к средней фазе творчества. Более чем кто-нибудь я понимаю бездну, разделяющую идею от ее осуществления, так как в течение моей жизни я не только мыслил и вычислял, но и исполнял, работая также руками. Однако нельзя не быть идее: исполнению предшествует мысль, точному расчету — фантазия».

К подготовительным опытам Циолковский считает возможным приступить теперь же, не откладывая их на неопределенное время; описанию таких работ, расчищающих путь к дальнейшим шагам, посвящен его краткий очерк «Космическая ракета. Опытная подготовка».

ГЛАВА ШЕСТНАДЦАТАЯ

ИСКУССТВЕННАЯ ЛУНА. ВНЕЗЕМНАЯ СТАНЦИЯ

Мы переходим сейчас к рассмотрению смелого проекта, который неподготовленному человеку покажется, вероятно, чересчур фантастическим, но который с логической необходимостью вытекает из современных звездоплавательных планов. Речь пойдет ни много ни мало о создании искусственного спутника Земли, который служил бы отправной станцией для дальних космических путешествий. Устройство такой внеземной станции настолько облегчает межпланетные полеты, что развитие звездоплавания едва ли сможет пройти мимо этого необходимого этапа.

В самом деле: мы видели, какие значительные количества горючего должна брать с собою космическая ракета, чтобы только отправиться в мировое пространство. Запасы эти становятся огромными, когда мы желаем так снарядить звездолет, чтобы он мог возвратиться на Землю; о чудовищных запасах горючего, необходимых для полета с *высадкой на планете*, мы уже не говорим. Но это — при условии, что отлет состоится непосредственно с земной поверхности. Дело существенно меняется, если звездолет отправляется в космический рейс не с Земли, а с внеземной станции, со спутника, свободно обращающегося вокруг Земли хотя бы на незначительном расстоянии (конечно, за пределами атмосферы).

Возьмем частный пример. Мы желаем отправить нефтяную ракету в рекогносцировочный полет к лунной орбите и обратно. Для этого понадобятся — при отправлении *непосредственно с Земли*: начальная скорость около 11 км/с и запас горючего (нефти и жидкого кислорода) примерно в 120 раз тяжелее незаряженной ракеты. Теперь вообразим, что отправление происходит не с Земли, а с искусственного спутника ее, кружащегося на расстоянии 40 000 км от земного центра.

Тогда для такого же полета цифры получаются совершенно иные*: начальная скорость (относительно станции) всего один километр в секунду и запас горючего, составляющий менее половины веса незаряженной ракеты. Разница огромная! Если мы не можем — и едва ли когда-нибудь сможем — соорудить звездолет, который был бы в сотню раз легче своего горючего груза, то вполне можем построить такой, который вдвое тяжелее этого груза. Для прочих межпланетных рейсов получаются сходные соотношения.

Отсюда ясны те перспективы, которые открываются для звездоплавания с созданием внеземной станции. Идея эта впервые высказана была Циолковским и настойчиво поддерживается теперь немецкими теоретиками звездоплавания (Оберт, Пирке). Искусственная луна будет состоять, конечно, не из горных пород, как естественные небесные тела; это будет — подобно всем созданиям современной техники — металлическая конструкция. Она составится из частей ракет, последовательно пущенных в круговой полет около Земли и собранных в одно целое. Нам известно уже, что подобный круговой полет не должен постоянно поддерживаться расходом горючего: искусственная луна будет обращаться как естественная — по законам Кеплера и Ньютона.

Условия жизни на этой звездной базе — вернее, внутри ее — будут совершенно своеобразны, напоминая собою отчасти режим подводной лодки. Однако в отличие от подводного судна здесь можно будет широко пользоваться даровой энергией солнечных лучей (сквозь стеклянные и кварцевые окна). Вполне осуществимо при подобных условиях выращивание растений, восполняющих своею деятельностью убыль кислорода от дыхания людей и вообще создающих в миниатюре тот круговорот материи и энергии, который мы наблюдаем в земной природе. Полное отсутствие тяжести наложит на этот мирок необычный, поистине феерический отпечаток (см. далее, глава 19).

Обстановку жизни в подобном межпланетном вокзале Циолковский рисует следующими чертами: «Нужны (на станции) особые жилища — безопасные, светлые, с желаемой температурой, с возобновляющимся кислородом, с постоянным притоком пищи, с удобствами для жизни и работы. Эти жилища и все принадлежности для них должны доставляться ракетами с Земли в компактном виде, разниматься и собираться в пространстве, по прибытии на место. Жилище должно быть непроницаемо для газов и доступно для лучей света.

* Расчеты приведены в Приложениях.

Работы всякого рода тут удобнее производить, чем на Земле. Во-первых, потому, что сооружения могут быть неограниченно велики при самом слабом материале — тяжесть их не разрушит, так как ее тут нет. Во-вторых, потому, что человек здесь в состоянии работать при всяком положении, нет ни верха, ни низа, упасть никуда нельзя. Перемещаются все вещи при малейшем усилии, независимо от их массы и размера. Транспорт буквально ничего не стоит...»

Существует уже конструктивный эскиз подобной внеземной станции, распланированной на три корпуса: установку с солнечным двигателем, рабочую мастерскую и жилое помещение (обеспеченное, благодаря вращению, искусственной тяжестью). Проект этот разработан в немецкой книге Ноордунта «Проблема путешествия в мировом пространстве».

Ограничимся этими замечаниями и перейдем к астрономическим элементам искусственного спутника. Он будет обходить кругом земного шара в некоторый промежуток времени, определяемый расстоянием этого спутника от центра Земли (3-й закон Кеплера). Если внеземная станция будет устроена на расстоянии одного земного поперечника от поверхности Земли, то период обращения составит всего $7^1/_3$ ч; станция будет обгонять Землю в ее суточном движении, восходить на западе и закатываться на востоке. Можно устроить станцию и на таком расстоянии, чтобы она обходила Землю ровно за 24 ч. Это осуществится при расстоянии 6,66 земного радиуса от центра Земли (около 35 000 км от земной поверхности). Такая искусственная луна будет вечно стоять в зените одного определенного места земного экватора — большое удобство для межпланетного вокзала. Станция окажется тогда словно на вершине невидимой и неосязаемой горы в 35 000 км высоты. С реальной вершины этой незримой горы и будут отправляться в межпланетное путешествие звездолеты дальнего следования, возобновив здесь запасы своего горючего, израсходованного на пути с Земли.

Отправление, как мы уже говорили, будет легкое. Разорвать цепь земного тяготения на такой высоте в $6{,}66^2$, т. е. в 44 раза легче, чем на земной поверхности.

Кроме того, сама станция обладает уже круговою секундною скоростью 3,1 км и, чтобы превратить круг в параболу, понадобится лишь сравнительно умеренная добавочная скорость в 1,3 км/с. Выгоды возрастут, если станция будет устроена на еще меньшем расстоянии, возможно ближе к земной поверхности.

Однако самое сооружение внеземной станции и достижение ее с Земли представит огромные трудности, несмотря на ее близость к Земле. Чтобы достичь такого расстояния от Земли и начать вечно обращаться здесь около земного шара, ракета должна быть отправлена со скоростью $10^1/_2$ км/с. Соответствующее отношение массы заряженной нефтяной ракеты к незаряженной равно 13,5. Отношение это надо увеличить до 15, чтобы ракета могла дополнительным взрыванием превратить свой путь в круговой, т. е. войти в состав внеземной станции.

Мы видим отсюда, что сооружение внеземной станции — дело хотя и трудное, но все же легче осуществимое, чем непосредственное отправление звездолета в межпланетный рейс с обратным возвращением. (Ракеты со снаряжением для станции удастся со временем, быть может, отправлять и без пилота.)

Вот почему создание внеземной станции явится неизбежным этапом в эволюции звездоплавания. Центр проблемы переносится сюда. Все дело — в одолении этого этапа. Если такая задача будет разрешена, остальное станет сравнительно легким делом. Внеземная база для межпланетных перелетов — одна из главнейших технико-астрономических задач, стоящих перед деятелями звездоплавания.

ГЛАВА СЕМНАДЦАТАЯ

ОПЫТЫ С НОВЫМИ РАКЕТАМИ

От теоретических рассуждений перейдем наконец к практике. Достигнуто ли что-нибудь фактически в области осуществления смелых замыслов теоретиков звездоплавания? Да, достигнуто, — немногое, правда, но все же начальные практические шаги на пути к завоеванию мирового пространства уже сделаны, и притом вполне успешно.

Первые экспериментальные работы относились еще к пороховым ракетам, которые должны были служить целям звездоплавания. В 1919 г. профессор физики Вустерского университета (Калифорния) Роберт Годдард опубликовал отчет о своих исследованиях ракет. Работы его открывают собою новую главу в истории ракетного летания. Американский ученый добился того, что устроенные им ракеты использовали не 2% энергии пороха, как все прежние, а в 31 раз больше — 62%.

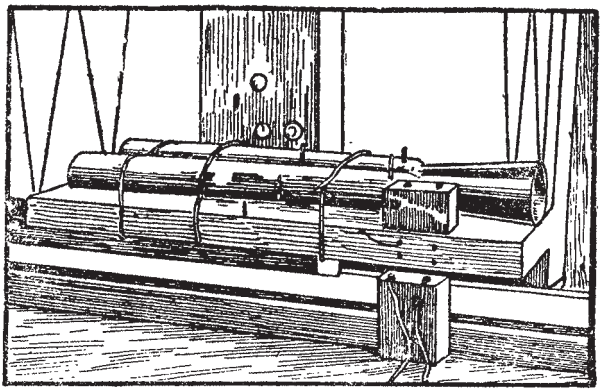


Рис. 37. Приспособление Годдарда для исследования работы небольшой пороховой ракеты

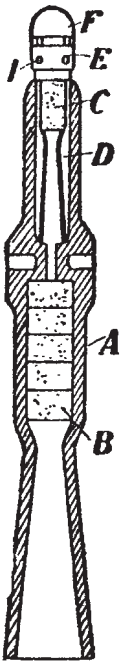


Рис. 38. Одна из составных ракет Годдарда в разрезе: *F* — головная часть, вращающаяся благодаря вытеканию газов из косых отверстий *I* и *E*, *C* — заряд меньшей ракеты, *D* — ее дюза, *A* — большая ракета с зарядом *B* и дюзой



Рис. 39. Когда мальчик, стоя на роликах, отбрасывает гири назад, тело его увлекается вперед

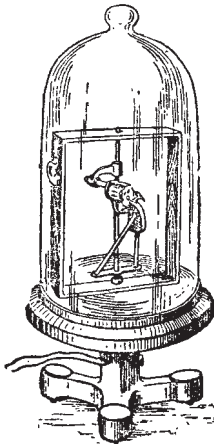


Рис. 40. Опыт Годдарда с выстрелом в безвоздушном пространстве

Благодаря целесообразно подобранной форме ракетного сопла пороховые газы, вытекающие из ракеты, имели скорость 2300–2400 м/с. Материалом для сопла служила хромоникелевая сталь. Ракета получила устойчивость в полете благодаря вращающейся головке, которая приводилась в движение струями газов, вытекающих из ее косых каналов; головка ракеты играла роль волчка, который, как известно, стремится сохранить неизменным положение оси своего вращения.

Третье усовершенствование, введенное Годдардом в устройство ракет, заключается в осуществлении идеи ступенчатости. Сущность ее состоит в том, что ракета делается составной из нескольких отдельных ракет; зажигаются они — конечно автоматически — одна после другой, по мере расходования заряда предыдущей; отработавшие ракеты автоматически же сбрасываются, чтобы не служить мертвым грузом.

О некоторых результатах своих опытных работ проф. Годдард рассказал в популярной заметке, напечатанной им в одном американском журнале. Читателю небезынтересно будет познакомиться с ней.

ПОЧЕМУ РАКЕТА ЛЕТИТ В ПУСТОТЕ
(«Popular Science Monthly», 1924)

«При обсуждении проекта ракеты, предназначенной для высоких подъемов, немало сомнений вызывает возможность для ракеты двигаться в почти пустом пространстве: возражают, что извергаемым газам в пустоте „не от чего оттолкнуться“. Однако, вопреки распространенному мнению, взрывание в пустоте производит на ракету большее действие, нежели в воздухе. А если бы воздух был значительно плотнее, то взрыв не давал бы и вовсе никакого эффекта. На самом деле, единственное, что заставляет ракету двигаться вперед, — это газы, вытекающие из ее трубки. Если мальчик, стоя на роликовых коньках, бросит какой-нибудь груз назад, он будет сам откинут вперед; и чем быстрее брошен груз, тем больший толчок вперед испытает бросающий. В пустоте газы из ракеты вытекают скорее, и потому ракета в пустом пространстве должна двигаться еще быстрее, чем в воздухе. Известно, что при взрыве патрона в револьвере происходит отдача. В аппарате, изображенном на рис. 40, разряжается холостой патрон револьвера, могущего вращаться вокруг оси: под колоколом воздушного насоса можно убедиться, что отдача происходит в пустоте. Когда же патрон взрывается в пространстве, где воздух настолько сгущен, что пороховые газы вытекать не могут, револьвер не испытывает отдачи.

Чтобы подтвердить сказанное, я зажигал ракету так, что газы устремлялись в резервуар, где воздух разрежен в 1500 раз. Ракета *C* (рис. 41) отягчена свинцовой муфтой *L* и подвешена к пружине *S*. При взрыве пороха в ракете газы вытекают вниз, а сама ракета отбрасывается вверх, отмечая величину поднятия чертой на закопченной стеклянной пластинке *G*. По величине поднятия

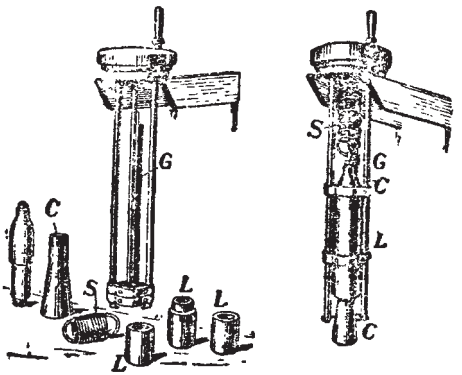


Рис. 41. Испытательная ракета Годдарда в разобранном и собранном виде



Рис. 42. Трубка, куда вырывались газы ракет при опытах Годдарда

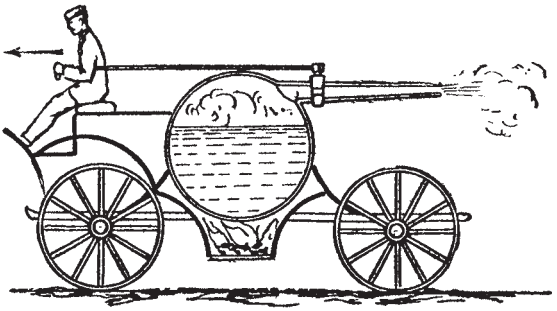


Рис. 43. Паровая самодвижующаяся повозка — прообраз ракетного автомобиля (проект, приписываемый Ньютону)

ракеты можно определить силу, приводящую ее в движение. Газы врываются в пустую кольцевую трубку (рис. 42).

Результаты 50 опытов показали, что сила, увлекающая ракету в пустоте, на 20% больше, чем в воздухе обычной плотности».

После этих остроумно выполненных опытов не может оставаться никаких сомнений в том, что газы ракеты способны двигать ее даже в совершенно пустом пространстве. Наряду с экспериментальными работами Годдард разработал и теорию ракетного движения, независимо от предшествовавших исследований Циолковского, с которыми американский ученый не был знаком. Он ясно сознавал, каким могущественным орудием для исследования Вселенной может со временем служить ракета, и писал о проекте посылки ракеты на Луну. Это дало повод в 1924 г. американской печати сообщить сенсационное

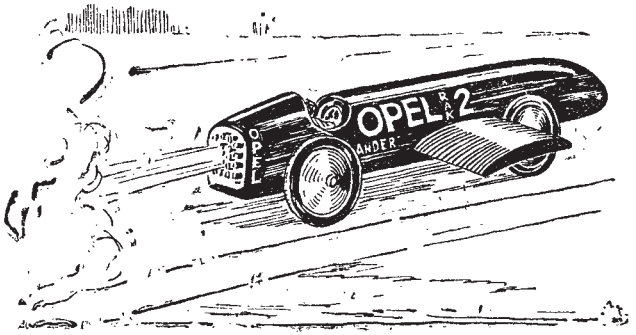


Рис. 44. Ракетный автомобиль при старте. Боковые крылья служат для прижимания корпуса к земле давлением воздуха

известие о том, что Годдард назначил летом упомянутого года отправление первой лунной ракеты. На мой телеграфный запрос по этому поводу Годдард ответил, что недостаток средств лишает его возможности осуществить подобные, далеко идущие замыслы. Впрочем, шумиха, поднятая прессой, имела и свою хорошую сторону, так как привлекла внимание широких масс к проблемам звездоплавания.

Работы Годдарда не остановились на этом этапе. Он перешел к экспериментированию над ракетами с жидким зарядом и достиг здесь безусловного успеха. В июле 1929 г. им была пущена — впервые

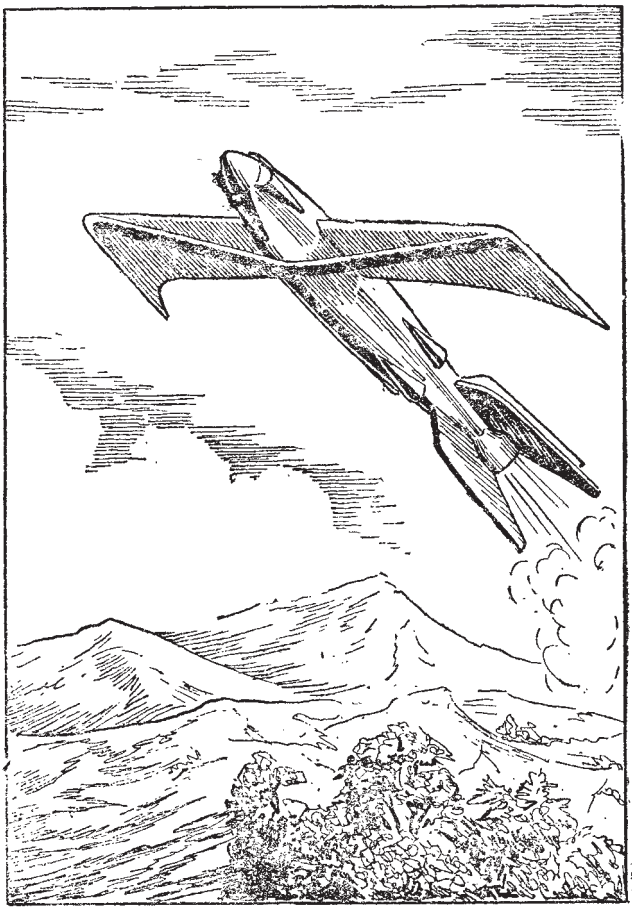


Рис. 45. Ракетоплан (крылатая ракета) близкого будущего

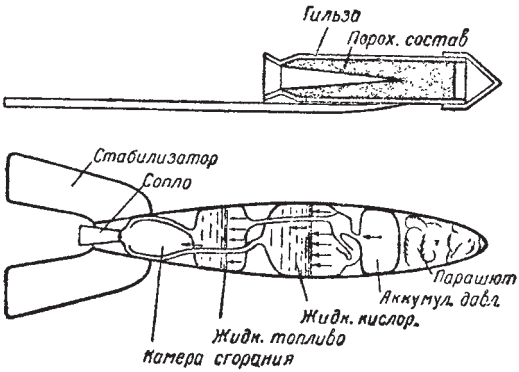


Рис. 46. Сравнительная схема фейерверочной и современной ракеты на жидком горючем (по М. К. Тихонравову)

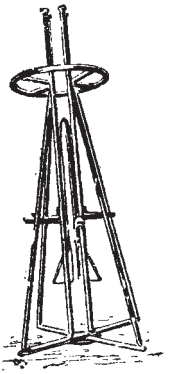


Рис. 47. Стартовое приспособление на Берлинском ракетодроме

в истории ракетного дела — ракета, заряженная жидким горючим. Она имела в длину около 3 м, а в поперечнике — 80 см. Подожженная ракета ринулась ввысь с таким оглушительным грохотом, что внушила уверенность в катастрофической неудаче опыта. Газеты — при полном молчании изобретателя — оповестили мир, что ракета Годдарда взорвалась в момент отлета. Лишь спустя некоторое время американский физик счел возможным объявить, что испытание ракеты прошло вполне успешно: механизм работал исправно, горение — несмотря на громоподобный шум — протекало нормально, и парашют, автоматически отделившийся от ракеты в момент достижения ею наибольшей высоты (300 м), благополучно доставил на Землю те приборы, которые несла с собой ракета (в их числе фотоаппарат и барометр-самописец). Но каково было устройство его ракеты, он не сообщает. Далее он говорит:

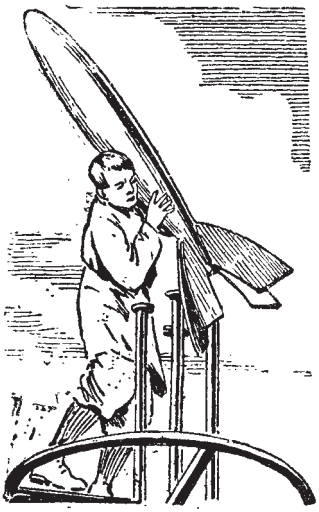


Рис. 48. Подготовка к пуску жидкостной ракеты на Берлинском ракетодроме

«Что касается вопроса о том, через сколько времени может состояться успешная отсылка ракеты на Луну, то я считаю это осуществимым еще для нынешнего поколения:

сделанный мною удачный пробный подъем ракеты на небольшую высоту показал мне, как подобная (межпланетная) ракета должна быть устроена для успешного действия. Жидкие водород и кислород, необходимые в качестве горючего для такой ракеты, могут быть использованы тем же путем, как это сделано было мною в этом опыте. Я верю также в осуществимость океанских перелетов с огромной скоростью в разреженном воздухе больших высот. Обыкновенные самолеты неспособны выполнить подобный перелет, так как авиамотор не может работать в разреженном воздухе. Ракета же летит в такой среде еще лучше, чем в более плотной».

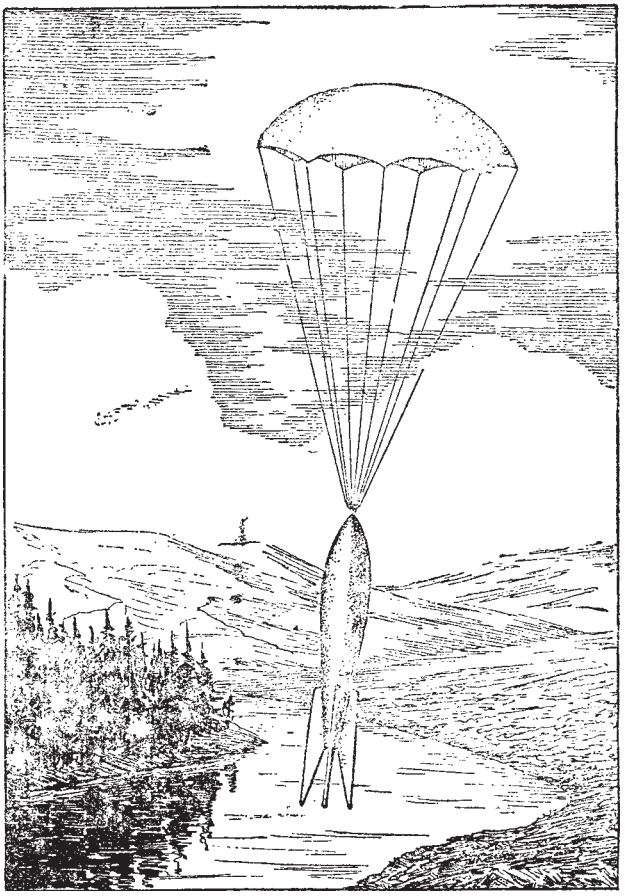


Рис. 49. Обратный спуск жидкостной ракеты на парашюте после достижения высшей точки подъема

Скудность сведений о работах Годдарда объясняется тем, что они ведутся частью по заданиям военного ведомства, вследствие чего результаты их держатся в секрете. Ракета высокого подъема, несомненно, может служить страшным военным оружием. Полковник Ноордунг, автор немецкой книги «Проблема перелетов в мировом пространстве», пишет по этому поводу следующее:

> «Дело идет здесь об обстреле крупных мишеней, каковы неприятельские главные города, промышленные районы и т. п. Если подумать о том, что при подобном обстреле заряды в несколько тонн могут быть перенесены ракетами совершенно безопасно через огромные расстояния к целям, расположенным в глубоком тылу; что ни один участок тыла не может быть обеспечен от подобной бомбардировки; что против нее нет никаких средств обороны, — то станет ясно, каким могущественным оружием может явиться ракета».

В другом направлении велись в 1928 и 1929 гг. опыты в Западной Европе: автомобильный фабрикант Фриц Опель вместе с инженером-пиротехником Зандером приспособили ракету в качестве двигателя автомобиля. Построенные по этому принципу (в начале 1928 г.) автомобили имеют в задней части батарею из 1–3 дюжин толстостенных пороховых ракет, зажигаемых последовательно, по две, с помощью электрического запала. Отверстия ракет обращены назад, вследствие чего при их взрыве автомобиль увлекается вперед. Испытание автомобилей этого типа показало, что ракеты способны не только приводить экипаж в движение, но и сообщать ему весьма значительную скорость — до 220 км/ч. Скорость эту конструкторы надеялись довести впоследствии до 400 км/ч и более. Запас пороха в ракетах — 100 кг. Через 8 с от начала взрывания автомобиль уже несся со скоростью 100 км/ч. Опыт с ракетной дрезиной (на рельсах) показал скорость 254 км/ч, а с ракетными санями (1929 г.) до 400 км/ч.

Большой ошибкой, однако, было бы думать, что в ракетном автомобиле, дрезине или санях мы имеем прообраз самодвижущегося сухопутного экипажа будущего. При тех скоростях, которые допустимы в сухопутном транспорте, ракетный двигатель невыгоден — он переводит в полезную механическую работу слишком ничтожную долю энергии потребляемого горючего (около 5%). Строители ракетного автомобиля сознавали это. «Хотя мы уже сейчас могли бы превзойти все до сих пор достигнутые скорости, — сказал Ф. Опель в речи, произнесенной при первом публичном испытании изобретения, — фирма отдает себе отчет в том, что ракетный агрегат, обещая для сухопутного транспорта небывалые, считавшиеся до сих

пор немыслимыми достижения, представляет в нынешнем виде лишь переходную ступень к ракетному аэроплану, а впоследствии — к космическому кораблю. Мы уже теперь в состоянии отослать ракету без пилота в высшие слои атмосферы и убеждены, что в недалеком будущем нам удастся проникнуть и в пустыню мирового пространства».

Эти слова выражают правильный взгляд на дело. Ракетный автомобиль — слишком расточительное изобретение. Будущее ракеты — не на земной поверхности, а в высших слоях атмосферы и за ее пределами — в мировом пространстве. Будущность имеет не ракетный автомобиль, не ракетный велосипед, не ракетные сани, не ракетная лодка — а ракетный аэроплан (ракетоплан), могущий совершать полет в стратосфере с почти космической скоростью.

Первые шаги в деле создания аэроплана с ракетным двигателем уже сделаны. Совершался полет на планере с пороховыми ракетами (Штамер, 1928), на самолете с дюжиной ракет (Опель, 1929), на ракетном самолете (Эспенлауб, 1930; Каттанео, 1931). Впрочем, это были не подлинные полеты, а кратковременные взлеты, продолжительностью 1–2 мин. Для совершения более длительных полетов нужны такие запасы пороха, каких самолет не в состоянии поднять. Подлинный ракетоплан должен работать на жидком горючем. Отсюда очередная задача — создание ракетного двигателя с жидким горючим.

В эту сторону направлены усилия изобретателей во многих странах, в том числе и в СССР. Я уже говорил об успешном, по-видимому, разрешении этой задачи американским физиком проф. Годдардом. Не менее плодотворны труды группы немецких инженеров, работающих на ракетодроме, отведенном им под Берлином. Они построили и испытали ряд последовательно увеличивающихся моделей жидкостной ракеты: «Мирак I» (от слов «минимальная ракета», мирак), «Мирак II», «Мирак III», «Репульсор». Последняя модель совершила свой первый свободный подъем на ракетодроме 14 мая 1931 г., достигнув высоты 60 м; горючим служил бензин (0,3 л), окислителем — жидкий кислород (1 л). Дальнейшим улучшением конструкции и увеличением заряда высота подъема доведена была до 4 км.

Достигнув высшей точки подъема, немецкая жидкостная ракета автоматически раскрывает парашют и плавно опускается на Землю совершенно неповрежденной; она может быть вновь заряжена и опять пущена — в отличие от пороховой ракеты, не допускающей многократного использования. На Берлинском ракетодроме произведено

было свыше сотни публичных демонстраций подобного рода. Скорость вытекания продуктов горения из сопла достигала 2200 м/с.

В задачу этой книги не входит описание конструктивных подробностей; схемы устройства немецких моделей читатель найдет в книгах наших советских инженеров, изобретателей ракетных аппаратов: С. П. Королева «Ракетный полет в стратосферу» и М. К. Тихонравова «Ракетная техника», где подробно рассмотрена техническая сторона дела (см. Приложение 12). Не останавливаясь на трудах других, менее удачливых немецких изобретателей (Валье, 1930; Винклер, 1931), перейду к работам в СССР.

Надо заметить, что устройство немецких ракет известно нам не во всех подробностях; некоторые ответственные детали держатся изобретателями в секрете (отчасти за неимением средств получить на них патент). При таких условиях советским работникам ракетного дела пришлось самостоятельно придумывать конструкции моторов для ракетопланов и бескрылых ракет.

Разработкой вопросов ракетной техники занимаются у нас в порядке общественном — активисты Осоавиахима и АвиаВНИТО (Авиационного научно-инженерного общества) в Москве, Ленинграде, Горьком и в других городах Союза. При Ленинградском аэроклубе существует сектор реактивного движения.

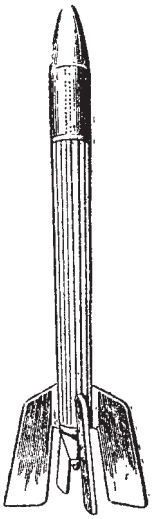


Рис. 50. Жидкостная ракета советского изобретателя М. К. Тихонравова

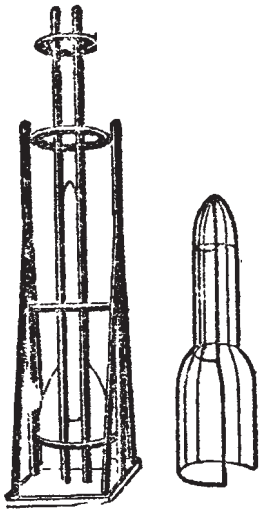


Рис. 51. Проектируемая ракета инженера Л. К. Корнеева

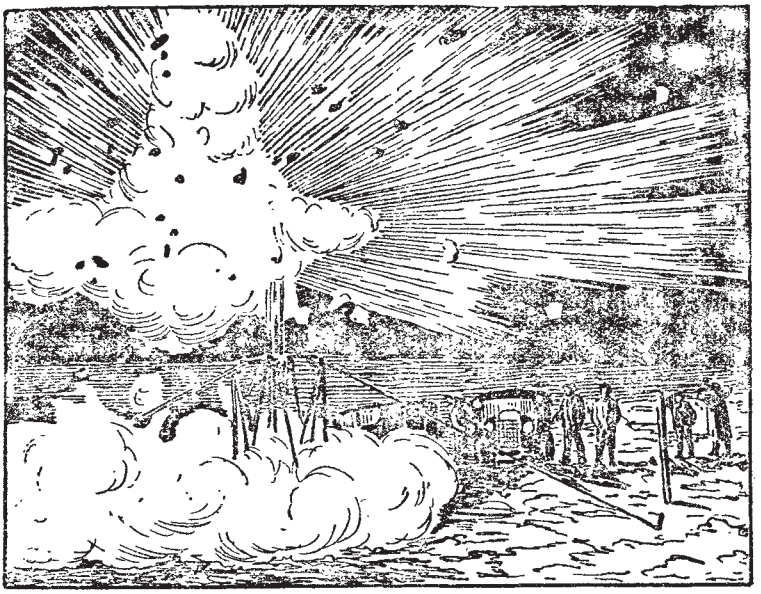


Рис. 52. Ракетная катастрофа. Взрыв ракеты пражского изобретателя Л. Оченазека

В Советском Союзе ракета, помимо целей обороны, должна служить прежде всего нуждам мирного социалистического строительства и — в первую очередь — научному исследованию стратосферы. Основной задачей является работа по созданию ракетного мотора, изыскание подходящих для него видов горючего, а также легких огнеупорных материалов и т. п. В работу над ракетной проблемой вовлекаются изобретатели и активисты различных специальностей.

В марте 1935 г. в Москве состоялась первая Всесоюзная конференция по применению ракетных аппаратов для исследования высших слоев атмосферы.

Были заслушаны доклады на следующие темы:

- о достижениях ракетной техники — инженера М. К. Тихонравова;
- о крылатых ракетах для полета человека — инженера С. П. Королева;
- о применении ракет при старте самолетов — инженера В. И. Дудакова;
- о горючем для жидкостных ракет — В. П. Глушко;
- о динамике полета ракеты — проф. В. П. Ветчинкина;

- об аэродинамической трубе для больших скоростей — инженера Ю. А. Победоносцева;
- о деятельности ракетных секций Осоавиахима в Москве (доклад И. Меркулова) и в Ленинграде (доклад инженера А. Н. Штерна).

Конференция постановила строить в 1935 г. крылатую ракету-лабораторию для полетов человека на небольших высотах, а также стратосферную ракету для научных исследований.

В системе Осоавиахима, как и в АвиаВНИТО, существует Стратосферный комитет, изучающий проблему овладения стратосферой, в частности, с помощью ракетных аппаратов. По поручению Стратосферного комитета АвиаВНИТО инженером Л. К. Корнеевым разработаны проекты двух стратосферных ракет, рассчитанных на жидкое горючее.

Прибавим к сказанному, что — как докладывалось на Всесоюзной конференции по изучению стратосферы в Ленинграде — в 1933–1934 гг. в Москве была сооружена и испытана в полете до высоты 10 км жидкостная ракета (рис. 50).

Зондирование стратосферы ракетными аппаратами, несущими метеорологические самописцы, будет иметь огромное значение, так как никакими другими средствами невозможно достигнуть подобных высот. Стратостат ни при каком устройстве не сможет никогда подняться выше 40 км; рекордный подъем употребляемых теперь шаров-зондов — 36 км; радиозонды достигали несколько меньшей высоты.

Даже из приведенных в этой главе, далеко не исчерпывающих сведений ясно, какими быстрыми темпами развивается на наших глазах ракетная техника. Я особенно живо ощущаю эту разительную перемену, когда перелистываю первое издание настоящей книги. Высказанная на его страницах в 1915 г. уверенность в неизбежном покорении мирового пространства ничем не могла быть тогда подкреплена, кроме чисто теоретических доводов. Теперь же, спустя всего двадцать лет, мы располагаем достаточными основаниями для глубокого убеждения, что дни великих триумфов ракетной техники уже недалеки.

ГЛАВА ВОСЕМНАДЦАТАЯ

ДВА НЕСБЫТОЧНЫХ ПРОЕКТА

Мы могли бы и не рассматривать несбыточных проектов межпланетных перелетов. Но задача наша состоит не только в том, чтобы познакомить читателя с реально достижимым в этой области: мы желали бы также рассеять и некоторые относящиеся сюда заблуждения. Не имеет никакого смысла перечислять и рассматривать все многочисленные «проекты» межпланетных перелетов, придуманные авторами фантастических произведений, так как сами авторы не придавали серьезного значения своим часто совершенно бессмысленным выдумкам. В первых главах нашей книги мы разобрали наиболее поучительные или внешне правдоподобные идеи подобного рода: «кеворит» Уэллса, пушку Жюля Верна, давление световых лучей и некоторые другие, отбрасывая все прочие как не заслуживающие никакого внимания и лишь засоряющие поле обсуждения.

Имеются, однако, еще два проекта, которые полезно рассмотреть, несмотря на их безусловную несостоятельность. Они получили у нас некоторую известность, так как неоднократно описывались в журналах, и представляются на первый взгляд легко осуществимыми. К сожалению, журналы не сопровождали их описание критическим разбором, и у многих читателей могло остаться убеждение, что мы имеем здесь хорошо продуманную техническую идею.

Оба проекта исходят из Франции. Первый из них предложен был в 1913 г. двумя французскими инженерами Масом (Mas) и Друэ (Drouet) и описан известным техническим писателем Графиньи следующим образом:

> «Представьте себе колесо огромного диаметра, несущее на окружности снаряд, который должен быть отброшен вдаль (рис. 53). Если при достаточной скорости вращения внезапно освободить снаряд, он полетит по касательной с той же скоростью, с какой двигалась соответствующая точка колеса. Устройство может быть упрощено: машина может состоять

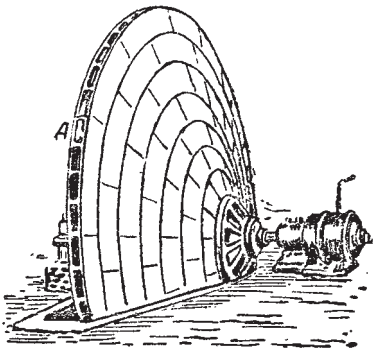


Рис. 53. Проект отсылки межпланетного вагона *(A)* вращением огромного колеса

из двух параллельных брусьев, закрепленных посередине на оси. Противоположные концы брусьев могут быть снабжены с одной стороны метательным снарядом, с другой — противовесом равной массы. При длине брусьев 100 м каждый оборот дает путь 314 м; значит, если довести скорость вращения до 44 оборотов в секунду, то крайние точки будут двигаться с секундною скоростью около 14 км.

Если пожелаем развить такую скорость в течение нескольких минут, понадобится двигатель мощностью в миллион лошадиных сил. Это, очевидно, неприемлемо. Оставаясь в пределах существующих технических норм, придется действовать более медленно и ассигновать примерно 7 ч, чтобы добиться 44 оборотов в секунду; тогда достаточен будет двигатель в 12 000 л. с.

Метательная машина, действующая так, как было объяснено, должна быть расположена где-нибудь над расщелиной, например, между скалами в горах. Она будет приводиться в движение от паровой турбины, а в нужный момент особый электрический аппарат освободит закрепленный на колесе снаряд, который и полетит вертикально к зениту».

Дальнейшее движение снаряда (вес которого — для двухмесячного путешествия трех пассажиров — будет достигать 4 т) предполагается по ракетному принципу:

«Корабль Вселенной должен быть снабжен внутренним двигателем, позволяющим увеличить его собственную скорость и управлять его движениями. Двигатель вовсе не должен быть очень сильным: аппарат, изолированный в пространстве и освобожденный от земного притяжения, перемещается с большою легкостью. Можно применить двигатель с „отдачей“, основанной на принципе ракеты: он выбрасывает в пространство массу газа, истечение которого заставит аппарат отклониться. Чтобы получить отклонение в намеченном направлении, вытекание газа может быть произведено по желанию через тот или иной ряд труб, открывающихся наружу снаряда».

Почему надо считать этот проект несостоятельным? Прежде всего, огромные затруднения возникли бы при подыскании материала, который мог бы противостоять развивающейся при таком вращении огромной силе натяжения. По формулам механики легко вычислить,

что при окружной скорости 14 км/с и радиусе вращения 50 м центробежная сила каждого грамма снаряда должна равняться

$$\frac{1\,400\,000^2}{980 \times 5000} = 400\,000 \text{ г} = 400 \text{ кг}.$$

Это значит, что брусья будут растягиваться с силою, превышающей вес снаряда в 400 000 раз. Так как снаряд предполагается весом 4 т, то сила натяжения брусьев исчисляется в 1 600 000 т. Вспомним, что вся Эйфелева башня весит только 9000 т. Если изготовить брусья из лучшей стали, то, чтобы они могли безопасно выдерживать такое натяжение, им надо было бы дать, при квадратном сечении, толщину в 9 м — при условии, что такой чудовищный брус сам будет невесом...

Совершенно непреодолимо, кроме того, другое затруднение — именно то, которое обусловлено увеличением тяжести внутри снаряда. Надо помнить, что и пассажиры снаряда, кружащиеся в этом колесе, к моменту отправления в космический полет сделаются в 40 000 раз тяжелее и, конечно, будут раздавлены собственным весом. Отослать в полет живых пассажиров с помощью такого колеса, очевидно, немыслимо.

Второй проект — принадлежащий, по-видимому, Графиньи — кажется на первый взгляд более осуществимым. Здесь также используется инерция кругового движения, но большое колесо заменено неподвижным кольцевым рельсовым путем, проложенным внутри кольцевого туннеля; поперечник кругового пути — 20 км. По рельсам (рис. 54) скользит (под действием электрического тока) на обильно смазанных полозьях тележка, несущая на себе межпланетный снаряд-вагон. Движение тележки обусловлено особым двигателем, помещающимся вне ее и передающим ей свою энергию по проводу между рельсами. Так как двигатель работает непрерывно, то тележка должна скользить ускоренно. Для уменьшения сопротивления среды воздух внутри туннеля разрежается насосами.

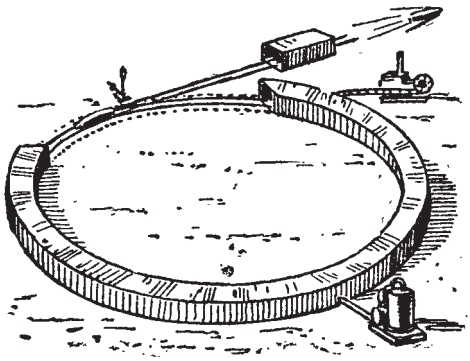


Рис. 54. Круговой крытый рельсовый путь для отлета в мировое пространство. Вверху вправо — воздушный насос

От кругового туннеля отходит, по направлению касательной, ответвление с наклоном вверх. Когда тележка со снарядом, сделав достаточное число оборотов по круговому пути, разгонится до скорости 12,5 км/с, она автоматически переводится на ответвление, на котором и подвергается торможению. Движение тележки замедляется, но лежащий на ней снаряд соскальзывает по инерции с тележки и летит в атмосферу со скоростью 12,5 км/с, которая по выходе из воздушной оболочки в мировое пространство понижается до 10,9 км/с. Управление снарядом в его свободном полете предполагается осуществлять с помощью реактивного двигателя.

Мы замечаем в этом проекте некоторые черты, сближающие его с проектом К. Э. Циолковского. Однако в только что изложенном виде идея Графиньи несбыточна (если даже считать скорость 12,5 км/с достижимой), так как она не учитывает возрастания искусственной тяжести внутри снаряда к моменту его отправления в межпланетный рейс. Хотя тяжесть в данном случае значительно меньше, чем в предыдущем проекте, — вследствие увеличения радиуса кругового пути, — но все же она достаточно велика, чтобы сделать проект несостоятельным. В самом деле: рассчитаем величину центробежной силы для каждого грамма снаряда. Она равна:

$$\frac{1\,250\,000^2}{980 \times 1\,000\,000} \approx 1600 \text{ г.}$$

Мы видим, что пассажиры к моменту отправления в космическое путешествие сделаются в 1600 раз тяжелее, — возрастание веса, безусловно, смертельное. Значит, как бы постепенно ни нарастала скорость снаряда по окружности, его центростремительное ускорение неизбежно должно превзойти допустимую для живого существа норму.

Что же касается ракетного двигателя, управляющего снарядом в мировом пространстве, то сама по себе идея эта, как мы знаем, вполне целесообразна. Однако в рассмотренных проектах она совершенно не разработана и предположена так наивно, что не может в таком виде рассматриваться как серьезная техническая мысль.

Авторы проектов, очевидно, не дают себе отчета об условиях применения реактивного принципа.

Итак, оба изложенных французских проекта надо отнести к разряду совершенно неосуществимых.

ГЛАВА ДЕВЯТНАДЦАТАЯ

ЖИЗНЬ НА КОРАБЛЕ ВСЕЛЕННОЙ

С завистью думает современный астроном о тайнах мироздания, которые увидит из кварцевых окон своего межпланетного корабля будущий моряк Вселенной. То, что смутно рисует нам слабый луч света, едва улавливаемый телескопом, во всей ясности предстанет изумленному взору космического путешественника. И кто предугадает, как чудесно расширятся тогда наши знания в мире миров, какие новые тайны исторгнет человеческий разум из глубин Вселенной!

Необычайное и новое ожидает будущего небесного странника не только за стенами его корабля. Внутри звездолета он также сможет наблюдать целый ряд необыкновенных явлений, которые в первые дни путешествия будут, пожалуй, привлекать его внимание и поражать ум не менее, чем величественная панорама, расстилающаяся за окнами каюты.

Едва ли кто-нибудь даже во сне переживал ощущения, подобные тем, какие предстоит испытать будущему космическому страннику внутри звездолета. Это нечто поистине феерическое. В коротких словах речь идет о том, что внутри звездолета нет тяжести: все предметы полностью утрачивают в нем свой вес. Закон тяготения словно отменяется в этом маленьком мире. Достаточно немногих соображений, чтобы убедиться в неизбежности этого вывода, хотя и трудно привыкнуть к мысли, что внутри небесного корабля не обнаруживается ни одно из тех проявлений силы тяжести, к которым мы так привыкли на Земле.

Допустим сначала, ради простоты, что звездолет (или пушечный снаряд Жюля Верна) свободно падает в мировом пространстве. Сила внешнего тяготения должна действовать одинаково как на сам снаряд, так и на предметы внутри его; поэтому она должна сообщать им равные перемещения (ведь все тела, тяжелые и легкие, падают с одинаковой скоростью). Следовательно, все предметы внутри

звездолета будут оставаться в покое по отношению к стенкам. Разве может тело «упасть» на пол каюты, если пол сам «падает» с точно такою же скоростью?

Вообще, всякое падающее тело не имеет веса. Еще Галилей в своем бессмертном «Собеседовании о двух новых науках» писал об этом в следующих картинных выражениях:

> «Мы ощущаем груз на наших плечах, когда стараемся мешать его падению. Но если станем двигаться вниз с такою же скоростью, как и груз, лежащий на нашей спине, то как же может он двигать и обременять нас? Это подобно тому, как если бы мы захотели поразить копьем кого-нибудь, кто бежит впереди нас, с такою же скоростью, с какою движемся и мы».

При всей своей простоте мысль эта настолько непривычна, настолько неожиданна, что, будучи даже понятна, неохотно принимается сознанием. Остановимся же на ней немного дольше. Перенеситесь мысленно, например, внутрь жюль-верновского снаряда, свободно падающего в мировом пространстве. Вы стоите на полу каюты и роняете из рук карандаш. Естественно, вы ожидаете, что он упадет на пол. Так полагал и Жюль Верн, не продумавший до конца своей собственной идеи. Но не то случится в действительности: карандаш повиснет в воздухе, нисколько не приближаясь к полу. По отношению к Земле он, конечно, будет перемещаться под действием притяжения — но точно такое же перемещение под действием тяжести получит и снаряд. Если, например, земное притяжение в течение секунды приблизит карандаш к Земле на один метр, то и снаряд приблизится на один метр: расстояние между карандашом и полом каюты не изменится, а следовательно, падения предметов внутри каюты не обнаружится.

Так будет не только внутри *падающего* звездолета, но и при подъеме его *вверх* и вообще при всяком свободном движении его по инерции в любом направлении в поле тяготения. Снаряд, летящий вверх, в сущности, тоже падает: скорость его взлета все время уменьшается под действием земного притяжения на определенную величину — именно на ту, на какую уменьшилась бы скорость снаряда за тот же промежуток времени, если бы ему не было сообщено движения вверх. То же самое должно происходить, конечно, и со всеми предметами внутри снаряда. Вы помните, как в романе «Вокруг Луны» труп собаки, выброшенный пассажирами из окна, продолжал в мировом пространстве следовать за снарядом и вовсе не стал падать на Землю. «Этот предмет, — замечает романист, — казался неподвижным, как

и снаряд, и, следовательно, сам летел вверх с такою же скоростью». Но если предмет казался неподвижным вне снаряда, то почему не должен он казаться таким же и внутри его? Удивительно, как близко можно подойти к истине и, не заметив ее, пройти мимо...

Теперь, думается, достаточно ясно, что внутри межпланетного корабля не может наблюдаться падение тел. Но если предметы в каюте звездолета не могут падать, то не могут они и оказывать давление на свои опоры. Короче говоря, в межпланетном корабле все предметы становятся абсолютно невесомы.

Строго говоря, в этом любопытном факте не должно бы быть для нас ничего неожиданного или нового. Мы ведь нисколько не изумляемся, например, тому, что на Луне вещи тяготеют не к Земле, а к центру Луны. Почему же должны предметы внутри звездолета падать к Земле? С того момента как ракета, прекратив взрывание, изменяет свой путь единственно лишь под действием притяжения Земли или иных мировых тел, она превращается уже в миниатюрную планету, в самостоятельный мир, имеющий свое собственное, хотя и ничтожное, напряжение тяжести. Внутри снаряда могло бы проявляться разве лишь взаимное притяжение предметов и притягательное действие стенок снаряда. Но нам известно уже, как ничтожно взаимное притяжение мелких тел и какие медленные, незаметные движения оно способно вызвать. А влияние притяжения стенок снаряда должно быть еще менее заметно: в небесной механике доказывается, что если бы снаряд был строго шарообразный, то притягательное действие такой оболочки равнялось бы нулю, так как притяжение любого ее участка уравновешивалось бы обратным действием диаметрально противоположного участка.

По этому признаку — полному отсутствию тяжести — будущие пассажиры космического корабля безошибочно смогут определить, не глядя в окно, движутся ли они вне Земли или нет. Для них немыслимы сомнения вроде тех, которые, по свидетельству Жюля Верна, будто бы смущали пассажиров снаряда в первые минуты межпланетного полета:

«— Николь, движемся ли мы?

Николь и Ардан переглянулись: они не чувствовали движения снаряда.

— Действительно, движемся ли мы? — повторил Ардан.

— Или спокойно лежим на почве Флориды? — спросил Николь.

— Или на дне Мексиканского залива... — прибавил Мишель».

Подобные сомнения совершенно невозможны для пассажиров свободно брошенного звездолета. Им не придется заглядывать в окно каюты, чтобы решить, движутся ли они: непосредственное ощущение невесомости сразу покажет им, что они уже перестали быть пленниками Земли и превратились в обитателей новой миниатюрной планеты, лишенной тяжести*.

Мы так привыкли к силе тяжести, не покидающей нас ни в железнодорожном вагоне, ни в каюте парохода, ни даже в гондоле аэростата или в сиденье аэроплана, — так сжились с этой неустранимой силой, что нам чрезвычайно трудно представить себе ее отсутствие. Чтобы помочь читателю вообразить себе, при каких необычайных, почти сказочных условиях будет протекать «невесомая» жизнь пассажиров в каюте межпланетного корабля, попытаемся набросать здесь некоторые черты этой своеобразной жизни.

Вы пробуете сделать шаг в каюте космического корабля — и плавно, как пушинка, парите к потолку: легкого усилия мускулов ног достаточно, чтобы сообщить вашему невесомому телу заметную поступательную скорость. Вы летите к потолку (нельзя сказать «вверх»: в мире без тяжести нет ни верха, ни низа), ударяетесь о него — и обратный толчок относит ваше невесомое тело снова к полу. Это плавное падение не будет грузным; вы почувствуете довольно легкий удар, но его достаточно, чтобы опять оттолкнуть вас к потолку, и т. д. Если, желая как-нибудь прекратить невольное и бесконечное колебание, вы ухватитесь за стол, то не пособите делу: стол, ничего не весящий, легко полетит вместе с вами и будет качаться туда и назад, попеременно отталкиваясь от потолка и пола. К чему бы вы ни прикасались — все немедленно приходит в движение, плавное, зато нескончаемое. Полка с книгами поплывет в воздухе, не теряя своих книг; ящик с провизией и посудой будет витать «вверх дном», не роняя своего содержимого. Словом, в каюте небесного корабля будет царить хаос, исключающий всякую возможность спокойной жизни, если мы не позаботимся заранее привязать и привинтить все вещи к полу, к стенам, к потолку.

Многие предметы обстановки будут, впрочем, совершенно излишни в этом мире без тяжести. К чему стулья, если вы можете ви-

* Почувствовав себя невесомыми, они могли сделать только два предположения: либо снаряд свободно летит в пространстве, либо же земной шар внезапно утратил способность их притягивать. Теоретически оба допущения равноправны, практически же выбор между ними несомненен.

сеть в воздухе в любом положении, не утомляя ни единого мускула? Стол тоже бесполезен: все поставленное на него унесется, как пух, при малейшем толчке или дуновении. Лучше заменить его особым станком с зажимами. Не нужна вам и кровать: вы не удержитесь на ней и одной минуты — при малейшем движении улетите прочь; пружинный тюфяк будет бросать ваше тело к потолку, как мяч. Чтобы спать спокойно, без невольных странствований по всем углам каюты, вам необходимо будет пристегнуть себя ремнями к ложу. Тюфяк — излишний предмет там, где нет тяжести; вам будет мягко и на жестком полу; ведь ваше тело ничего не весит, не давит на пол, а следовательно, вы не будете испытывать ощущения жесткости.

Буквально на каждом шагу будет подстерегать вас неожиданное и необычайное. Вы хотите налить воды для питья: опрокидываете невесомый графин над невесомым стаканом, но — вода не льется... Нет тяжести, значит нет и причины, побуждающей жидкость выливаться из опрокинутого сосуда. Вы ударяете рукой по дну графина, чтобы вытряхнуть воду, и — новая неожиданность: из графина вылетает большой, колеблющийся водяной шар, пульсирующий в воздухе. Это не что иное, как огромная водяная капля: в мире без тяжести жидкость принимает сферическую форму, как масло в знаменитом опыте Плато. Если эта гигантская водяная капля ударится о пол или стенку каюты, она растечется по ним тончайшим слоем и расползется во все стороны. Придется брать с собою жидкости не в стеклянных и вообще твердых сосудах, а в резиновых вместилищах, из которых жидкость можно будет выдавливать.

Пить в межпланетном корабле тоже нельзя будет так, как мы привыкли. Зачерпнуть жидкость мудрено: она соберется в шар, если не смачивает стенок сосуда; и тогда вы не донесете до рта этой водяной пилюли — при малейшем толчке она умчится прочь. Если же жидкость смачивает стенки сосуда, то облечет ее со всех сторон, и вам придется подолгу облизывать сосуд, испытывая муки Тантала. Приготовление обеда из невесомых продуктов будет сопряжено с немалыми и снова неожиданными затруднениями. Чтобы довести воду до кипения, придется повозиться чуть не целые сутки. В самом деле: при обычных условиях вода в кастрюле нагревается сравнительно быстро только потому, что нижние нагретые слои воды, как более легкие, вытесняются вверх холодными, вышележащими; перемешивание происходит само собой, пока все слои воды не нагреются до кипения. Но пробовали ли вы нагревать воду сверху? Попробуйте;

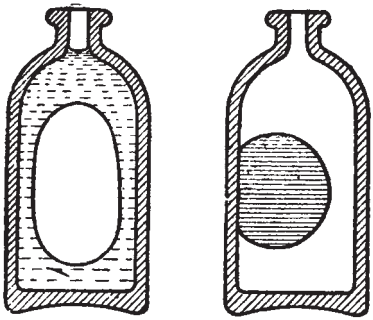


Рис. 55. Жидкости в условиях невесомости. Слева — вода в бутылке (случай смачивания). Справа — ртуть, жидкость, не смачивающая стекла, собралась внутри бутылки в большую каплю

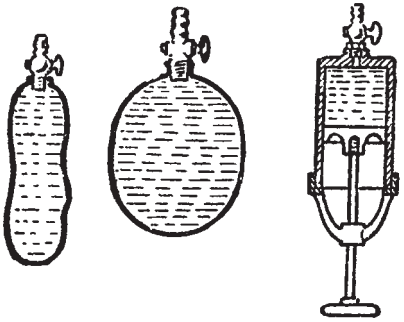


Рис. 56. Бутыли для ракетного корабля. Чтобы из бутылки возможно было в среде без тяжести извлекать содержимое, стенки ее должны быть кожаные (слева) либо резиновые (в середине) или бутыль должна снабжаться поршнем (справа)

положите горячие уголья на металлическую крышку полной кастрюли — и вы убедитесь, что это бесконечная история: нагретый слой останется наверху, теплота будет передаваться нижележащим слоям только через воду же — а теплопроводность воды, как известно, ничтожна; можно довести вверху сосуда воду до кипения и в то же время удерживать на его дне нерастаявшие куски льда. В невесомом мире звездолета также не будет этого благодетельного перемешивания слоев при нагревании жидкости: ведь нагретые и ненагретые слои одинаково невесомы; следовательно, вскипятить всю воду в кастрюле обычным путем, без специальных мешалок, будет довольно трудно. В невесомой кухне невозможно и жарить на открытой сковороде; упругие пары масла тотчас же отбросят жаркое к потолку.

По той же причине — отсутствию перемещения нагретых частей — весьма трудно будет отопить каюту каким-либо нагревательным прибором.

Развязывая мешок с мукой или крупой, мы рискуем малейшим толчком рассеять в воздухе все его содержимое.

В будущем межпланетном снаряде освещение необходимо устроить электрическое, и даже для кухни придется пользоваться исключительно электрическими беспламенными нагревателями.

Все эти житейские неудобства — курьезные, необычайные, неожиданные, но, по существу, безвредные и невинные — заставят будущих моряков Вселенной отрешиться от многих укоренившихся привы-

чек. Едва ли, однако, из-за одного этого будут отказываться от путешествия в таинственные глубины мироздания. Люди терпели более серьезные лишения, чтобы изучить нашу маленькую Землю, — вспомним страдания полярных путешественников! — и, конечно, не остановятся перед ними, когда дело будет идти об исследовании Вселенной.

ГЛАВА ДВАДЦАТАЯ

ОПАСНОСТИ ЗВЕЗДОПЛАВАНИЯ

Слушатели моих публичных лекций по звездоплаванию и читатели моих книг и статей нередко обращаются ко мне с вопросами, касающимися опасностей межпланетных перелетов. Вопросы эти в большинстве случаев повторяют друг друга; нетрудно выделить среди них ряд наиболее типичных мыслей о возможных опасностях, подстерегающих ладью моряка Вселенной и несущих ему гибель. Здесь и встреча с метеорами, прорезающими в изобилии пустыни мироздания; и чудовищный холод мирового пространства; и невыносимая для живого организма скорость передвижения; и вредное отсутствие тяжести; и столь же вредное усиление тяжести при отлете; и неизбежное расплавление звездолета при проникновении через атмосферу с огромною скоростью; и смертоносные космические лучи; и давление солнечных лучей, способное нарушить расчисленный путь ракетного корабля; и еще много других опасностей, из которых каждая в отдельности достаточна, чтобы сделать предприятие невыполнимым.

Остановимся же на рассмотрении этих опасностей и выясним, в какой степени они реальны. Тем самым будут, я надеюсь, рассеяны и устранены наиболее распространенные недоумения и заблуждения, которые связаны с новым родом транспорта, рождающимся на глазах нынешнего поколения.

Встреча с метеорами

Возможная встреча звездолета с одним из тех твердых обломков, которые стремительно прорезают мировое пространство, представляет в глазах многих самую серьезную опасность для будущих ракетных кораблей. Количество метеоров, каждые сутки обрушиваю-

щихся на земной шар со скоростью десятков километров в секунду, исчисляется миллионами. От этой небесной бомбардировки нас спасает воздушная броня, окружающая Землю.

Но что оградит от нее звездолет, вынесшийся за пределы атмосферы? Не будет ли ракетный корабль сразу же осыпан градом метеоров, которые пронижут его тонкую оболочку, повредят механизм, выпустят запасы горючего и воздуха?

Ближайшее рассмотрение вопроса показывает, что подобные опасения лишены основания. Забывают, что если для огромного земного шара метеоры являются густым градом, то для звездолета, поверхность которого *в десятки миллиардов* меньше поверхности нашей планеты, те же метеоры рассеяны крайне просторно. Известный немецкий астроном К. Граф высказался по этому поводу так:

> «С метеорной опасностью можно почти не считаться. Даже в густых метеорных потоках одна крупинка массою меньше грамма попадается в сотне кубических километров — в объеме, едва охватываемом нашим воображением. А опасность прямого столкновения с более крупными метеорами равна нулю».

Подтверждение этих слов находим и у других астрономов. В. Мейер в книге «Кометы и метеоры» писал:

> «Для потока Леонид 1866 г. найдено, что в самой плотной его части твердые крупинки разделены промежутками в 110 км».

Согласно проф. Ньютону, знатоку метеорной астрономии, расстояние между соседними метеорами в рое еще больше: около 500 км. Меньшую, но достаточно внушительную оценку взаимной удаленности метеоров дает советский астроном С. Г. Натансон для звездного роя Драконид, встреча с которым породила «звездный дождь» 9 октября 1933 г.: в наиболее густой части этого богатого роя «отдельные частицы* отстояли друг от друга на 60 км — что дает один метеор на 250 000 $см^3$». После этого для читателя не будет неожиданным расчет проф. Оберта, утверждающего, что «ракета должна странствовать в мировом пространстве 530 лет, прежде чем встретит один метеор... С этой точки зрения путешествие в звездолете во всяком случае не столь опасно, как, например, езда на автомобиле»**. К сходному выво-

* Не забудем, что речь идет о крупинках массой несколько миллиграммов.

** Утверждение, нисколько не преувеличенное: в одном лишь Ленинграде в течение 1934 г. зарегистрировано свыше 72 000 транспортных аварий на улицах!

ду пришел, на основании своих вычислений, и проф. Р. Годдард. По его расчетам, вероятность встречи ракеты с метеором во время перелета Земля — Луна определяется дробью порядка 1 : 100 000 000.

Холод мирового пространства

Другая опасность, по мнению многих, подстерегающая будущего моряка Вселенной, — страшный холод мирового пространства, достигающий 270 °С. Такой сильный холод неизбежно должен проникнуть сквозь металлические стенки космического корабля и заморозить его пассажиров.

Опасения эти, однако, основаны на простом недоразумении. Когда о «температуре мирового пространства» говорит физик, он хорошо знает, что надо под этим разуметь. Но у широкой публики с теми же словами связаны крайне смутные и сбивчивые представления. Температурой мирового пространства называют ту температуру, какую принимает абсолютно черное тело*, защищенное от солнечных лучей и удаленное от планет. Но звездолет ни в коем случае не есть тело, защищенное от солнечных лучей. Напротив, он непрерывно купается в лучах Солнца, непрерывно прогревается ими. Расчет показывает, что шар из теплопроводного вещества (металла), помещенный в подобных условиях на расстоянии 150 млн км от Солнца, должен иметь температуру на 12° выше нуля Цельсия, а тело формы ракеты — даже на 29° выше нуля. Если же одна сторона ракеты зачернена, а другая блестящая, то температура звездолета может колебаться — в зависимости от поворота его к Солнцу — между 77° выше нуля Цельсия и 38° ниже его. Мы видим, что пассажиры ракетного корабля будут иметь возможность, поворачивая его различным образом относительно Солнца, поддерживать внутри каюты, смотря по желанию, любую температуру — от сибирского мороза до зноя Сахары.

Практика подъемов на стратостатах вполне подтверждает эти теоретические соображения. Так, при первом подъеме на высоту 16 км, когда термометр снаружи гондолы показывал мороз более чем в полсотни градусов, проф. Пикар испытывал внутри нагреваемой солнечными лучами гондолы жар в 40 °С. «Пришлось раздеться донага. Очень жарко», — записал он в дневнике. Гондола, которая была окрашена наполовину в черный, наполовину в белый цвет, оказалась повернутой к Солнцу черной половиной — отсюда и сильное нагрева-

* То есть тело, поглощающее все падающие на него лучи.

ние (поворотный механизм не действовал). Во втором полете Пикара, когда гондола была окрашена вся в белый цвет, температура внутри нее, при достижении высоты 16 км, была минус 17 °С. «Мы сильно зябнем», — записывает Пикар в дневнике. Советские стратонавты избегали крайностей тепла и холода в гондоле благодаря удачно выбранной окраске ее наружной поверхности.

Чрезмерная скорость

Многих пугает огромная скорость, с какой звездолет будет мчаться в мировом пространстве. Человеческий организм, однако, способен выдержать любую скорость по той простой причине, что он вообще не ощущает никакой скорости. Разве чувствуем мы, что наше тело ежесекундно перемещается вместе с земным шаром на 30 км, а вместе с Солнцем — еще на 20 км? Для организма опасна не скорость сама по себе, как бы велика она ни была, а изменение скорости, переход от одной скорости к другой, т. е. то, что в механике называется «ускорением». Ускорение же ощущается нами как усиление или ослабление силы тяжести — эффект, который, как и полная невесомость, будет сейчас рассмотрен особо.

Отсутствие тяжести

Часто высказываются опасения, что последствия для живого организма от помещения его в среду без тяжести должны быть роковыми. Опасения эти, однако, ни на чем, в сущности, не основаны. Вспомним, что обитатели вод, т. е. $^{3}/_{4}$ всего земного шара, почти невесомы — во всяком случае, живут в условиях, весьма сходных с состоянием невесомости. Кит, млекопитающее, дышащее легкими, может жить только в воде, где чудовищный вес его сводится к нулю. Вне воды он раздавливается собственным весом. Если систематически рассматривать, какие именно функции нашего организма могли бы серьезно расстроиться вследствие утраты веса, то окажется, что таких функций нет*.

* Многих смущает тот общеизвестный факт, что человек, подвешенный вниз головой, погибает; отсюда делают вывод о важном значении для нашего организма надлежаще направленной силы тяжести. Однако из того, что при определенном направлении своего действия фактор оказывается вредным, никак не следует, что и полное отсутствие этого фактора также будет вредно.

«Отсутствие тяжести, — пишет Г. Оберт, — не может причинить нам никакого физического вреда. Уже тот факт, что все жизненные процессы протекают в нашем теле как при его отвесном, так и при горизонтальном положении, доказывает, что мы (в отличие от растений) не приспособлены лишь к определенному направлению тяжести».

Невесомость, по исследованиям Оберта, может оказывать на человека вредное психическое действие. В первые моменты, особенно при внезапном переходе к условиям невесомости, ощущается безотчетный страх. Но мозг и внешние чувства функционируют необыкновенно интенсивно, мысли четки и безукоризненно логичны. Течение времени кажется замедленным; устанавливается своеобразная нечувствительность к боли и чувство безразличия. Позднее эти явления исчезают и уступают место ощущению свежести и повышенного напряжения жизненных явлений, сходному с действием возбуждающих нервы средств. Наконец, по истечении некоторого времени, психическое состояние возвращается к нормальному, хотя пребывание в среде без тяжести продолжается.

Того же мнения о физиологической безвредности отсутствия тяжести придерживался и К. Э. Циолковский:

«Во время падения или простого прыжка на нашей планете, пока мы еще не коснулись ногами ее почвы, мы также находимся, по отношению к нашему телу, одежде и предметам, при нас находящимся, в среде, свободной от тяжести, но явление это продолжается много-много полсекунды; в течение этого промежутка времени части нашего тела не давят друга на друга, пальто не отягчает плеч, часы не оттягивают кармана. При

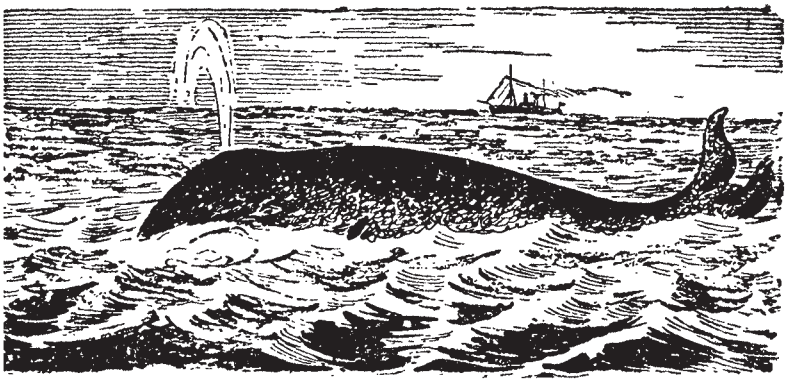


Рис. 57. Обитатели вод практически невесомы. Исполинский кит, находясь в воде, полностью утрачивает свой вес



Рис. 58. Акробат пьет, вися вниз головой

купании на Земле вес нашего тела также почти парализуется выталкивающим действием воды. Такое отсутствие веса может продолжаться неопределенно долгое время. Отсюда видно, что едва ли нужны какие-либо особые опыты для доказательства безвредности среды, лишенной тяжести».

Во время свободного падения тело не имеет веса, так что человек, падающий с высоты, находится в условиях невесомости. Но падение само по себе не причиняет никаких расстройств. Летчики, сбрасывающиеся с парашютом, около 12 с падают с возрастающей скоростью. Они не становятся совершенно невесомыми, так как из-за сопротивления воздуха ускорение их падения меньше ускорения свободно падающего тела. Но все же вес их уменьшается довольно значительно, и это не отражается на самочувствии опытного парашютиста. Артисты, выполняющие номер «человек-снаряд» (их выстреливают из пружинного* орудия), пребывают во время своего перелета в состоянии невесомости до 4 с, не испытывая при этом никаких болезненных ощущений**.

Отметим еще ошибочность мнения (высказанного некоторыми критиками моей книги), будто невесомый воздух внутри межпланет-

* Но никакие из порохового. Дым, видимый публикой, — чисто декоративный.
** См. «Занимательную механику».



Рис. 59. Проглоченная жидкость проталкивается в желудок действием мускулов пищевода

ного дирижабля не должен оказывать никакого давления. Если бы это было верно, то, конечно, целый ряд явлений внутри небесного корабля происходил бы не так, как описано в главе 19. Но в действительности давление воздуха при данных условиях нисколько не связано с его весомостью. Весомость, конечно, была причиною того, что воздух близ земной поверхности сжат и давит во все стороны. Но этот сжатый воздух должен полностью сохранить свое давление и в том случае, если в закрытом помещении он становится невесомым. Ведь сжатая пружина не утратила бы упругости в среде без тяжести; карманные часы не изменили бы хода от перенесения с Земли на Луну или на самый маленький астероид. Сжатый газ — та же пружина, и он не должен утрачивать своей упругости при ослаблении тяжести или полной потере веса (если, конечно, газ заключен в герметически замкнутом пространстве). Воздух утратил бы свою упругость только при одном условии: если бы температура его понизилась до абсолютного нуля (т. е. до −273 °С); при температуре выше этой всякий газ должен обладать упругостью независимо от того, подвержен ли он тяжести или нет.

Поэтому барометр-анероид показал бы в летящем небесном дирижабле то же самое давление, какое он показывал там до отлета. (Барометр же ртутный вовсе непригоден в таких условиях, потому что он измеряет давление воздуха *весом* ртутного столба, вес же в среде без тяжести равен нулю.)

Многие думают также, что в среде без тяжести невозможно *глотание*. Это совершенно ошибочно. Акт глотания вовсе не обусловлен тяжестью: пища проталкивается по пищеводу действием его мускулов. Лебедь, страус, жирафа пьют при опущенной шее; акробаты могут пить, вися вниз головой. Проглоченная жидкость продавливается мускулами пищевода в желудок чрезвычайно быстро — в течение доли секунды. Твердая пища перемещается медленнее — у человека секунд 8–10 (в зависимости от величины проглоченного куска), — но, во всяком случае, без участия силы тяжести.

Усиленная тяжесть

Что касается, напротив, *усиленной* тяжести, то она, вообще говоря, представляет для человека серьезную опасность, если превосходит известный предел. Животные могут переносить усиление тяжести в довольно широких пределах, как видно из опытов Циолковского.

> «Я делал опыты с разного рода животными, — говорит Циолковский, — подвергая их действию усиленной тяжести на особых центробежных машинах... Вес рыжего таракана я увеличивал в 300 раз, а вес цыпленка раз в 10; я не заметил, чтобы опыт принес им какой-нибудь вред».

То же подтвердили и опыты, произведенные в Ленинграде в 1930 г. в Институте гражданского воздушного флота*.

Удвоенную тяжесть человек переносит легко. При крутом снижении («пикировании») летчики при выходе из пике подвержены, как показывает расчет, трехкратной и даже четырехкратной искусственной тяжести; отмечен случай, когда летчик подвергся при таком спуске действию семикратной тяжести (т. е. двигался с ускорением 70 м/с^2) и перенес ее — конечно, в течение всего нескольких секунд — без вреда для здоровья. Известно, что люди совершенно безвредно переносят прыжки с большой высоты в воду, — хотя, по расчетам Оберта, такой прыжок с 8 м подвергает организм четырехкратному усилению тяжести. Названный ученый полагает, что человек может переносить без вреда в направлении от головы к ногам ускорение 60 м/с^2 (6-кратную тяжесть), а в поперечном — 80–90 м/с^2 (8–9-кратную тяжесть)**.

Такое же мнение высказывал и Макс Валье. В статье «Медицина и звездоплавание» («Ракета», 1928 г.) он писал:

> «Можно принять, что человек способен без вреда для себя в течение нескольких минут переносить 3–4-кратное усиление тяжести, особенно когда его тело расположено поперек действующей силы, т. е. поперек к направлению движения аппарата. Отправляться надо, следовательно,

---

* См. Н. А. Рынин «Теория реактивного полета», глава «Эффект ускорения на животных» (с. 353–356). Опыты производились над тараканами, навозными жуками, слепнями, мухами, карасем, лягушками, чижом, голубем, вороной, мышами, крысами, кроликами, кошками. Насекомые переносили безвредно для себя отяжеление в 2000 раз, лягушки — в 50 раз, кошки — в 20 раз (в течение 1–2 мин).

** «Человек-пушка» при падении на сетку подвергает свое тело усиленной тяжести, в 15 раз превышающей нормальную, не испытывая при этом болезненных ощущений. (См. «Занимательную механику».)

лежа, располагаясь на мягком ложе (хороший тюфяк в свободно висящей койке), чтобы возможно больше квадратных сантиметров тела имели опору. Испытание человека по отношению к усилению тяжести можно выполнить с помощью специально для этого устроенной карусели, вращаемой настолько быстро, что действие центробежной силы в несколько раз превышает нормальное напряжение тяжести. Отправляться в полет с большим ускорением без предварительного испытания было бы рискованно: всякому понятно, что усиленная тяжесть затрудняет деятельность сердца, легких и других органов, выполняющих жизненные функции».

Весьма показательны опыты, производившиеся еще в 1928 г. в Бреславле над человеком, подверженным действию центробежной силы; напомним, что давление, обусловленное этой силой, ничем не отличается от давления, порождаемого тяжестью. Человек, предоставивший себя для опытов, производил самонаблюдения по определенной программе. Опыты велись на карусели. Расстояние центра тяжести испытуемого от оси вращения было 3,2 м. При 24 оборотах в минуту равнодействующая центробежного ускорения и ускорения тяжести равнялась 23 м/с^2, т. е. больше нормального ускорения тяжести в 2,3 раза. При этом сердце, дыхательный аппарат и мозг работали нормально. Самочувствие и мышление — такие же, как и в нормальных условиях. Заметно ощущалось лишь давление тела на наружную стенку. Руки и ноги казались отяжелевшими, но все же ими легко было управлять. Мускулы щек при боковом положении головы ощутительно оттягивались. С трудом удавалось держать голову прямо, не подпирая ее.

При более быстром вращении карусели достигалось ускорение в 4,3 раза больше нормального. Но и при этих условиях не замечалось расстройств в деятельности сердца и дыхательного аппарата; сознание и все ощущения были нормальными. Руки и ноги заметно тяжелели, но ими все же можно было двигать. Чувствовалось, что одежда гораздо тяжелее. Всего ощутительнее было давление тела на наружную стенку. Производить наблюдения при еще более быстром вращении на этой карусели нельзя было из-за неприспособленности карусели.

Сопротивление атмосферы

Приходится слышать опасения, что ракетный корабль, летящий с космической скоростью, должен, прорезывая земную атмосферу при взлете и при возвращении на Землю, подвергнуться той же участи, как и метеоры: переход энергии его движения в теплоту неиз-

бежно раскалит, расплавит, даже превратит в пар весь звездолет. Соображение это кажется на первый взгляд очень серьезным; в действительности же, как мы уже имели случай отметить, оно очень мало основательно.

Дело в том, что межпланетная ракета прорезает толщу атмосферы вовсе не с космической скоростью. Мы видели, что при путешествии на Луну звездолет приобретает свою максимальную космическую скорость уже за пределами атмосферы, на высоте 1666 км, плотную же часть воздушной оболочки ракетный корабль пронизывает с сравнительно умеренной скоростью. Так, при отлете на Луну ракета имеет на высоте 1 км скорость по отношению к Земле 250 м/с, на высоте 2 км — 350 м/с, 5 км — 550 м/с, 10 км — 770 м/с, 15 км — 950 м/с, 20 км — 1100 м/с, 30 км — 1350 м/с. Как видим, скорость ракеты мала там, где воздух плотен, и велика там, где он крайне разрежен.

При обратном спуске на Землю ракета описывает строго рассчитанную спираль, прорезая сначала, пока скорость велика, самые разреженные слои атмосферы и лишь постепенно, по мере уменьшения скорости, проникая в более плотные слои. Опасность расплавления оболочки и здесь вполне может быть избегнута.

Опасность взрыва изнутри

В каюте ракеты будет находиться воздух под давлением в целую атмосферу, между тем как вокруг нее пространство свободно от воздуха и, следовательно, не оказывает на стенки ракеты никакого давления. Не угрожает ли каюте опасность быть разорванной внутренним давлением?

Рассуждающие так забывают, что, кроме избытка давления, существует еще и сопротивление стенок каюты и что ракета сделана не из бумаги. Напомню, что приблизительно в таких же условиях находились гондолы стратостатов в высшей точке подъема — и нисколько не пострадали от внутреннего давления, несмотря на то что стенки их были довольно тонки. Давление в одну атмосферу слишком незначительно, чтобы разорвать металлический шар, даже и тонкостенный.

Космические и ультрафиолетовые лучи

В число возможных опасностей звездоплавания нередко включают и вредное, чуть ли не смертоносное действие так называемых космических лучей (иначе именуемых также лучами Гесса или Мил-

ликена). Вредное действие этого излучения, однако, сильно преувеличено. Авторитетный исследователь космических лучей проф. Кольхерстер считает подобные опасения, связанные с этими лучами, лишенными всякого основания.

Мнение это вполне подтвердилось недавними исследованиями проф. Вериго, произведенными во время его знаменитого подъема в 1935 г. на высоту 16 200 м. Целью полета было изучение хода изменения интенсивности космических лучей с высотой (земная атмосфера заметно поглощает эти лучи). Вериго установил, что на высоте 16 км интенсивность космического излучения в 240 раз больше, чем у Земли, и все же она не достигает степени, сколько-нибудь опасной для живого организма. На высоте 16 км Вериго имел под собой 90% массы земной атмосферы; поэтому при дальнейшем поднятии вверх интенсивность космического излучения может возрасти лишь незначительно.

С этими результатами хорошо согласуются данные, добытые в 1932 г. проф. Регенером с помощью шара-зонда, пущенного на высоту 28 км с приборами, регистрирующими интенсивность космических лучей.

Словом, сенсационное наименование «лучей смерти» присвоено газетами этому излучению без малейшего основания: действие его слишком поспешно отождествили с действием лучей «электронной пушки» Кулиджа.

Что же касается вредного действия лучей ультрафиолетовых на той высоте, где действие их не ослабляется толщей атмосферы, то от них достаточно защитят пассажиров толстые стекла иллюминаторов звездолета.

Лучевое давление

Здесь также видят помеху для звездоплавания. Звездолет как небесное тело, конечно, карлик; а если так, то не может ли быть его движение нарушено отталкивающим действием солнечных лучей? Не опрокинет ли этот фактор все расчеты астрономов, не спутает ли он так тщательно расчисленные маршруты звездоплавания?

Бояться этого не приходится. Ракета массой 5 т, подставляющая солнечным лучам поверхность 50 м^2, должна под действием светового давления приобрести ускорение 0,000004 см/с^2. В течение суток скорость звездолета изменится менее чем на 2 мм/с. Это не может

ни иметь рокового значения, ни даже служить сколько-нибудь значительной помехой, так как для восполнения разного рода непредвиденных мелких потерь скорости звездолет берет с собой некоторый избыток горючего.

Опасность заблудиться

Можно ли быть уверенным в том, что ракета, посланная на Луну, действительно достигнет ее, а не направится мимо и не заблудится в мировом пространстве — или, что столь же опасно, попадет на какую-нибудь планету, куда попасть вовсе нежелательно? Луна представляет такую крошечную мишень на небе (она видна под углом всего в полградуса), что промахнуться, направляя на нее ракету, очень легко.

Опасения эти столь же малообоснованы, как и все предыдущие. Прежде всего, при отправлении ракеты на Луну приходится иметь дело с небесной мишенью вовсе не столь маленькой, как обычно думают. Луна — мишень особенная: она сама притягивает к себе летящие к ней снаряды. Чтобы ракета очутилась на Луне, достаточно закинуть ее за ту границу, где лунное притяжение сильнее земного. Граница эта представляет собой шаровую поверхность, окружающую Луну на расстоянии примерно 40 000 км от ее центра. Значит, мишенью является не шар Луны диаметром 3500 км, а упомянутая сфера диаметром 80 000 км. Мишень эта усматривается с Земли под углом $11^1/_2^\circ$ — в 23 раза большим, чем лунный диск. Если «стрельба в Луну» равносильна стрельбе в круг диаметром 1 м с расстояния 115 м, то обстрел пограничной сферы соответствует стрельбе в тот же метровый круг с расстояния всего 5 м. Промах здесь маловероятен.

Что касается блуждания в мировом пространстве, то следует иметь в виду, что, покинув атмосферу, ракета оказывается в среде, свободной от трения, и уподобляется небесному телу. Известна точность, с какой астрономы предсказывают затмения и другие события на небе. Движение ракеты может быть предвычислено с такою же астрономической точностью, исключающей всякие уклонения. Не предусмотренные же последствия случайной ошибки (которая может быть лишь очень незначительна под пером опытного вычислителя) могут быть своевременно исправлены пилотом звездолета, располагающим достаточным избытком горючего.

Учитывать притяжение лунной ракеты планетами нет никакой надобности: оно исчезающе мало вследствие крайней отдаленности пла-

нет от Земли. Ничтожная масса ракеты не ухудшает положения: величина перемещения зависит лишь от массы *притягивающего* тела и нисколько не зависит от массы тела *притягиваемого*.

Притяжение Солнца

Не будет ли ракетный корабль, направленный на Луну, притянут Солнцем? Люди, высказывающие это опасение, были бы еще более уверены в его основательности, если бы знали, что ракетный корабль, направляющийся с Земли на Луну, притягивается Солнцем в полтораста с лишком раз сильнее, чем Луною. Действительно, Солнце дальше от Земли, нежели Луна, круглым счетом в 400 раз и, значит, при равной массе должно было бы притягивать в 160 000 раз слабее; но зато масса Солнца превышает лунную в 27 000 000 раз; следовательно, сила притяжения ракеты Солнцем должна быть больше, нежели сила лунного притяжения, в $^{27\,000\,000}/_{160\,000}$, т. е. в 165 раз. При таких условиях, естественно, возникает опасение, что ракета скорее очутится на Солнце, нежели на Луне.

Вспомним, однако, что Солнце почти с одинаковою силою притягивает и ракету, и Землю, и Луну, сообщая каждому телу *равные* ускорения: оно перемещает *всю систему из трех тел*, почти не влияя на их взаимное расположение. Поэтому ракета, направленная на Луну, должна лететь на нее так, будто притяжения Солнца не существует.

Высадка на Луне

О том, как можно безопасно снизиться на Луну, не разбившись о ее твердую поверхность, мы уже беседовали раньше (с. 911). Но как смогут звездоплаватели покинуть свой ракетный корабль, если на Луне нет воздуха? Путешественников ждет здесь, казалось бы, неминуемая гибель...

Наши эпроновцы, однако, отлично работают как раз в такой среде, где человеку невозможно дышать. Они опускаются под воду в особых костюмах — скафандрах, куда им подается нужный для дыхания воздух. Лунные путешественники ступят на почву нашего негостеприимного спутника также в особых костюмах, имея запас кислорода в баллоне у себя за спиной или на груди. Опасаться того, что подобный костюм будет разорван изнутри давлением распирающего его воздуха при полном отсутствии напора снаружи, нет оснований:

костюму нетрудно придать прочность, достаточную, чтобы противостоять давлению в одну атмосферу. Отпадает и другое опасение, высказанное недавно одним ленинградским физиком, — что невозможно сконструировать скафандр, который, будучи раздуваем изнутри, позволял бы путешественнику свободно перемещать руки и ноги. Сомнение это опровергнуто самой жизнью: скафандр для полетов в разреженных слоях атмосферы, изготовленный и испытанный американским летчиком Постом во время его стратосферного подъема в открытой кабине аэроплана (декабрь 1934 г.), ничем существенным не отличается от костюма для будущей экскурсии на Луну*.

Само собою разумеется, что выход из ракетного корабля на лунную поверхность должен быть непродолжителен — примерно таков же, как пребывание водолаза на дне моря.

В связи с этим можно поставить вопрос о том, в каком месте лунной поверхности следует производить высадки. Дело в том, что температура лунной почвы не всюду благоприятна для пребывания на ней человека. В том месте Луны, где в данный момент полдень или послеполуденные часы, температура почвы достигает 100 °С и больше; на ночной же половине нашего спутника господствует страшный мороз в 200 °С и ниже. Будущему лунному путешественнику придется, очевидно, избирать для высадки ту зону лунного шара, где в момент снижения утро и почва успела уже нагреться солнечными лучами, однако еще не накалилась. К этому надо прибавить, что так как лунные сутки длятся целый земной месяц, то утро на Луне продолжается несколько земных суток. Зона, пригодная для высадки, довольно широка, особенно близ лунного экватора, и значит время пребывания на Луне может быть достаточно продолжительно.

Звездоплавание и теория относительности

В числе опасений, высказываемых насчет межпланетных путешествий, есть и такие, которые черпают свои доводы из теории относительности. Один из рецензентов этой книги высказал мне на страницах авиационного журнала упрек в том, что я «ничего не сказал

* Имеется и советское изобретение подобного рода: изготовленная по проекту рабочего Трехгорной фабрики Лобовикова модель костюма для полетов в стратосферу в открытой гондоле обеспечивает пилоту не только свободное движение рук и ног, но и благоприятную температуру (костюм имеет внутреннюю обогревательную обшивку). Изобретение получило одобрение Центрального совета Осоавиахима.

об относительности понятия одновременности для астронавта, летящего в мировом пространстве с космической скоростью и имеющего собственное поле тяготения».

«Сколько требуется „фактического“ времени для полета на какую-нибудь планету? — пишет рецензент. — С нашей, земной, точки зрения это подсчитать нетрудно, но астронавт, вылетевший в космос с этими расчетами и земными часами, окажется жертвой теории относительности и будет проклинать „астрономическую“ точность расписания полета, которая не сойдется с его собственным, так сказать, „внутриракетным“ временем.

Далее возникает второй тяжелый вопрос: куда лететь? Путешественник „без масштаба и часов“ не знает ни собственной скорости, ни своего положения в пространстве. Единственным якорем спасения является метод непосредственной визуальной проверки, но здесь, кажется, имеет силу поговорка „Не верь своим глазам“, так как условия работы на ракете (не говоря уже об искажениях, согласно теории Эйнштейна), конечно, не те, которые имеет астроном (подверженный обыденному ускорению 9,8 м/с^2) в своей обсерватории.

...Мы считаем, что на всем этом нужно было обязательно остановиться».

Приходится остановиться, раз подобные соображения высказываются даже на страницах специального журнала. Если бы рецензент произвел необходимые выкладки, он, впрочем, сам убедился бы, что при тех скоростях звездолета, о которых говорится в моей книге (несколько десятков километров в секунду), следствия теории Эйнштейна могут сказаться только за 7-м *десятичным знаком*. Другими словами, они едва уловимы для точнейших приборов, и опасаться каких-либо неувязок на этой почве нет оснований.

В самом деле, зависимость между продолжительностью какого-либо явления на Земле и продолжительностью того же процесса для наблюдателя в звездолете, который движется относительно Земли со скоростью, например, 50 км/с, такова:

$$t_1 = \frac{t}{\sqrt{1 - \frac{50^2}{300\,000^2}}}.$$

Выполняя вычисление, получаем

$$t_1 \approx t + \frac{t}{72\,000\,000}.$$

Продолжительность явления должна действительно возрасти, но, как видим, всего на одну 72-миллионную. Это значит, что косми-

ческое путешествие, длящееся для земного наблюдателя целый год, будет для ракетного пилота длиться на *треть секунды* больше. Такая прибавка не может иметь для астронавигации ровно никакого значения.

Примерно того же ничтожного порядка и влияние различия полей тяготения Земли и звездолета.

Другое дело, если бы звездолет несся со скоростью десятки тысяч километров в секунду — эффекты теории относительности сказались бы тогда ощутительно. Но я в моей книге в подобные фантазии не вдаюсь.

О них уместно будет завести речь лишь в том случае, если шансы на овладение внутриатомной энергией сделаются технически реальными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы видели, что проблема звездоплавания — если не в полном объеме, то в существенной своей части — может считаться разрешенной уже в наши дни. Разрешенной не в техническом, конечно, смысле, а в механическом и физическом: найдены в инвентаре современной науки те физико-механические принципы, на которых может быть построен звездолет будущего. Таким принципом является закон противодействия, и прообразом звездолета является ракета. Сам Ньютон, провозгласивший закон противодействия, пророчески сказал, что если удастся когда-нибудь людям летать в пустом пространстве, то сделано это будет только с помощью аппаратов, основанных на этом начале. Теперь уже нет сомнения, что человечеству суждено вступить когда-нибудь в прямое сообщение с другими планетами, начать новый, «вселенский» период своей истории и осуществится этот шаг при помощи исполинских ракет — единственного средства, разрешающего проблему межпланетных путешествий.

Гений Ньютона открыл человечеству закон действия могучей силы, приковывающей нас к Земле. Но тот же гений провозгласил и другой закон природы, опираясь на который человек свергнет иго тяжести и вырвется из земного плена на простор Вселенной, в необъятный мир миров.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. СИЛА ТЯГОТЕНИЯ

Приведенные в главе 2 примеры действия силы тяготения могут быть проверены несложными расчетами, основанными на законе Ньютона и элементах механики. Читатели, имеющие начальные сведения из алгебры, без затруднения проследят за ними. Напомним, что за единицу измерения силы в механике принята сила, которая, будучи приложена к свободному телу массой в 1 г, ежесекундно увеличивает его скорость на 1 см/с. Эта единица силы называется диной. Так как сила земного притяжения ежесекундно увеличивает скорость свободно падающего грамма почти на 1000 см/с (9,8 м/с), то сила, с какой притягивается к Земле 1 г, больше дины почти в 1000 раз, т. е. равна (почти) 1000 дин. Другими словами, вес гирьки в 1 г (сила ее притяжения к Земле) равен почти 1000 дин. Это дает представление о величине дины в единицах веса: дина равна примерно 1000-й доле грамма.

Далее: установлено, что два шарика, по 1 г каждый, расстояние между центрами которых равно 1 см, притягиваются между собою с силою в 15-миллионную долю дины. Эту величину называют постоянной тяготения.

После сказанного нетрудно, на основании закона Ньютона, вычислить силу взаимного притяжения двух человеческих тел, разделенных промежутком в 1 м (или 100 м). Принимая вес человеческого тела в 65 кг (65 000 г) и имея в виду, что взаимное притяжение прямо пропорционально произведению масс и обратно пропорционально квадрату расстояния (закон Ньютона), имеем для силы взаимного притяжения

$$\frac{1}{15\,000\,000} \times \frac{65\,000 \times 65\,000}{100^2} \approx 0{,}028 \text{ дины.}$$

Итак, два человеческих тела на расстоянии 1 м притягиваются взаимно с силой 0,028 дины (около 40-й доли миллиграмма).

Таким же образом может быть вычислена сила взаимного притяжения и двух линейных кораблей, разделенных расстоянием 1 км. Масса каждого корабля равна 25 000 т = 25 000 000 000 г; расстояние равно 100 000 см. Поэтому взаимное притяжение равно:

$$\frac{1}{15\,000\,000} \times \frac{25\,000\,000\,000^2}{100\,000^2} \approx 4200 \text{ дин.}$$

Так как 1000 дин = 1 г, то 4200 дин равны примерно 4 г.

2. ПАДЕНИЕ В МИРОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Полет пушечного снаряда Жюля Верна на Луну можно рассматривать как случай падения тела в мировом пространстве под влиянием силы тяготения. Поэтому, прежде чем рассматривать условия его полета, полезно рассмотреть следующую задачу из области небесной механики.

За сколько времени упал бы на Солнце земной шар, если бы по какой-нибудь причине прекратилось его движение по орбите?

Задачи подобного рода легко разрешаются на основании третьего закона Кеплера: квадраты времен обращения планет и комет относятся как кубы их средних расстояний от Солнца; среднее же расстояние от Солнца равно длине большой полуоси эллипса. В нашем случае мы можем земной шар, падающий прямо на Солнце, уподобить воображаемой комете, движущейся по сильно вытянутому эллипсу, крайние точки которого расположены: одна — близ земной орбиты, другая — в центре Солнца. Среднее расстояние такой кометы от Солнца, т. е. большая полуось ее орбиты, очевидно, вдвое меньше среднего расстояния от Земли. Вычислим, каков должен был бы быть период обращения этой воображаемой кометы. Составим, на основании третьего закона Кеплера, пропорцию:

$$\frac{(\text{Период обращения Земли})^2}{(\text{Период обращения кометы})^2} = \frac{(\text{Ср. расст. отЗемли})^3}{(\text{Ср. расст. от кометы})^3}.$$

Период обращения Земли равен 365 суткам; среднее расстояние ее от Солнца примем за единицу, и тогда среднее расстояние кометы выразится через $^1/_2$. Пропорция принимает вид:

$$\frac{365^2}{(\text{Период обращения кометы})^2} = \frac{1}{(0{,}5)^3}.$$

Откуда

$$(\text{Период обращения кометы})^2 = 365^2 \times \frac{1}{8}.$$

или

$$\text{Период обращения кометы} = \frac{365}{\sqrt{8}}.$$

Но нас интересует не полный период обращения этой воображаемой кометы, а половина периода, т. е. продолжительность полета в один конец — от земной орбиты до Солнца: это и есть искомая продолжительность падения Земли на Солнце. Она равна

$$\frac{365}{\sqrt{8}} : 2 = \frac{365}{\sqrt{32}} \approx \frac{365}{5{,}6} \approx 65 \text{ сут.}$$

Итак, чтобы узнать, за сколько времени Земля упала бы на Солнце, нужно продолжительность года разделить на $\sqrt{32}$, т. е. на 5,6. Легко видеть, что полученное простое правило применимо не к одной только Земле, но и ко всякой другой планете и ко всякому спутнику. Иначе говоря, чтобы узнать, за сколько времени планета или спутник упадут на свое центральное светило, нужно период их обращения разделить на $\sqrt{32}$, т. е. на 5,6. Меркурий, обращающийся за 88 дней, упал бы на Солнце за 15,5 дня; Сатурн, период обращения которого равняется 30 нашим годам, падал бы на Солнце в течение 5,5 года. А Луна упала бы на Землю за 27,3 : 5,6, т. е. за 4,8 суток. И не только Луна, но и всякое вообще тело, находящееся от нас на расстоянии Луны, падало бы к Земле в течение 4,8 суток (если только ему не сообщена начальная скорость, а падает оно, подчиняясь лишь действию одного земного притяжения).

Здесь мы вплотную подходим к задаче Жюля Верна. Легко понять, что столько же времени должно лететь на Луну всякое тело, брошенное с Земли на Луну с такою скоростью, чтобы пройти как раз расстояние до Луны. Значит, алюминиевый снаряд Жюля Верна должен был бы лететь около 5 суток, если бы его хотели закинуть на расстояние до Луны.

Однако члены Пушечного клуба рассчитывали закинуть снаряд не прямо на Луну, а только до той точки между Землей и Луной, где силы притяжения обоих светил уравниваются: отсюда снаряд сам уже упал бы на Луну, притягиваемый ею. Эта «нейтральная» точка находится на 0,9 расстояния от Земли.

Вычисление, следовательно, несколько усложняется. Во-первых, нужно вычислить, за сколько времени снаряд долетел бы до 0,9 рас-

стояния между Землей и Луной, или, что то же самое, за сколько времени тело с этого расстояния упало бы на Землю; во-вторых, надо определить продолжительность падения тела от этой нейтральной точки до Луны.

Для решения первой задачи представим себе, что на 0,9 расстояния от Земли до Луны обращается вокруг нашей планеты небесное тело, и вычислим период обращения этого воображаемого спутника Земли. Обозначив неизвестный период обращения через x, составляем, на основании третьего Кеплерова закона, пропорцию

$$\frac{x^2}{27{,}3^3} = \frac{0{,}9^3}{1^3};$$

отсюда искомый период обращения $x = 27{,}3\sqrt{0{,}9^3} = 23{,}3$.

Разделив этот период на $\sqrt{32}$, т. е. на 5,6, мы, согласно выведенному ранее правилу, получим время перелета снаряда от Земли до нейтральной точки: 23,3 : 5,6 = 4,1 суток.

Вторую задачу решаем сходным образом. Чтобы вычислить, за сколько времени снаряд упал бы с расстояния нейтральной точки до Луны, нужно сначала определить, за сколько времени снаряд, находясь на том же расстояний от Луны, совершил бы вокруг нее полный оборот. Радиус орбиты этого воображаемого спутника Луны равен 0,1 радиуса лунной орбиты, а масса центрального светила (в данном случае Луны) в 81 раз меньше массы Земли. Если бы масса Луны равнялась земной, то спутник, обращаясь на среднем расстоянии вдесятеро меньшем, чем лунное, совершил бы полный оборот в период y, легко вычисляемый по закону Кеплера:

$$\frac{y^2}{27{,}3^3} = \frac{0{,}1^3}{1^3},$$

откуда

$$y = 27{,}3\sqrt{0{,}001} = 0{,}273\sqrt{10}.$$

Но так как масса, а следовательно, и притягательное действие центрального светила в данном случае в 81 раз меньше, чем в системе Земли, то время обращения снаряда спутника будет дольше. Во сколько раз? Из механики мы знаем, что центростремительное ускорение пропорционально квадрату скорости. Здесь это ускорение (производимое притяжением Луны) меньше в 81 раз, — следовательно, скорость движения снаряда по орбите должна быть меньше в $\sqrt{81}$ раз, т. е. в 9 раз. Другими словами, снаряд в роли лунного спутника должен обегать кругом Луны в 9 раз медленнее, чем он обходил бы на

таком же расстоянии Землю. Значит, искомое время обращения равняется:

$$0{,}274\sqrt{10} \times 9 \approx 7{,}77 \text{ сут.}$$

Чтобы получить продолжительность падения снаряда от нейтральной точки до Луны, нужно, как мы уже знаем, найденный сейчас период его обращения (7,77) разделить на $\sqrt{32}$, т. е. на 5,6; получим 1,4 суток, а точнее — 33,5 ч*.

Итак, весь перелет пушечного снаряда от Земли до Луны должен был бы длиться 4,1 + 1,4 суток = 5,5 суток.

Однако это не вполне точный результат: здесь не принято во внимание то обстоятельство, что и при полете от Земли до нейтральной точки снаряд подвергается притягательному действию Луны, которое ускоряет его движение; с другой стороны, при падении на Луну он испытывает на себе замедляющее действие земного притяжения. Последнее действие должно быть особенно заметно и, как показывает более точное вычисление (по формуле, приведенной ниже), примерно вдвое увеличило бы продолжительность падения снаряда от нейтральной точки до Луны. Благодаря этим поправкам общая продолжительность перелета снаряда от Земли до Луны с 5,5 суток возрастает до 7 суток. В романе продолжительность перелета определена «астрономами Кэмбриджской обсерватории» в 97 ч 13 мин 20 с, т. е. в 4 с небольшим суток вместо 7 суток. Жюль Верн ошибся на трое суток. Ошибка произошла от того, что романист (или лицо, производившее для него расчеты) преуменьшил время падения снаряда от нейтральной точки до Луны: оно определено всего в 13 ч 53 мин, между тем как это падение должно было совершиться гораздо медленнее и отнять 67 ч.

Если тело падает без начальной скорости с весьма большого расстояния H не до центра притяжения, а до некоторого расстояния h,

* На расстоянии Земли снаряд обращался бы вокруг Луны в 9 раз медленнее, чем Луна вокруг Земли, т. е. совершал бы полный оборот в 27,3 × 9 суток. Время падения его с Земли на Луну под действием ее притяжения равнялось бы, следовательно (27,3 × 9)/5,6 = 44 суткам. В такой срок должен был бы перелететь с Земли на Луну «кеворитный» снаряд Уэллса, если бы все его «кеворитные» заслонки были свернуты и вся масса снаряда подвергалась действию лунного притяжения. Но путешественники подвергали действию тяготения только часть массы снаряда, в движение же увлекалась вся масса снаряда. Вследствие этого снаряд получал ускорение, составляющее только некоторую долю нормального. В результате продолжительность перелета должна увеличиться. Если, например, действию притяжения подвергалась только 10-я доля массы снаряда, то время падения снаряда на Луну должно возрасти в $\sqrt{10}$ раз, т. е. путешествие длилось бы 136 суток.

то продолжительность t (в секундах) такого падения вычисляется по следующей формуле, которая выводится в курсах интегрального исчисления:

$$t = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{H}{2a}}\left\{\sqrt{h(H-h)} + H \arcsin\sqrt{\frac{H-h}{H}}\right\}.$$

Здесь H и h имеют указанные выше значения, R — радиус планеты, a — ускорение тяжести на ее поверхности. По этой формуле вычисляется также продолжительность взлета тела от расстояния h до расстояния H, где оно должно утратить всю свою скорость.

Для примера вычислим продолжительность взлета тела, брошенного с земной поверхности на высоту земного радиуса. В этом случае $H = 2R$; $h = R$; $a = g = 9{,}8$; $R = 6370$.

Имеем продолжительность взлета:

$$t = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{2R}{2g}}\left\{\sqrt{R(2R-R)} + 2R \arcsin\sqrt{\frac{R}{2R}}\right\} =$$

$$= \sqrt{\frac{R}{g}}(1 + 2 \times 0{,}7854) \approx 2072 \text{ с} = 34{,}5 \text{ мин}.$$

Значит, ракета, пущенная вверх на расстояние земного радиуса, должна возвратиться через 69 мин.

3. ДИНАМИКА РАКЕТЫ

Для понимания дальнейшего необходимо отчетливо уяснить себе некоторые теоремы механики, относящиеся к «количеству движения» и к «центру тяжести». Предпосылаем поэтому нашему изложению небольшую главу из «Курса физики» Гримзеля, где положения эти разъяснены весьма наглядно и с достаточной полнотой.

Импульс. Количество движения

Сохранение движения центра тяжести

«Сила P сообщает свободной массе m ускорение a, которое определяется из уравнения $P = ma$. Если сила P постоянна, то и ускорение постоянно, т. е. движение — равномерно ускоренное. Если постоянная сила P действует на массу m в течение времени t, то она сообщает ей скорость $v = at$. Чтобы оценить действие силы P за вре-

мя t, мы умножим выражение силы $P = ma$ на t. Мы получим равенство $P \times t = m \times v$.

Произведение $P \times t$ называется импульсом силы P за время t. Произведение $m \times v$ называется количеством движения массы m, движущейся со скоростью v. Импульс силы равен количеству движения массы, приведенной в движение этой силой.

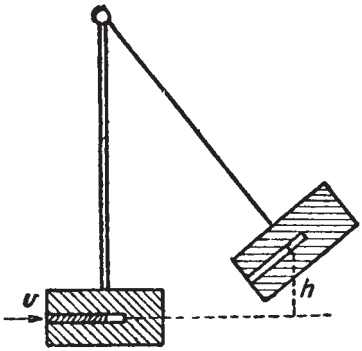


Рис. 60. Баллистический маятник

Если действует сила переменная, то, строго говоря, этот закон можно прилагать лишь к малым промежуткам времени t, в течение которых силу можно считать неизменяющейся. Тогда предыдущее равенство принимает вид:

$$P \times \Delta t = m \times \Delta v.$$

Понятие импульса и количества движения постоянно применяются в случаях, когда проявляются действие и противодействие.

Примером практического применения этих понятий может служить баллистический маятник, употребляемый для измерения скорости снаряда. Он состоит из большой, но податливой массы M (например, ящика с песком), которая подвешена на стержне, могущем вращаться около некоторой оси (рис. 60). В маятник стреляют снарядом, имеющим массу m, снаряд входит в песок и сообщает общей массе $M + m$ некоторую скорость. Маятник отклоняется, и высоту его подъема h измеряют. По высоте подъема вычисляют начальную скорость маятника $v_1 = \sqrt{2gh}$.

Количество движения, приобретенное маятником (вправо), есть Mv_{x1}; количество движения, приобретенное снарядом влево (или потерянное им, при счете вправо), равно:

$$mv - mv_1$$

или

$$m\,(v - v_1).$$

Итак,

$$Mv_1 = m(v - v_1),$$

или

$$mv = (M + m)v_1.$$

Отсюда можно вычислить v.

В левой части последнего уравнения *(mv)* стоит количество движения всей системы (маятник и снаряд) до выстрела, в правой части — количество движения системы после выстрела. Таким образом, количество движения системы не изменяется, если только в эту систему включены все взаимодействующие тела. Такая система называется *замкнутой*. Итак, в замкнутой системе количество движения остается неизменным, какие бы процессы внутри ее ни происходили. Это *закон сохранения количества движения*.

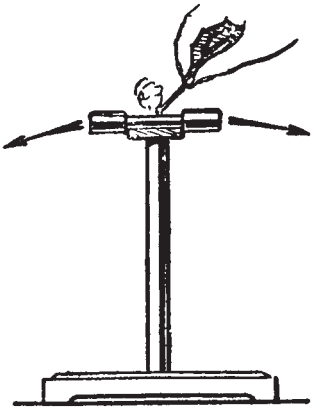


Рис. 61. Двусторонний пистолет

Другой пример представляет изображенный на рис. 61 двусторонний пистолет. На штативе горизонтально лежит медная трубка, на один конец которой навинчен массивный металлический цилиндр. Другой такой же цилиндр имеет насадку, плотно входящую в трубочку*. В трубке сделано отверстие для поджигания с полочкой для пороха. Насыпав на полочку и в трубку немного пороха, вставляют снаряд и кладут пистолет на штатив. Затем при помощи раскаленной проволоки поджигают порох, насыпанный на полочку; порох в трубке взрывается — оба цилиндра с насадками получают ускорения в противоположные стороны и упадут на стол в одинаковых расстояниях от штатива. Действие взрыва одинаково в обе стороны и сообщает обоим цилиндрам одинаковые скорости.

Повторяют опыт с *различными* массами. Пусть цилиндр, скрепленный с трубочкой, весит 50 г, а вставляющийся в нее — 100 г. После взрыва первый отлетает вдвое дальше второго, хотя давление взрывных газов в обе стороны одинаково.

В каком бы отношении ни находились снаряды, всегда начальные скорости снарядов обратно пропорциональны их массам и, значит, произведения масс снарядов на начальные скорости одинаковы.

Движение снарядов можно определить таким правилом: если до взрыва весь пистолет был в равновесии относительно некоторой оси вращения, то это равновесие сохраняется в каждый момент после

* Предполагается, что цилиндр с трубкой и цилиндр с насадкой имеют одинаковую массу.

взрыва, причем путь обоих снарядов рассматривается как соединяющая их невесомая проволока, а вся система — как рычаг.

В самом деле, горизонтальные расстояния обоих снарядов от оси вращения в каждый момент движения обратно пропорциональны соответствующим массам, а это отвечает условию равновесия рычага. Воображаемая ось всегда проходит поэтому через центр тяжести обеих частей пистолета, так что положение центра тяжести остается неизменным (закон сохранения центра тяжести). Закон этот справедлив и для того случая, когда пистолет перед взрывом не был в покое, а двигался с постоянной скоростью. В этом случае после взрыва его части движутся так, что их общий центр тяжести продолжает свое прежнее движение с той же скоростью *(сохранение движения центра тяжести)*. То же самое будет, конечно, при распаде на несколько частей — например, при движении осколков разорвавшейся гранаты или обломков распавшихся космических тел».

Движение ракеты

Рассмотрим теперь движение ракеты — сначала в среде, свободной от тяжести, а затем — в условиях тяжести.

А. Движение ракеты в среде без тяжести. Ввиду фундаментального значения «уравнения ракеты» для всей теории звездоплавания приводим далее два ее вывода: один — элементарный, для незнакомых с высшей математикой, и другой — более строгий, с применением интегрального исчисления.

Пусть первоначальная масса покоящейся ракеты равна M_t. Заменим непрерывное вытекание газа из трубы рядом последовательных толчков; с каждым толчком вытекает $^1/n$ массы M_t ракеты со скоростью c. После *первого* толчка масса ракеты уменьшается до

$$M_1 = M_t - \frac{M_t}{n} = M_t\left(1 - \frac{1}{n}\right);$$

после *второго* толчка остающаяся масса ракеты равна

$$M_2 = M_t\left(1 - \frac{1}{n}\right) \times \left(1 - \frac{1}{n}\right) = M_t\left(1 - \frac{1}{n}\right)^2;$$

после *третьего* толчка —

$$M_3 = M_t\left(1 - \frac{1}{n}\right)^3;$$

а после k-го —

$$M_k = M_t\left(1 - \frac{1}{n}\right)^k;$$

Скорость v_1, приобретаемую ракетой после первого толчка, легко вычислить, исходя из того, что общее количество движения всех частей ракеты до и после разъединения одинаково, т. е. равно нулю:

$$M_t\left(1 - \frac{1}{n}\right) \times v_1 + \frac{M_t}{n} \times c = 0;$$

откуда

$$v_1 = -\frac{c}{n-1}.$$

Скорость v_2 после *второго* толчка можно считать равной $2v_1$, т. е. $-\frac{2c}{n-1}$, а после k-го толчка $v = -\frac{kc}{n-1}$, откуда

$$k = -\frac{v(n-1)}{c}.$$

Подставив это выражение для k в формулу

$$M_k = M_t\left(1 - \frac{1}{n}\right)^k,$$

получаем

$$M_k = M_t\left(1 - \frac{1}{n}\right)^{\frac{v(n-1)}{c}}.$$

Преобразуем последнее выражение:

$$M_k = M_t\left\{\left(1 - \frac{1}{n}\right)^{n-1}\right\}^{-\frac{v}{c}} \approx M_t\left\{\left(\frac{1}{1+\frac{1}{n}}\right)^{n-1}\right\}^{-\frac{v}{c}},$$

потому что

$$1 - \frac{1}{n} \approx \frac{1}{1+\frac{1}{n}}.$$

Выражение:

$$\frac{1}{\left(1+\frac{1}{n}\right)^{n-1}}$$

при бесконечно большом n (т. е. при переходе от толчков к непрерывному вытеканию газа) равно, как известно, $1/e$, где e = 2,718. Тогда преобразуемое выражение получает вид:

$$M_k = M_t\left(\frac{1}{e}\right)^{-\frac{v}{c}},$$

откуда получаем уравнение ракеты:

$$\frac{M_t}{M_k} = e^{-\frac{v}{c}}.$$

Укажем теперь более строгий вывод того же основного уравнения.

Обозначим массу ракеты в некоторый момент через M и предположим, что до горения ракета была неподвижна. Вследствие горения ракета отбрасывает бесконечно малую часть dM своей массы с постоянною скоростью c (по отношению к ракете). При этом остальная часть массы ракеты $(M - dM)$ получает некоторую бесконечно малую прибавку скорости dv. Сумма количества движения обеих частей ракеты должна быть, по законам механики (см. выше), та же, что и до горения, т. е. должна равняться нулю:

$$cdM + (M - dM)dv = 0,$$

или, по раскрытии скобок,

$$cdM + Mdv - dMdv = 0.$$

Отбросив член $dMdv$ как бесконечно малую второго порядка (произведение двух бесконечно малых величин), имеем уравнение:

$$cdM + Mdv = 0,$$

которое представляем в виде

$$\frac{dv}{c} = -\frac{dM}{M}.$$

Интегрируя это дифференциальное уравнение, получаем:

$$\frac{v}{c} = \ln M_t - \ln M_k = \ln \frac{M_t}{M_k},$$

или

$$e^{\frac{v}{c}} = \frac{M_t}{M_k}. \qquad (1)$$

Мы пришли к уравнению ракеты, или ко «второй теореме Циолковского», которую он формулирует так:

> «В среде без тяжести окончательная скорость (v) ракеты не зависит от силы и порядка взрывания, а только от количества взрывчатого материала (по отношению к массе ракеты) и от устройства взрывной трубы».

При всех этих вычислениях не учитывалось земное притяжение, влияние которого мы сейчас вкратце рассмотрим.

Б. Движение ракеты в условиях тяжести. Ускорение a, приобретаемое ракетой при отвесном подъеме с Земли, равно, очевидно, разности между собственным ускорением ракеты p и ускорением земной тяжести g:

$$a = p - g.$$

Так как приобретаемая при этом ракетой окончательная скорость $v_1 = at_1$, то продолжительность горения равна $\frac{v_1}{a}$, т. е.

$$t_1 = \frac{v_1}{p - g}.$$

Из этого равенства и из соотношения $v = pt$ мы выводим, что при одинаковой продолжительности горения ($t = t_1$):

$$v = pt = p \times \frac{v_1}{p - g} = v_1 \times \frac{p}{p - g},$$

откуда

$$v_1 = v \times \frac{p - g}{p} = v - \left(1 - \frac{g}{p}\right).$$

Значит,

$$v_1 = v - v\frac{g}{p},$$

т. е. окончательная скорость ракеты в среде тяжести меньше, чем в среде без тяжести, на такую же долю, какую ускорение *(g)* тяжести составляет от собственного ускорения *(p)* ракеты. Далее, зная из предыдущего, что в среде без тяжести

$$v = c \ln \frac{M_t}{M_k},$$

получаем, что окончательная скорость v_1 ракеты в условиях тяжести

$$v_1 = \left(1 - \frac{g}{p}\right) c \ln \frac{M_t}{M_k},$$

или

$$e^{\frac{v_1}{c}} = \frac{M_t\left(1 - \frac{g}{p}\right)}{M_k}. \qquad (2)$$

Формула (2) позволяет вычислить окончательную скорость, приобретаемую ракетой в поле тяготения, если известно отношение $\frac{M_t}{M_k}$

масс заряженной и незаряженной ракеты и ее собственное ускорение p. Это последнее, мы знаем, не должно превышать 4-кратного ускорения земной тяжести, чтобы быть безвредным для человеческого организма. При $p = 4g$ имеем

$$e^{\frac{v_1}{c}} = \left(\frac{M_t}{M_k}\right)^{\frac{3}{4}}.$$

Формулы эти не принимают, конечно, в расчет сопротивления воздуха.

Полезное действие свободной ракеты и ракетного экипажа

Подсчитаем, какую долю энергии потребляемого горючего ракета переводит в полезную механическую работу.

Обозначим, как прежде, массу свободной ракеты до взрывания через M_t, после взрывания — через M_k; масса израсходованного горючего выразится тогда через $M_t - M_k$, скорость вытекания газа — c. Живая сила вытекающих газов, т. е. кинетическая энергия, равна

$$\frac{1}{2}(M_t - M_k)c^2.$$

Это — полное количество энергии, какое способно развить находящееся в ракете горючее. Получаемая же полезная работа, т. е. кинетическая энергия ракеты при скорости v, равна

$$\frac{1}{2}M_k v^2.$$

Отношение второй величины к первой и есть коэффициент k полезного действия свободной ракеты:

$$k = \frac{1}{2}M_k v^2 : \frac{1}{2}(M_t - M_k)c^2 = \frac{M_k}{M_t - M_k} \times \frac{v^2}{c^2},$$

или

$$k = \frac{\left(\frac{v}{c}\right)^2}{\frac{M_t}{M_k} - 1}. \qquad (3)$$

Из формулы (1) имеем, что

$$\frac{M_t}{M_k} - 1 = e^{\frac{v}{c}} - 1.$$

Значит, в среде без тяжести полезное действие ракеты:

$$k = \frac{\left(\frac{v}{c}\right)^2}{e^{\frac{v}{c}} - 1}. \qquad (4)$$

Оно достигает наибольшей величины при $\frac{v}{c} = 1{,}6$ и равно тогда 65%.

Если $\frac{v}{c}$ невелико, можно формулу (4) упростить, исходя из того что

$$e^{\frac{v}{c}} = 1 + \frac{v}{c} + \frac{1}{2} \times \frac{v^2}{c^2} + \ldots$$

Тогда

$$k = \frac{\left(\frac{v}{c}\right)^2}{\frac{v}{c} + \frac{1}{2} \times \frac{v^2}{c^2}} = \frac{1}{\frac{c}{v} + \frac{1}{2}}.$$

В среде тяжести выражение для k сложнее; для случая вертикального подъема его нетрудно вывести, подставив в формулу (3) соответствующее значение $\frac{M_t}{M_k}$ из формулы (1).

Иначе выразится коэффициент k полезного действия ракетного экипажа (вообще — несвободной ракеты), где существенную роль играют помехи движению, как трение и сопротивление воздуха. Рассмотрим случай равномерного движения авторакеты, т. е. случай, когда работа ракеты равна работе сопротивлений. Так как импульс силы равен количеству движения, то, обозначая через f силу, выбрасывающую продукты взрыва (она равна силе, увлекающей автомобиль), а через t — продолжительность движения, имеем

$$ft = (M_t - M_k)c,$$

где M_t — масса автомобиля до взрывания, M_k — его масса после взрывания; c — скорость вытекания газа. Для удобства обозначим $M_t - M_k$, т. е. запас горючего, через Q, тогда

$$f = \frac{Qc}{t}.$$

Полезная же работа автомобиля равна:

$$fs = \frac{Qc}{t} \times vt = Qcv,$$

так как путь $s = vt$, где v — скорость автомобиля.

Энергия, затраченная при этом, составляется из двух частей: 1) из той, которая была израсходована на приведение горючего в равномерное движение со скоростью v; эта часть равна $\frac{1}{2}Qv^2$; 2) из той, которая расходуется на сообщение частицам отбрасываемых газов скорости c; часть эта равна $\frac{1}{2}Qc^2$. Вся затраченная энергия равна

$$\frac{1}{2}Qv^2 + \frac{1}{2}Qc^2.$$

Отсюда искомое полезное действие

$$k = \frac{Qcv}{\frac{1}{2}Qv^2 + \frac{1}{2}Qc^2} = \frac{2\frac{v}{c}}{1 + \frac{v^2}{c^2}}.$$

Оно достигает наибольшей величины при $v = c$, т. е. когда автомобиль движется со скоростью вытекания продуктов взрыва.

По этой формуле легко вычислить полезное действие ракетного автомобиля; например, для $c = 2000$ м/с и $v = 200$ км/ч = 55 м/с:

$$k = 5{,}5\%.$$

Чтобы соперничать в экономичности с обыкновенным автомобилем, полезное действие которого около 20%, авторакета должна обладать скоростью не ниже 760 км/ч. Но подобная скорость для колесного экипажа практически недопустима, так как сопряжена с опасностью разрыва бандажей колес центробежным эффектом.

4. НАЧАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ПЕРЕЛЕТОВ

Начальная скорость

Читатели пожелают, вероятно, узнать, как вычисляется скорость, с которой тело должно покинуть планету, чтобы преодолеть силу ее притяжения. Вычисление основано на законе сохранения энергии. Тело должно получить при взлете запас кинетической энергии, равный той работе, которую ему предстоит совершить. Если масса тела m, а искомая скорость v, то кинетическая энергия («живая сила») тела в момент взлета

$$\frac{mv^2}{2}.$$

Работа же, совершаемая силой при перемещении с поверхности планеты в бесконечность (при отсутствии других центров притяжения), равна, как устанавливает небесная механика,

$$-\frac{kmM}{R},$$

где M — масса планеты, R — ее радиус, а k — так называемая постоянная тяготения (см. Приложение 1). Абсолютную величину этой работы приравниваем к кинетической энергии:

$$\frac{kmM}{R} = \frac{mv^2}{2},$$

откуда

$$v^2 = \frac{2kM}{R}.$$

Далее, мы знаем, что вес тела на поверхности планеты, т. е. сила, с какою планета его притягивает, равен, по закону тяготения:

$$\frac{Mkm}{R^2},$$

если масса тела m. Механика дает нам также и другое выражение для веса — произведение массы на ускорение, ma.

Значит,

$$ma = \frac{kmM}{R^2},$$

откуда

$$\frac{kM}{R} = aR,$$

и, следовательно, формула

$$v^2 = \frac{2kM}{R}$$

принимает вид:

$$v^2 = 2aR,$$

откуда

$$v = \sqrt{2aR}.$$

Подставляя вместо a — ускорение тяжести на планете, а вместо R — радиус, получаем величину скорости, с какою тело навсегда покидает планету. Например, для Луны a = 1,62 м/с^2, R = 1 740 000 м. Поэтому искомая скорость

$$v = \sqrt{2 \times 1{,}62 \times 1\,740\,000} = 2{,}38 \text{ км/с}.$$

На том же можно основать вычисление начальной скорости снаряда или ракеты, которые, покинув Землю, должны долететь до точки равного притяжения между Землей и Луной. Масса Земли в 81 раз больше массы Луны, а так как сила притяжения уменьшается пропорционально квадрату удаления, то притяжения Земли и Луны уравниваются на расстоянии от Земли в 9 раз большем, чем от Луны (тогда притяжение Земли ослабеет в 9×9, т. е. в 81 раз больше, чем притяжение Луны). Значит, точка равного притяжения лежит в 0,9 расстояния между Землей и Луной; последнее равно 60,3 радиуса R земного шара, так что ядро должно пролететь расстояние $D = 0{,}9 \times \times 60{,}3R = 54{,}3R$. Обозначив искомую скорость, с какою тело должно покинуть Землю, через v, имеем для кинетической энергии тела в момент вылета $\frac{mv^2}{2}$, где m — масса тела. Произведенная же этим телом работа, по законам небесной механики, равна потерянной потенциальной энергии, т. е. разности потенциальной энергии E_1 и E в конечной и начальной точках пути. Поэтому

$$\frac{mv^2}{2} = E_1 - E.$$

Здесь E_1 есть потенциальная энергия тела в конечной точке пути по отношению к Земле и Луне. Первая часть потенциальной энергии равна

$$-\frac{kmM}{D},$$

где k — постоянная тяготения, M — масса Земли, m — масса брошенного тела, D — расстояние тела от центра Земли в конечной точке пути.

Вторая доля равна потенциальной энергии (по отношению к Луне):

$$-\frac{kmM_1}{d},$$

где k и m имеют прежние значения, M_1 — масса Луны, d — расстояние тела от центра Луны в конечной точке пути.

Величина E есть потенциальная энергия тела (в точке земной поверхности) по отношению к Земле и Луне. Она равна

$$-\frac{kmM}{R} - \frac{kmM_1}{L},$$

где R — радиус Земли, L — расстояние от поверхности Земли до центра Луны, а k, m, M и M_1 имеют прежние значения.

Итак,

$$\frac{mv^2}{2} = E_1 - E = \left(-\frac{kmM}{D} - \frac{kmM_1}{d}\right) - \left(-\frac{kmM}{R} - \frac{kmM_1}{L}\right),$$

или

$$\frac{v^2}{2} = \frac{kM}{R} + \frac{kM_1}{L} - \frac{kM}{D} - \frac{kM_1}{d}.$$

Подставим:

$$M_1 = 0{,}012M, \quad D = 54{,}3R,$$
$$L = 59{,}3R, \qquad d = 6R.$$

Имеем:

$$\frac{v^2}{2} = \frac{kM}{R} + \frac{k \times 0{,}012M}{59{,}3R} - \frac{kM}{54{,}3R} - \frac{k \times 0{,}012M}{6R},$$

или

$$\frac{v^2}{2} \approx 0{,}98 \times \frac{kM}{R} = 0{,}98gR,$$

откуда

$$v = \sqrt{1{,}96gR}.$$

Известно, что

$$g = 9{,}8 \text{ м/с}^2;$$
$$R = 6370 \text{ км}.$$

Выполнив вычисления, получаем искомую скорость

$$v = 1\ 107\ 000 \text{ см/с} = 11{,}07 \text{ км/с}.$$

Указанным способом можно вычислить скорость и в других подобных случаях. Например, для определения скорости ракеты, взлетающей с Луны по направлению к Земле, имеем уравнение:

$$\frac{mv^2}{2} = -\frac{kMm}{54R} + \frac{kM_1m}{6R} - \frac{kMm}{60R} + \frac{kM_1m}{0{,}27R}.$$

Здесь предполагается, конечно, что ракета должна достичь лишь точки равного притяжения, откуда начнется падение на Землю. Зная, что масса M_1 Луны равна $\frac{M}{81}$, где M — масса Земли, имеем (после сокращения на m):

$$\frac{v^2}{2} = -\frac{kM}{54R} + \frac{kM}{486R} - \frac{kM}{60R} + \frac{kM}{22R} = -\frac{gR}{54} + \frac{gR}{486} - \frac{gR}{60} + \frac{gR}{22},$$

откуда $v = 2{,}27$ км/с — на сто метров меньше, чем скорость, вычисленная без принятия в расчет притяжения Земли. С такой же скоростью

должно удариться о лунную почву тело, падающее на Луну из точки равного притяжения, имея Землю позади себя.

Так производится расчет наличной скорости для артиллерийского снаряда, скорости, имеющей максимальное значение на земной поверхности. В случае ракеты скорость на уровне земной поверхности равна нулю и постепенно растет по мере взлета ракеты, пока не прекратится горение заряда. Следовательно, максимальную свою скорость ракета приобретает на некоторой высоте над Землей, где напряжение тяжести, естественно, меньше, чем на уровне моря. Поэтому максимальная скорость, уносящая ракету в межпланетный полет, меньше, чем для пушечного снаряда. Вычислим ее, сделав предпосылку, что ракета летит с ускорением, равным утроенному ускорению земной тяжести.

Обозначим высоту, на которой ракета приобретает максимальную скорость v, через x. Известно, что $v^2 = 2 \times 3g \times x = 6gx$.

Потенциальная энергия единицы массы ракеты на уровне x равна, согласно предыдущему:

$$\frac{gR^2}{R + x}.$$

Потенциальная энергия той же единицы массы на высоте $54{,}3R$ (в точке равного притяжения) выражается суммой

$$\frac{gR^2}{54{,}3R} + \frac{0{,}16g \times (0{,}27R)^2}{6R} = 0{,}0204gR.$$

Потеря потенциальной энергии при перемещении ракеты с уровня x на уровень $54{,}3R$ составляет

$$\frac{gR^2}{R + x} - 0{,}0204gR$$

и должна, мы знаем, равняться кинетической энергии единицы массы ракеты, т. е. $-\frac{1}{2}v^2$, или $3gx$. Имеем уравнение:

$$\frac{gR^2}{R + x} - 0{,}0204gR = 3gx,$$

откуда $x = 0{,}2616$, $R = 0{,}2616 \times 6370 = 1666$ км.

Теперь из уравнения $v = 6gx$ находим $v = 9750$ м/с.

Итак, ракета, отвесно направляющаяся к Луне, достигает наибольшей своей скорости — $9\frac{3}{4}$ км/с — далеко за пределами земной атмосферы. Число секунд t, в течение которого накапливается эта

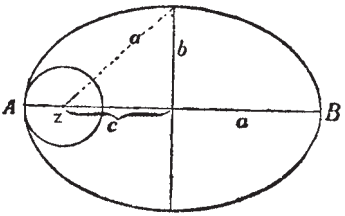


Рис.62. К расчету скорости полета

скорость, определяется из уравнения $9750 = 3 \times 9{,}8t$, откуда $t = 321$ с. Можно вычислить, что под действием земной тяжести ракета потеряет $321 \times 7{,}76 = 2490$ м своей секундной скорости (7,76 — средняя величина ускорения тяжести на протяжении 1666 км от земной поверхности). В общем итоге запас энергии, каким надо снабдить ракету для отвесного полета на Луну, должен отвечать скорости $9750 + 2490 = 12\,240$ м/с.

Сходным образом можно установить, что при отвесном подъеме ракеты с Луны она приобретает максимальную скорость (2300 м/с) на высоте 90 км, после 76 с подъема. И обратно: падая от точки равного притяжения на лунную поверхность, ракета должна начать замедление полета на высоте 90 км, чтобы при ускорении (отрицательном) $3g$ свести свою 2300-метровую скорость к нулю.

Вычисляя скорость, с какою тело должно покинуть Землю для удаления в бесконечность, мы принимали, что Земля — единственный центр, притяжение которого тело должно при этом преодолеть. На самом же деле приходится считаться также и с притяжением Солнца. Чтобы учесть это обстоятельство, установим сначала зависимость между скоростью тела на орбите и другими величинами.

По второму закону Кеплера, площади, описываемые радиусом-вектором в равные времена, равны. Пусть тело (планета) движется вокруг Солнца по эллипсу с полуосями a и b; период обращения T секунд, секундная скорость v, радиус-вектор r; тогда для точек перигелия и афелия имеем равенство

$$\frac{vr}{2} = \frac{\pi ab}{T},$$

где левая часть есть выражение (приближенное) для площади, описываемой радиусом-вектором за одну секунду, а πab — площадь эллипса. Имеем:

$$v = \frac{2\pi ab}{rT}. \qquad (5)$$

Пусть теперь тело (звездолет, планета), движущееся вокруг Солнца по круговой орбите радиусом r, должно перейти в точке A своего пути на эллиптическую орбиту с полуосями a и b. Определим, какое для этого необходимо изменение скорости.

Из третьего закона Кеплера следует, что отношение квадрата периода обращения планеты к кубу ее среднего расстояния от Солнца (или большой полуоси) есть величина постоянная; для планет Солнечной системы эта постоянная равна (в единицах системы СГС)

$$\frac{T^2}{a^3} = 3 \times 10^{-25},$$

откуда

$$T = \sqrt{3 \times 10^{-25} a^3} = 5{,}47 \times 10^{-13} \sqrt{a^3}.$$

Отсюда имеем скорость v кругового движения около Солнца на расстоянии r:

$$v_к = \frac{2\pi r}{T} = \frac{1{,}15 \times 10^{13}}{\sqrt{r}}. \qquad (6)$$

Обращаясь к эллиптической орбите, имеем прежде всего

$$b = \sqrt{a^2 - c^2} = \sqrt{(a - c)\,(a + c)} = \sqrt{r(2a - r)}.$$

Из формулы (5) мы знаем, что скорость $v_э$ движения по эллиптической орбите в точке A

$$v_э = \frac{2\pi ab}{rT} = \frac{2\pi a}{T} \times \frac{b}{r} = \frac{1{,}15 \times 10^{13}}{\sqrt{a}} \times \frac{b}{r} =$$

$$= \frac{1{,}15 \times 10^{13}}{\sqrt{a}} \times \frac{\sqrt{r(2a - r)}}{r} = \frac{1{,}15 \times 10^{13}}{\sqrt{r}} \sqrt{2 - \frac{r}{a}}. \qquad (7)$$

Так как скорость $v_к$, движения по круговой орбите (см. (6))

$$v_к = \frac{1{,}15 \times 10^{13}}{\sqrt{r}},$$

то из сопоставления формул (6) и (7) имеем

$$v_э = v_к \sqrt{2 - \frac{r}{a}}. \qquad (8)$$

По этой формуле и вычисляется скорость, какую необходимо сообщить звездолету, чтобы с круговой орбиты он перешел на эллиптическую или удалился в бесконечность. В последнем случае полагаем большую полуось a эллипса равной бесконечности. Имеем:

$$v_\infty = v_к \sqrt{2 - \frac{r}{\infty}} = v_к \sqrt{2},$$

т. е. для удаления звездолета с круговой орбиты в бесконечность необходимо, чтобы круговая скорость его увеличилась в $\sqrt{2}$ раз. Так, для удаления с земной орбиты (соответствующая скорость 29,6 км/с) в бесконечность нужна скорость

$$v_\infty = 2{,}96\sqrt{2} = 41{,}8,$$

т. е. приращение скорости 41,8 – 29,6 = 12,2 км/с.

Теперь мы можем вычислить скорость, какая должна быть сообщена звездолету для преодоления притяжения Земли и Солнца и, следовательно, для свободного удаления с Земли в бесконечность. Чтобы преодолеть притяжение, нужна начальная скорость 11,2 км/с, т. е. работа (живая сила) для каждого килограмма веса звездолета.

$$\frac{11\,200^2}{2g} \text{ кгм.}$$

Чтобы преодолеть солнечное притяжение, нужна работа (v = = 12 200 м/с)

$$\frac{12\,200^2}{2g} \text{ кгм.}$$

Общая работа для преодоления совокупного притяжения Земли и Солнца равна

$$\frac{11\,200^2 + 12\,200^2}{2g}.$$

Искомая скорость x получается из уравнения:

$$\frac{x^2}{2g} = \frac{11\,200^2 + 12\,200^2}{2g},$$

откуда

$$x = \sqrt{11\,200^2 + 12\,200} = 16\,600 \text{ м/с}.$$

Вычислим теперь начальные скорости, необходимые для достижения планет Марса и Венеры. Для Марса

$$a = \frac{150 \times 10^6 + 228 \times 10^6}{2} = 189 \times 10^6 \text{ км}.$$

Поэтому из формулы (8) имеем

$$v = 29{,}6\sqrt{2 - \frac{150}{189}} = 32{,}6 \text{ км/с},$$

т. е. нужна добавочная скорость 32,6 – 29,6 = 3 км/с.

Искомая скорость для преодоления совокупного притяжения Земли и Солнца вычисляется, как сейчас было показано:

$$v_{\text{м}} = \sqrt{11{,}2^2 + 3^2} = 11{,}6 \text{ км/с}.$$

Таким же образом определяем, что для достижения Венеры нужна начальная скорость, не меньшая

$$v_{\text{в}} = \sqrt{11{,}2^2 + 2{,}5^2} = 11{,}4 \text{ км/с}.$$

Продолжительность перелетов

Перелет на Венеру. Продолжительность этого перелета, при условии минимальной затраты горючего, определится, если будет известен период обращения воображаемой планеты по эллипсу *TV* (рис. 63). Если *S* — Солнце, то $ST = 150 \times 10^6$ км, $SV = 108 \times 10^6$ км; среднее расстояние воображаемой планеты от Солнца равно $\frac{1}{2}(150 + 108) \times 10^6 = 129 \times 106$ км. По третьему закону Кеплера,

$$\frac{x^2}{225^2} = \frac{(129 \times 10^6)^3}{(108 \times 10^6)} = \frac{215}{126} = 1{,}7,$$

где x — продолжительность обращения воображаемой планеты, а 225 суток — продолжительность обращения Венеры.

$$x = 225\sqrt{1{,}7} = 293 \text{ сут}.$$

Значит, полет в один конец займет 147 суток.

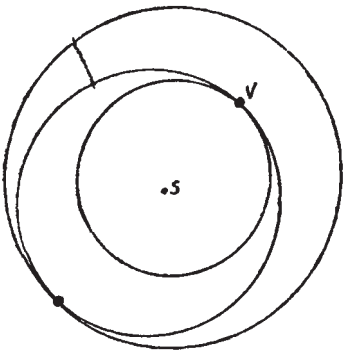


Рис. 63. Маршрут перелета с Земли *(T)* на Венеру *(V)*

Перелет на Марс. Время перелета определяется из пропорции:

$$\frac{y^2}{365{,}25^2} = \frac{\left[\frac{1}{2}(228 + 150)\right]^3}{150^3} = \frac{189^3}{150^3} = \frac{675}{338} = 2,$$

откуда

$$y = 519 \text{ сут}.$$

Значит, перелет в один конец продлится 259 суток.

5. ВНЕЗЕМНАЯ СТАНЦИЯ

Для относящихся сюда расчетов воспользуемся рис. 62. Круг радиуса r пусть изображает земной шар, а эллипс — тот путь, по которому звездолет из точки A земной поверхности (экватора) долетает до круговой орбиты искусственного спутника.

Прежде всего вычислим, каков должен быть радиус круговой орбиты (не изображенной на чертеже) этого спутника, чтобы время его обращения равнялось земным суткам. Применим третий закон Кеплера, зная, что Луна обходит Землю за 27,3 суток на расстоянии 60,3 земного радиуса от центра Земли:

$$\frac{27{,}3^2}{1^2} = \frac{60{,}3^3}{x^3},$$

откуда

$$x = \sqrt[3]{\frac{60{,}3^3}{27{,}3^2}} = \frac{60{,}3}{9{,}06} = 6{,}66.$$

Итак, внеземная станция должна находиться на расстоянии 6,66 земного радиуса от центра Земли, чтобы период обращения равнялся 24 ч.

Скорость, которую нужно сообщить на Земле звездолету, чтобы он достиг орбиты такого искусственного спутника, есть скорость в точке A эллипса (см. рис. 62). Вычислим ее по формуле (8):

$$v_A = v_к \sqrt{2 - \frac{r}{3{,}83r}}\, v_к \times 1{,}32.$$

Здесь $v_к$ — скорость свободного кругового обращения небесного тела около центра Земли на расстоянии одного земного радиуса, т. е. 7,92 км/с. Следовательно, искомая скорость v_A отлета

$$v_A = 7{,}92 \times 1{,}32 = 10{,}5 \text{ км/с}^*.$$

С какой скоростью звездолет достигнет орбиты искусственного спутника? Другими словами: какова скорость в точке B эллипса, противолежащей точке A? Находим ее, пользуясь вторым законом Кеплера; так как площади, описываемые радиусами-векторами в одну секунду, равны, то

$$10{,}5 \times r = x \times 6{,}66\, r,$$

откуда

* Строго говоря, немного меньше, если воспользоваться суточным движением точек экватора.

$$x = \frac{10{,}5}{6{,}66} = 1{,}6 \text{ км/с}.$$

Сравним ее со скоростью движения внеземной станции по своей круговой орбите; последняя скорость, очевидно, в 6,66 раза больше скорости движения точек земного экватора (0,465 км):

$$0{,}465 \times 6{,}66 = 3{,}1 \text{ км/с}.$$

Значит, звездолету понадобится еще дополнительная скорость в 3,1 – 1,6 = 1,5 км/с, чтобы пристать к внеземной станции.

Далее, скорость, с какою звездолет должен покинуть внеземную станцию для достижения, например, орбиты Луны, вычислим по формуле (8), вообразив соответствующий эллипс, охватывающий орбиту станции и касающийся изнутри орбиты Луны:

$$v_{\text{Л}} = v_c\sqrt{2 - \frac{6{,}66}{33{,}5}} = v_c\sqrt{1{,}8} = 1{,}34 \times v_c.$$

Так как скорость станции (v_c) равна 3,1 км/с, то искомая скорость равна 1,34 × 3,1 = 4,1 км/с.

Это всего на 300 м меньше той скорости, какая нужна здесь для полного освобождения от земного притяжения

$$3{,}1 \times \sqrt{2} = 4{,}4 \text{ км}.$$

Если принять во внимание, что сама станция-спутник обладает скоростью в том же направлении, то для достижения Луны с внеземной станции понадобится лишь дополнительная скорость в 4,1 – – 3,1 = 1 км/с.

Соответствующее отношение $\frac{M_t}{M_k}$ масс заряженной и незаряженной ракет, при скорости вытекания газа 4000 м, равно

$$\frac{M_t}{M_k} = e^{\frac{1000}{4000}} = e^{0{,}25} = 1{,}28.$$

Масса горючего должна составлять менее $^1/_2$ массы ракеты после взрывания. Даже если мы желаем, чтобы звездолет мог *возвратиться* на внеземную станцию, т. е. чтобы он сохранил запас горючего, достаточный для торможения (0,28 окончательной массы), мы должны снабдить его первоначально запасом горючего, составляющим только 0,4 веса всей заряженной ракеты. Отсюда очевидна огромная выгода создания внеземной станции в смысле облегчения остальных задач звездоплавания.

6. ДАВЛЕНИЕ ВНУТРИ ПУШЕЧНОГО СНАРЯДА

Нам придется пользоваться лишь двумя формулами равноускоренного движения, именно:

1) скорость v в конце t-й секунды равна at, где a — ускорение:

$$v = at.$$

2) пространство S, пройденное в течение t секунд, определяется формулой:

$$S = \frac{at^2}{2}.$$

По этим двум формулам легко определить (разумеется, только приблизительно) ускорение снаряда, когда он скользил в канале исполинской жюль-верновской пушки.

Нам известна из романа длина пушки — 210 м: это есть пройденный путь S. Романист указывает и скорость снаряда у выхода из орудия — 16 000 м/с. Данные эти позволяют нам определить прежде всего величину t — продолжительность движения снаряда в канале орудия (рассматривая это движение как равномерно ускоренное). В самом деле:

$$v = at = 16\,000,$$

$$210 = S = \frac{at \times t}{2} = \frac{16\,000 \times t}{2} = 8000t,$$

откуда

$$t = \frac{210}{8000} = \frac{1}{40}.$$

Итак, оказывается, что снаряд скользил внутри пушки всего 40-ю долю секунды.

Подставив $t = \frac{1}{40}$ в формулу $v = at$, имеем $16\,000 = \frac{a}{40}$, откуда $a = 640\,000$ м/с^2.

Значит, ускорение снаряда при движении в канале равно 640 000 м/с^2, т. е. в 64 000 раз больше ускорения силы земной тяжести.

Какой же длины должна быть пушка, чтобы ускорение это было всего в 20 раз больше ускорения тяжести (т. е. равнялось 200 м/с)?

Это — задача, обратная той, которую мы только что решили. Данные: $a = 200$ м/с; $v = 11\,000$ м/с (при отсутствии сопротивления атмосферы такая скорость достаточна).

Из формулы $v = at$ имеем:

$$11\,000 = 200t,$$

откуда $t = 55$ с.

Из формулы

$$S = \frac{at^2}{2} = \frac{at \times t}{2}$$

получаем, что длина пушки должна равняться

$$\frac{11\,000 \times 55}{2} = 302\,500 \text{ м},$$

т. е. круглым счетом около 300 км.

7. НЕВЕСОМОСТЬ СВОБОДНО ПАДАЮЩИХ ТЕЛ

Положение, что свободно падающее или брошенное вверх тело ничего не весит, представляется многим настолько необычным и неожиданным, что его готовы принять за физический софизм (вывод правдоподобный, но ложный). Уместно будет поэтому указать на несколько опытов, могущих подтвердить правильность этого утверждения.

Первый опыт подобного рода, насколько мне известно, выполнен был знаменитым Лейбницем. Он привешивал к чашке весов довольно длинную, наполненную водой трубку; на поверхность воды помещал металлический шарик, пустой внутри и закрытый. Устанавливал равновесие, затем открывал отверстие плавающего шарика, шарик наполнялся водой и падал вниз. Во время движения шарика соответствующая сторона весов становилась легче, чашка с разновесками перетягивала (Фишер «История физики»). Целый ряд опытов подобного рода был выполнен около 1892–1893 гг. известным физиком проф. Н. А. Любимовым. Из этих остроумных опытов, странным образом преданных забвению*, укажем следующие.

* В русских книгах (не считая очень редкой теперь брошюры самого Н. А. Любимова и его журнальных статей) я не нашел упоминания об этих опытах, и только в немецком сочинении Г. Гана «Physikalische Freihandversuche» встречается описание некоторых из них. Пользуюсь случаем с благодарностью отметить, что первым указанием на принадлежность описываемых далее опытов проф. Н. А. Любимову я обязан любезности проф. А. В. Цингера.

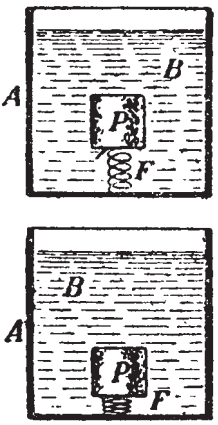


Рис. 64. Отмена закона Архимеда в падающей системе

1. Маятник с твердым стержнем, привешенный к вертикальной доске, отводится в сторону и удерживается в этом положении штифтом. Когда доске с этим маятникам дают свободно падать, вынув штифт, удерживающий маятник, то последний остается в отклоненном положении, не обнаруживая стремления раскачиваться*.

2. К такой же доске прикрепляют стеклянную трубку в наклонном положении: вверху трубки кладут на ее скошенный край тяжелый шарик, удерживаемый штифтом. В момент падения доски штифт удаляют, но шарик остается вверху трубки, не скатываясь внутрь ее.

3. На той же доске укрепляют магнит, а под ним на палочку кладут железную полоску (якорь) на таком расстоянии, чтобы магнит не мог ее поднять. Во время падения доски с магнитом и якорем последний притягивается магнитом.

4. Закон Архимеда утрачивает свое значение при падении системы. Представим себе, что в сосуд с водою погружена пробка (рис. 64). Пружина удерживает ее в воде вопреки давлению жидкости снизу вверх, повинуясь которому пробка всплыла бы наверх. Во время падения сосуда с пробкой *A* этого давления снизу вверх нет (так как давление жидкости обусловлено в данном случае ее весомостью), и пробка опускается вниз (Н. А. Любимов «Из физики системы, имеющей переменное движение»).

Отметим еще одно любопытное явление: жидкость из сосуда в падающей системе, под давлением больше атмосферного, вытекает прямолинейной струей, без параболического изгибания.

> «Явления того же порядка, — пишет Н. А. Любимов в упомянутой выше брошюре, — могут быть наблюдаемы, в известной степени, не только при свободном падении системы, но и в системе, катящейся вниз по наклонной плоскости или качающейся. Опыты с катящейся по наклонной плоскости или качающейся системой могут быть произведены с тем большим удобством, что наблюдатель сам может поместиться в скатывающейся или качающейся системе (катиться с горы, качаться на качелях) и следить за явлением. Нет особого затруднения устроить и свободно

* Это явление принимается в соображение при устройстве для лифтов и клетей (в шахтах) безопасных приспособлений, которые должны автоматически начать действовать в случае разрыва подъемного каната.

падающую систему с помещенным в ней наблюдателем, озаботившись, чтобы падающая система — например, корзина на перекинутой через блок веревке — достигала Земли без толчка, с утраченною уже скоростью»*.

Вопрос этот — несмотря на элементарность — почти не затрагивается ни в учебниках, ни в большинстве общедоступных книг по физике. Укажем поэтому несколько сочинений, в которых он рассматривается с той или иной стороны (начинаем с более общедоступных):

В. Л. Розенберг. Первые уроки физики. 1914**.

Я. И. Перельман. Занимательная физика. 1931.

Я. И. Перельман. Знаете ли вы физику? Изд. 2-е.

К. Э. Циолковский. Грезы о земле и небе. 1935.

Н. А. Любимов. Из физики системы, имеющей переменное движение. 1893.

Герман Ган. Физические опыты. Русский перевод в издании «Физика любителя». 1911. Ч. I, 48. Сила тяжести.

А. Поспелов. Об относительной потере веса тел в падающей системе. 1913.

А. Поспелов. Мир переменной весомости тел.

В. Кирпичев. Беседы по механике.

Кроме того, с иной точки зрения о том же трактуется во многих книгах, посвященных общему принципу относительности.

8. ЧЕРЕЗ ОКЕАН НА РАКЕТЕ

Приводимая далее статья доктора медицины В. Шлера была помещена в немецком научном журнале «Die Umschau» в ноябре 1928 г. Под видом отчета корреспондента печати о первом рейсе ракетного самолета из Европы в Америку, состоявшемся будто бы в 1928 г., автор рисует картину будущего ракетного перелета через океан.

В подлиннике статья озаглавлена «За 26 минут в Америку. Отчет нашего специального корреспондента». Перевод сделан с несущественными сокращениями.

---

* В 90-х гг. XIX века подобное устройство было предложено (но, кажется, не осуществилось) во Франции в качестве развлечения для любителей сильных ощущений; камера с посетителями должна была падать с высокой башни в бассейн с водою; погружаясь в воду, камера замедляет свое движение, останавливается и затем всплывает.

** Соответствующая статья В. Л. Розенберга вошла в составленную мною «Физическую хрестоматию» (1924), вып. I.

«Стратосферный полет представителей печати назначен был на сегодня в 13 часов. Прибыв на Темпельгофский аэродром, мы были встречены членами президиума Союза звездоплавания, которые познакомили нас с особенностями ракетного полета. Аппарат, предназначенный для стратосферы, по внешности напоминает обыкновенные гражданские самолеты и отличается от них лишь размерами и толщиной несущих плоскостей, внутри которых устроены кабины для пассажиров. Между кабинами помещается ракетный аппарат с выводной трубой, глядящей отверстием назад. На самолете установлена также реактивная группа, обращенная отверстиями вперед: она служит для торможения при спуске. Имеется и пара пропеллеров, которые при старте машины поднимают ее на известную высоту, прежде чем начнет работать спиртокислородная ракета.

Мы получили объяснения по поводу важнейших предметов оборудования стратоплана — например, аппаратов для добывания и очищения искусственного воздуха, для отопления и т. п., сходных с соответствующим оборудованием подводной лодки. Входная дверь закрывается герметически, а во время полета завинчивается наглухо. Окно кабины тоже плотно примыкает к стене; стекло свинцовое, темно-коричневое. Такое окно пропускает лишь немного дневного света, так что кабина, несмотря на ясный солнечный день, освещалась электрическими лампами. Стены и потолок мягко обиты изнутри кожей, пол покрыт пробковой массой. На потолке, на стенах, у скамей имеются многочисленные ременные петли, держась за которые, мы будем передвигаться в состоянии невесомости. Особенно интересны скамьи, устроенные в кабине поперек направления полета; это вогнутые, мягкие диваны, над которыми натягивается сетка. При значительном ускорении и быстром торможении аппарата очень важно, чтобы все предметы были укреплены неподвижно, а багаж был плотно уложен в мягкие, надежно закрывающиеся ящики.

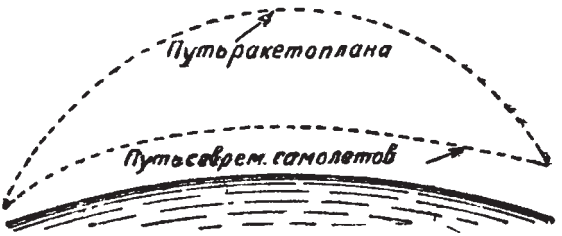


Рис. 65. Перелет в Америку через стратосферу

К самим ракетным аппаратам мы не были допущены, зато осмотрели помещение для пилота, которое, впрочем, мало отличалось от устройства, знакомого нам по обыкновенным самолетам, если не считать рычагов для пуска и включения ракетной группы. Заслуживают упоминания укрепленный здесь динамометр для измерения величины ускорения и замедления, затем актинометр для измерения коротковолнового излучения и прикрепленные на наружной стенке особые термометры для измерения низкой температуры стратосферы.

За объяснениями и осмотром наступило 20 минут 13-го часа; мы стали пристегивать наш багаж, разыскали наши ложа, накрылись сетками и надежно закрепили их крючками. Без 30 секунд 13 часов прозвучал сигнальный колокол, спустя 10 секунд — второй, и я с сильным сердцебиением ожидал старта. Ровно в 13 раздалась в громкоговоритель команда:

— Отчаливаем!

Одновременно донеслось жужжание пропеллеров, поднимавших аппарат с Земли. Мы летели так минуты три, когда прозвучал третий сигнальный колокол. Раздалось невероятное шипение, и я внезапно был придавлен со страшной силой к своему ложу Мне едва не сделалось дурно от этого усиленного движения. Кровь стучала в ушах; казалось, меня поборол какой-то великан. Сила, с которой напирала на мою грудь сетка, мешала мне свободно дышать, пот выступил на лбу, а связка ключей в кармане чувствительно вдавливалась в бедро. Костюм сразу стал чересчур тесен, рубашка стягивала туловище. Я сделал попытку двигать членами: рука, протянутая к карманным часам — потому что протекшие секунды казались мне чересчур долгими, — сразу отяжелела; казалось, она весила центнер (100 кг). Потея и кряхтя, я едва мог достать свои часы. Но, непривыкший к усиленной тяжести, я захватил их слишком слабо: с силою вырвались они из моей руки, проскользнули через ячейки сетки, разорвали часовую цепочку и со звоном ударились о противоположную стену. Обескураженный, я отказался от дальнейших попыток к движению и предоставил себя на волю судьбы.

Внезапно начались сильнейшие колики в области живота. Я напряг всю волю, чтобы не поддаваться боли, — как вдруг шипение ракеты умолкло. Сейчас еще меня придавливало к сетке дивана — теперь же я, как теннисный мяч, отлетел к противоположной стороне моего ложа. У меня было ощущение, будто я падаю с высокой горы в расщелину, и когда я вновь овладел своими чувствами, я крепко

держался руками за сетку. Аппарат все еще казался падающим, и каждую секунду я со страхом ожидал, что ракета ударится о волны Атлантического океана.

Громкоговоритель передал голос командира:

— Двадцать минут полной невесомости. Пассажиры могут отстегнуть сетки и двигаться свободно. Держитесь постоянно за ремни, чтобы ни обо что не ударяться и не ушибить друг друга.

Я переживал удивительное ощущение никогда еще не испытанной бесплотности, словно падал под водою и утратил сознание того, где верх и где низ. Закружилась голова; казалось, вся кабина тихо вращается вокруг меня. Я почувствовал потребность покинуть свое ложе и стать на ноги. Поспешно отстегнул я свою сетку, чтобы стать на пол, — и вдруг заметил, что свободно витаю в пространстве.

Неожиданно, как опытный пловец, подплыл ко мне в воздухе служитель стратоплана и ловко ухватился за один из ремней возле моего ложа. Его появление воскресило в моей памяти физические законы, относящиеся к состоянию невесомости; вместе с тем сразу исчезли все неприятные ощущения и проснулся живой интерес к совершающимся явлениям. Пока служитель занят был улавливанием обломков моих часов, витавших в пространстве, я подтянулся к окну кабины. Когда мы были на Земле, дневной свет едва пробивался через темное стекло — здесь же я видел сияющее Солнце, висевшее белым раскаленным шаром на черном небе. Возле самого Солнца блистали бесчисленные звезды, а неподалеку виден был серп молодого месяца. В свободной от пыли стратосфере была отчетливо видна и неосвещенная Солнцем часть лунного диска, залитая отраженным светом Земли. Яркое Солнце ослепляло меня; оно затмевало свет электрических ламп в кабине и рельефно освещало ее внутренность.

Часы показывали 13 часов 12 минут. Мы находились на высоте 50 км над земной поверхностью. Наружная температура была 54 °С ниже нуля; давление воздуха — только 1 мм ртутного столба. Хотя электрическое отопление было выключено, в кабине было довольно тепло благодаря тому, что обращенная к Солнцу наружная поверхность стратоплана была матово-черная: энергия лучей Солнца поглощалась и проводилась внутрь кабины. Подробности земной поверхности отсюда не различались: под стратопланом сияла лишь освещенная Солнцем туманная оболочка Земли.

Наступило время завтрака, но его, к сожалению, нельзя устроить на стратоплане. Хотя продвижение проглоченной пищи в пищеводе производится перистальтическими движениями, но в условиях неве-

сомости возникает опасность, что пища, особенно жидкая, попадет «не в то горло», т. е. в дыхательное горло, оттуда в легкие и вызовет здесь воспаление. После того как во время пробного полета такое неудачное глотание стоило жизни машинисту, еда и питье в стратоплане были безусловно воспрещены. Запрещение имеет еще и другое основание: хлебные крошки, капли воды, всякого рода пыль в среде без тяжести не оседают вниз, а носятся в воздухе; неосторожность одного пассажира может совершенно засорить воздух для дыхания; пришлось бы надевать особые маски и поспешно фильтровать воздух, чтобы задержать хотя бы часть пыли.

Я осведомился, не представляет ли для нас опасности «проникающее» излучение Кольхерстера*. Правда, Кольхерстер сам разъяснил, что это коротковолновое излучение даже в стратосферу проникает уже в столь ничтожном количестве, что вредное действие его на человеческий организм весьма маловероятно. Но все же пассажиры стратоплана не вполне ограждены от коротковолнового излучения Вселенной, так как оно действует на фотографическую пластинку в кассете, подобно рентгеновским лучам. По этой причине для окон нашей кабины и взято свинцовое стекло, до некоторой степени задерживающее коротковолновые лучи.

В 13 часов 24 минуты по громкоговорителю раздалась команда:

— Вернуться к своим койкам и накрыться предохранительными сетками.

Началось шипение тормозных ракет. На этот раз мне удалось легко перенести две неприятные минуты усиленной тяжести. Несчастный случай, свидетелем которого мне пришлось быть, сократил для меня этот длительно протекающий промежуток времени. Представитель спортивной прессы, сам страстный спортсмен, недооценил, по-видимому, опасностей усиленной тяжести: он отстегнул сетку, чтобы испытать это состояние на ногах. Искусственная тяжесть в нашем аппарате была в четыре раза сильнее нормальной — напряжение, которое можно переносить лишь лежа. Едва началось шипение ракет, как спортсмен судорожно схватился за ремень. Я хотел его предостеречь — но мой оклик опоздал: усиленная тяжесть вызвала прилив крови к нижней части его тела, лицо с каждой секундой становилось все бледнее, он выпустил ремень, как стрела налетел на соседнюю стенку и остался там неподвижен.

* Космические лучи, или лучи Гесса (часто называемые также лучами Милликена).

Тормозные ракеты прекратили свою работу, наш аппарат снижался, уменьшая остаток скорости действием особых рулей. Свет, проникающий сквозь окна, снова стал меркнуть и мутнеть, и после короткого планирования мы плавно спустились на Землю. Было $7^1/_2$ часов утра по американскому времени.

В номере гостиницы я быстро набросал отчет, и — новая сенсация! — донесения наши будут в 12 часов дня перекинуты в Германию на обертгоддардовой почтовой ракете; они прибудут в $6^1/_2$ часов по среднеевропейскому времени».

9. В РАКЕТЕ НА ЛУНУ

Рассказ проф. Г. Оберта

Ниже приводится из книги Г. Оберта «Пути к звездоплаванию» отрывок, представляющий собой научно-фантастический рассказ о перелете на Луну. Он дает наглядную картину того, как, по мнению знатока звездоплавания, будет протекать межпланетное путешествие.

«...Ракетой должен был управлять инженер Мюллер, мне же поручено было производство астрономических наблюдений.

В феврале 19** года ракета была готова и названа „Луной“. Чтобы испытать ее органы управления и регистрирующие аппараты, она была пущена без пассажиров на высоту 4200 км. Все ракеты этого типа устроены так, что могут подниматься и без пилота. Произошло это вот почему. Первоначально сооружались только маленькие аппараты, могущие поднимать полезного груза 0,5–1 кг. Так как их приходилось, конечно, пускать без пилота, то понадобилось изобрести приспособления, обеспечивающие сохранение ракетой надлежащего курса, — например, волчок, контролирующий положение руля, и т. п. Приспособления эти удержались впоследствии и на крупных ракетах, так как оказалось целесообразным снять с пилота заботы о многом таком, что он мог бы выполнить и сам; полезно освободить руки для астрономических наблюдений; к тому же машина работает хладнокровнее и точнее, чем человек.

Первый непассажирский подъем прошел удовлетворительно, и в начале марта Мюллер поднялся в ракете на 5000 км, чтобы проверить ее способность управляться пилотом... Он разыскал меня и сообщил, что предполагает в середине июня совершить облет вокруг Луны.

Начались приготовления к путешествию. Чтобы приучить пассажиров к усиленному давлению, их помещали в кабину, которая с помощью металлического рычага 200–400 м длины приводилась в круговое движение.

К середине июня я был уже подготовлен настолько, что мог совершить подъем на „Луне“. В мае я отправился в Индию, так как мы должны были взлететь с Индийского залива. В начале июня мне пришлось впервые увидеть нашу „Луну“. Это было стройное сооружение 35 м в длину и 10 м в поперечнике. Оно состояло из одной спиртовой и двух водородных ракет, рассчитанных так, что в итоге достигалась скорость 15 км/с. Разумеется, достаточна была начальная скорость всего в 11 км/с. Но, во-первых, максимальная скорость приобретается ракетой не сразу, а спустя лишь пять минут, причем сопротивление воздуха и земная тяжесть похищают 1 км скорости. Во-вторых, полезно иметь в запасе некоторое количество горючего, чтобы влиять на полет ракеты, если она отклонится от пути.

12 июня прибыл „Тагор“ с грузом горючего для нашего путешествия. Мы сели на пароход, взяли „Луну“ на буксир и отплыли.

14-го утром „Тагор“ остановился, и мы приступили к наполнению ракеты. Сначала через резервуары ракеты пропускался свежеиспаренный водород, чтобы охладить их стенки. Если бы жидкий водород был сразу налит в резервуары, металлические стенки их, вероятно, лопнули бы, как трескается горячий стакан, в который наливают холодную воду. К половине одиннадцатого наша ракета была покрыта толстым слоем льда и достаточно охлаждена, чтобы можно было ее наполнить. Толстые шланги протянулись от парохода к ракете — сначала к спиртовой, затем к водородным. „Луна“, до сих пор мелко плававшая на воде, стала задним концом погружаться в воду, выступая передним.

В 11 ч. 5 мин. наполнение было закончено. Мюллер и я забрались в каюту ракеты, закрыв за собой герметически дверь. Внутри было не совсем темно: через перископы проникало немного света. Я глянул в один из них и увидел наш „Тагор“, удаляющийся на всех парах. Он спешил уйти из зоны сильного волнения и смерчей, порождаемых вытекающими газами ракеты.

Мюллер стал возиться у стены. Раздалось слабое металлическое гудение, и зажглась маленькая электрическая лампочка.

— Пускаю в ход нашу динамо-машину, работающую, конечно, на водородном моторе, — сказал Мюллер. — Так. А теперь пустим в ход рулевые гироскопы. Когда мы отправляемся? — спросил он меня.

— В 11 часов 30 минут 46 секунд ракета должна на высоте 1230 километров иметь секундную скорость 10 700 метров. Возможно это?

Мюллер взглянул на указатель ускорения.

— Конечно, — отвечал он. — Помогите мне немного при аппаратах. Мы должны сняться с места в 11 часов 25 минут 30 секунд.

Через 5 мин. мы подготовили аппараты и пустили в ход большие насосы спиртовой ракеты. Оставалось только зажечь газ в камере сгорания. Мы извлекли койки, подвесили их в середине каюты и улеглись на них.

Металлические стенки резервуаров при температуре жидкого водорода сделались тверды, как стекло. Едва закипели сжиженные газы, раздался звон словно сотни колоколов.

Волнение моря укачивало нас. В 11 ч. 25 мин. газы под нами закипели сильнее; ракета дрожала. Еще через 24 сек. последовал толчок. Электрический зажигатель был включен, и ракета поднялась из воды.

Спустя несколько секунд кругом захрустело, словно река освобождалась от ледяных оков. Это растрескалась, благодаря особому механизму, ледяная корка, облекавшая ракету, и упала в море. И точно в 11 ч. 25 мин. 30 сек., секунда в секунду, наша ракета начала свой полет.

Усиленной тяжестью меня притиснуло к висячей койке. Невозможно было бы в этот момент стоять на ногах. В перископ заметил я кратероподобное углубление в воде моря, окруженное венцом белой пены: это было место, куда ударял поток газов, вытекавших из нашей ракеты. Спустя 25 сек. мы проносились уже через облачную пелену барашков, а еще через минуту я увидел на горизонте вершины Гималаев, хотя мы находились от них в тысяче километров. Прошла минута — и заряд спиртовой ракеты был исчерпан; эта часть нашей „Луны“ была отброшена, а с нею и первая оболочка, облекавшая ракету.

Теперь вступила в работу нижняя водородная ракета. Она вздрагивала, и нам казалось, что мы находимся на спине исполинского животного, силившегося от нас освободиться. Напоминало вздохи чудовища также пыхтение насосов, нагнетавших горючее в распылитель. Однажды дюзы испустили даже глухое, хриплое рычание, от которого все в каюте затряслось и зазвенело. Но Мюллер сумел все снова привести в порядок.

Через две минуты иссякли запасы горючего и в этой ракете; начала работать верхняя водородная ракета, от которой в большей сте-

пени зависел успех предприятия, чем от первых двух. Неисправность первых ракет обусловила бы то, что корабль не полетел бы на Луну и упал бы обратно в море; неисправность же третьей ракеты ставила на карту нашу жизнь. Недаром лучшие инженеры и механики Германии работали над нею почти целый год. Это было своего рода чудо техники. Ракета работала превосходно. У меня уже не было ощущения, что я нахожусь на ускоренно движущемся теле. Я чувствовал себя только отяжелевшим и словно уплотненным.

Спустя две минуты были израсходованы запасы и этой ракеты, а еще через две секунды всякое ощущение весомости исчезло. Я парил свободно в середине каюты.

— Итак, уберем койки и устроимся поудобнее, — сказал Мюллер.

Мы свернули койки, и Мюллер привел в действие приспособление, которое откинуло верхнюю оболочку ракеты. Каюта осветилась множеством окон.

Я был ошеломлен видом, открывшимся передо мной. Я парил в середине ракеты, и малейшего плавательного движения было достаточно, чтобы привести меня в желаемое место. Только теперь заметил я ряд ременных поручней, свисавших со стен. Не держась за них, невозможно было бы оставаться неподвижным.

Солнечный свет обильно лился через окна. Но они казались не светлыми, а черными и словно излучали холод, между тем как там, куда прямо падали лучи Солнца, скоро становилось почти горячо. Это оттого, что Солнце не освещает пустоты мирового пространства.

Блестящим диском висит оно на совершенно черном небе. Заслонив рукою глаза от Солнца, я стал постепенно различать на небе отдельные звезды. Небо было не темно-синим, как в наши темные ночи (на юге), а коричневатым, как закопченный фарфор. Казалось, мы витаем в центре необъятной сферы, на одной стороне которой круглилась Земля, занимавшая около третьей части неба. В другой стороне блистало Солнце, окруженное своеобразным сиянием в форме неправильного четырехугольника. Это так называемый зодиакальный свет — явление, которое обусловлено, по-видимому, мельчайшими пылинками, летающими около Солнца. Заслоняя рукой Солнце, я мог различать и лучи солнечной короны, видимой на Земле лишь в моменты полного солнечного затмения.

Недалеко от Солнца виднелся, словно из матового стекла, диск Луны. Она была обращена к нам своей ночной стороной и освещалась Землей. Это был первый случай, когда я видел месяц в фазе новолуния.

Однако мы не оставались без дела. Над каютой, под сложенным парашютом у нас запасено было большое вогнутое зеркало, которое мы и приспособили в качестве объектива телескопа. Маленькая зрительная труба в каюте служила окуляром. Мы обошлись в этом случае без большой трубы и тяжеловесной установки, так как невесомые части нашего телескопа сохраняли надлежащее взаимное положение без особых приспособлений.

Мы достигли увеличения в 100 000 раз при полном отсутствии воздуха, искажающего изображение.

— Недурно было бы вам облачиться в водолазный костюм и совершить со мной прогулку вне ракеты, — сказал Мюллер.

Мы надели наши „водолазные“ костюмы, изготовленные из резины и обтянутые металлическими обручами для защиты от разрыва внутренним давлением. Шлем был сделан наполовину из прозрачной массы, позволявшей глядеть во все стороны. На спине у нас имелся резервуар со сжатым воздухом, рассчитанный на $1–1^1/_2$ часа дыхания. Выдыхаемый воздух поступал в трубку с едким калием, поглощавшим углекислый газ (и делавшим его вновь годным для дыхания). Но мы могли также выпустить его через особый клапан наружу, получая при этом обратный толчок; благодаря этому мы имели возможность передвигаться в пустоте. Чтобы обеспечить себе возвращение в каюту, мы привязались к ней шнурами. В шнуры были вплетены телефонные провода; благодаря этому мы могли переговариваться, несмотря на то что в пустом пространстве звук не распространяется.

Мюллер стал объяснять мне наружное устройство нашей кабины.

— Кабина, как видите, с одной стороны покрыта черной бумагой. Вам известно, что Солнце не согревает пустого пространства; зато нагреваются все тела, озаряемые солнечными лучами, причем поверхности черные нагреваются сильнее, чем светлые. Однако черные поверхности и больше излучают тепла. Так как нам здесь недостаточно тепло, то мы поворачиваем кабину черной стороной к Солнцу, а светлой — к тени. Если нам придется со временем предпринять путешествие в области, более близкие к Солнцу, мы поступим наоборот.

Таким манером мы можем иметь в кабине всегда ту температуру, какую пожелаем. Окна нашей каюты закрываются зеркальными ставнями, чтобы оградить нас от воспаления глаз, неизбежного, когда подвергаешься непрерывному действию солнечных лучей. Кроме того, это сослужит нам хорошую службу, если мы очутимся в тени

крупного небесного тела; мы скинем тогда черную бумагу и заслоним окна блестящими ставнями. Знаком вам принцип термоса?

— Конечно: сосуд с блестящими стенками окружен пустым пространством; через теплопроводность он не может терять теплоту, так как в пустоте нет материи, способной ее проводить. Путем излучения теплота также не может теряться в заметном количестве, так как зеркальная поверхность плохо излучает энергию. В итоге содержимое остается горячим.

— Прекрасно; то же самое происходит и здесь: кабина с блестящими стенками окружена пустым мировым пространством... Взгляните-ка, однако, на часы, мне они не видны. Который час?

— Половина первого. Пора определить наше местоположение.

— Очень хорошо, а я займусь обедом. Итак, забираемся обратно в каюту!

Земля быстро уменьшалась. Теперь она казалась диском с красными краями, окаймленным голубой полоской. Над полюсами витали короной полярные сияния. На густо-черном, усеянном звездами фоне неба резко выделялись синие моря, темно-зеленые тропические страны, желтые пустыни, черные тундры, светло-зеленые степи, белые полярные области. А над ними парили снежно-белые облака.

Но я не мог долго любоваться всем этим. Надо определить наше местоположение, так как теперь самое удобное время исправить путь ракеты. Я взял в руки таблицы, где предвычислено было положение и видимые размеры Земли для каждого момента путешествия, и установил, что наша планета занимает как раз то положение и имеет ту угловую величину, которые были наперед вычислены. Значит, мы летели правильно. Затем я проверил исправность наших регистрирующих аппаратов.

Приступили к обеду. Суп пришлось не поглощать ложками из тарелок, а высасывать через алюминиевую трубку из шарообразных сосудов...

После обеда Мюллер извлек из ящика бутылку и приставил ее горлышком к моим губам.

— Так пить неудобно, Мюллер. Разве вы не захватили рюмок?

— Рюмки-то есть, но как вы их наполните?

— Как-нибудь да налью.

— Испытайте ваш способ на бутылке с водой.

Я наклонил бутылку. Вода не текла. В досаде я тряхнул бутылку — выскочила вода, ударилась в рюмку, вновь отскочила и разбилась на мелкие шарики, которые носились по каюте, натыкаясь на

стены, отпрыгивали назад, рассыпаясь на более мелкие капли. Вся каюта, словно роем комаров, наполнилась летающими каплями.

— Вы слишком погорячились. Вот как я устраиваюсь, — сказал Мюллер.

Он смочил кисть левой руки несколькими каплями и, держа мокрые пальцы у горлышка бутылки, потряхивал ею с помощью правой руки, отводя ее в то же время медленно назад. Мне казалось, что он извлекает из бутылки водяной шар. Когда он убрал руки, перед ним в самом деле витал шар воды.

— Подобие небесного тела, — объявил Мюллер и приблизил к шару эбонитовый гребень, предварительно наэлектризованный о сухие волосы: шар вытянулся в форме эллипсоида и поплыл к гребню.

...Я „лег спать“. Это надо понимать так, что я повис на двух поручнях, засунув в них руку и ногу. Ремни, конечно, не врезались в мое тело: ведь я был невесом.

Когда я проснулся в четыре часа, Мюллер уже был снаружи в своем водолазном снаряжении и делал опыты с электрическими лучами. Я забыл упомянуть, что одновременно с нашей ракетой в мировом пространстве летела еще и другая, которая и связалась с нами сигнализацией.

Я приступил к своей работе. Луну рано было еще наблюдать, но я мог хорошо видеть в этот день Марс и Юпитер.

В 9 часов вечера я закрыл ставни и устроился на покой. Слово „вечер“ надо понимать условно, так как наше положение относительно Солнца нисколько не изменилось. Мы не составляли теперь части Земли, мы были самостоятельным небесным телом. Вечер наступил не у нас, а в той точке Земли, откуда мы полетели.

К вечеру третьего дня (т. е. вечер был тогда в Индии) ракета приблизилась к Луне до расстояния 50 000 км. Мы различали узкий, озаренный Солнцем серп, который рос и ширился на наших глазах. Я мог установить наконец, что мы находились на 500 км ближе к Луне, чем следовало. Ошибку нетрудно было исправить, сообщив ракете ускорение (по направлению к Земле) в 1,35 м/с^2. Маневр этот отнял всего одну минуту, но оставил во мне впечатление, от которого я не мог освободиться до самого конца путешествия. До сих пор Земля была внизу, а Луна вверху сбоку. И вдруг — Земля оказалась вверху, а Луна внизу сбоку, ракета же при этом ничуть не повернулась, да и я не повернулся: все оставалось, как было до сих пор. Почему же у меня возникло такое ощущение? Это было словно снови-

дение. Ты не поворачиваешься, мир тоже не поворачивается — и все же ты чувствуешь, что находишься вовсе не в том положении, в каком был до сих пор! (Причина иллюзии — искусственная тяжесть, обусловленная ускорением.) Земля оказалась для меня снова внизу лишь тогда, когда наша ракета, возвратившись на Землю, закачалась в водах океана».

10. СТРАТОСФЕРА

Высшим слоям атмосферы уделяется здесь особое место потому, что исследование их явится ближайшим этапом развития ракетной техники. В настоящее время знания наши о физических условиях, господствующих в высоких областях атмосферы, скудны и во многом гадательны. Объясняется это отсутствием в нашем распоряжении подходящих средств для проникновения в крайние высоты атмосферы. Самый высокий подъем на самолете (мировой рекорд) — до высоты 14 575 м — совершен 21 ноября 1935 г. советским летчиком Коккинаки. Воздушные шары только 9 раз достигали выше 16 км*.

Шары-зонды, т. е. маленькие аэростаты без пилота, несущие измерительные приборы-самописцы, удавалось пускать до высоты 36 км. Выше — до 40 км — проникали только снаряды сверхдальнобойной немецкой пушки в 1918 г., — но стрельба эта не ставила себе исследовательских задач. Между тем верхняя граница земной атмосферы лежит гораздо выше. Полярные сияния, разыгрывающиеся на высоте 500 км и более над земной поверхностью, говорят о том, что даже в этих отдаленных областях имеются еще ощутительные следы воздуха. О физических условиях на подобных высотах приходится заключать, исходя лишь из теоретических соображений, которые опираются на наблюдения над ходом сумерек, над свечением метеоров, над распространением волн звука и радио.

По современным воззрениям, атмосфера расслаивается по высоте на два яруса: нижний, называемый *тропосферой*, и верхний — *стратосферу*.

---

* Надо ли напоминать, что из этих 9 подъемов три совершены советскими пилотами? У всех в памяти подъем стратостата «СССР-1» в 1933 г. на высоту 19 км (командир Прокофьев), подъем «ОАХ-1» в том же году на 22 км, поставивший превзойденный лишь в 1935 г. мировой рекорд высоты (командир Федосеенко), и подъем «СССР-1-бис» в 1935 г. на 16,2 км (командир Зилле). Высший подъем совершен американскими стратонавтами в ноябре 1935 г. — до высоты 22 066 м.

Такое расчленение присуще атмосфере не только нашей планеты, но также и некоторых других — например, Венеры, Юпитера, Сатурна. Различаются оба яруса, главным образом, по признаку распределения температуры. В нижнем ярусе, в тропосфере, температура с высотой падает примерно на $^1/_2$–1° с поднятием вверх на каждые 100 м. В стратосфере этого не происходит: начиная от нижней ее границы, лежащей в среднем на высоте 12 км*, до 36 км температура стратосферы остается неизменной. Замечательно, что стратосфера над экваториальным поясом гораздо холоднее, чем над умеренным и холодным поясами: в то время как у нижней границы стратосферы в экваториальных странах отмечен мороз в 70–90 °С, в полярных странах он достигает всего 50–45 °С. (Теория, предложенная советским аэрологом П. А. Молчановым, исчерпывающе объясняет это озадачивающее явление.)

Есть основания утверждать, что выше непосредственно исследованных высот (т. е. выше 36 км) температура стратосферы повышается. На высоте 40 км она близка к нулю Цельсия; на высоте 50 км господствует почти комнатная температура (+17 °С), на 60 км она равна температуре человеческого тела (+37 °С).

Помимо распределения температуры оба яруса атмосферы отличаются и рядом иных признаков. Тропосфера плотнее стратосферы, заключает почти всю влагу атмосферы и засорена пылью, отсутствующей в стратосфере. Август Пикар так описывает свои впечатления от пребывания в стратосфере на высоте 16 км:

> «Небо — самое захватывающее из того, что мы видели. Оно совершенно темное, глубоко синее, почти черное. Так и должно быть, потому что небо содержит здесь только десятую долю той массы воздуха, который образует небо, привычное для наших глаз. Вдесятеро меньшее число молекул извлекает из белого солнечного света синюю составную часть и рассеивает ее по всем направлениям. Далее от зенита небо светлеет; к горизонту оно еще светлее... Вокруг нас голубое небо резко ограничено горизонтальной линией — границей тропосферы. Последняя видна вдали совершенно белой, подобно морю облаков. Между нами и поверхностью Земли находится $^9/_{10}$ всей атмосферы (по массе). Внизу все кажется серым на сером».

Три особенности стратосферы представляют значительный интерес, не только теоретический, но и практический: 1) слой Хевисайда, 2) слой озона, 3) космические лучи.

---

* На экваторе стратосфера начинается на высоте 17–18 км; граница ее постепенно понижается с приближением к полюсам, где она расположена на высоте 8–9 км.

Слоем Хевисайда называют слой стратосферы, богатый ионизованными частицами (несущими электрический заряд) и свободными электронами. Этот газовый слой непроницаем для радиоволн — обстоятельство, имеющее первостепенное значение в радиопередаче на большие расстояния; можно сказать, что только существование слоя Хевисайда делает дальнюю радиопередачу возможной.

Слой Хевисайда расчленяется на два слоя: «нижний Н-слой» на высоте 100–150 км и «верхний Н-слой» на высоте 200–800 км. Нижний слой состоит из азота и кислорода, верхний — из водорода.

Слой озона. Озон — видоизменение кислорода; молекулы его состоят из трех атомов, между тем как молекулы кислорода составлены из двух атомов. В тропосфере озона очень мало; мнение, будто им богат воздух хвойного леса, основано на недоразумении. В сколько-нибудь значительных количествах скапливается он лишь в стратосфере, на высоте — по новейшим данным — 20 км. Озоновый слой имеет исключительно важное значение для обитателей земного шара: он поглощает ту часть ультрафиолетовых лучей, которая вредна для живых организмов; следовательно, слой озона обусловливает возможность существования органического мира на нашей планете.

Космические лучи — это особый род излучения, проникающий в земную атмосферу откуда-то извне, из далеких глубин Вселенной. Источник и условия возникновения этих лучей остаются пока загадкой, несмотря на давно (с 1900 г.) ведущиеся исследования. Неясна и физическая природа этих лучей, так сильно привлекающих к себе внимание ученых*. «Космическое излучение, — говорит один исследователь, — единственное в своем роде явление в современной физике по малости вызываемых им эффектов, по тонкости методов изучения, по смелости порождаемых им гипотез и по грандиозности выводов».

Космические лучи сильно поглощаются воздушной оболочкой Земли и потому в стратосфере проявляют свое действие значительно сильнее, чем близ земной поверхности — на высоте 16 км, например, в сотни раз.

В заключение привожу список книг на русском языке, посвященных стратосфере:

Труды Всесоюзной конференции по изучению стратосферы. 1935.

П. А. Молчанов. Тропосфера и стратосфера. 1934.

* Установлено лишь, что часть космического излучения представляет собой поток наэлектризованных частиц (электронов).

П. А. Молчанов. Полеты в стратосферу. 1935.

Н. А. Рынин. В стратосферу. 1934.

В. И. Виткевич. Стратосфера, ее основные свойства и методы исследования. 1935.

Ю. Бартельс. Физика высоких слоев атмосферы. 1934.

Ю. Бартельс. Высшие слои атмосферы. 1932.

Д. О. Святский. Что такое стратосфера. 1935.

Подробная литература предмета приведена: русская — в книге Святского, иностранная — в книгах Бартельса.

11. МЕЖПЛАНЕТНАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ

В связи с вопросом о возможности межпланетных сообщений интересно коснуться и другой естественно связанной с ним темы: межпланетных сношений с помощью оптических или иных сигналов. Ограничимся здесь беглой справкой.

Впервые в серьезной форме вопрос этот был поставлен в 20-х гг. XIX века знаменитым немецким математиком Гауссом. Немецкий астроном Груйтуйзен, горячий сторонник обитаемости Луны разумными существами, излагал проект Гаусса так:

> «Вот основная идея Гаусса: нужно показать жителям Луны то геометрическое построение, с помощью которого обыкновенно доказывается Пифагорова теорема. Средство — культура земной поверхности где-нибудь на громадной равнине. Чтобы изобразить геометрические фигуры, нужно пользоваться контрастом между темными полосами лесов и золотисто-желтыми площадями хлебных полей. Это удобнее сделать в стране, где жители только временно пользуются обрабатываемой землей и, следовательно, легко подчинятся указаниям. Таким образом, выполнение данной мысли не потребовало бы чрезмерных затрат. Гаусс говорил об этом с глубокой серьезностью. Он придумал еще один способ завязать сношения с обитателями Луны. Способ состоит в применении гелиотропа — прибора, изобретенного Гауссом и могущего служить не только для измерения углов с весьма длинными сторонами, но и для передачи сигналов. По мысли Гаусса, нет даже необходимости составлять из зеркал громадную отражающую поверхность; достаточно известного числа хорошо обученных людей, с самыми обыкновенными зеркалами. Следует выбрать время, когда обитатели Луны наверное смотрят на Землю — например, когда наша планета покрывает Венеру. Зеркала отбрасывают свет по направлению к Луне. Чтобы жители Луны узнали о нашем существовании, нужно прерывать этот свет через равные промежутки времени; так можно сообщить им числа, которые имеют большое

значение в математике. Конечно, чтобы эти знаки привлекли внимание, нужно выбрать подходящий день, когда яркость света, отраженного гелиотропом, будет особенно велика. Гаусс предпочитал математические знаки, потому что у нас и у обитателей далеких миров могут оказаться общими только основные математические понятия».

Попыток осуществить этот проект не делалось.

В 1890 г. много и оживленно обсуждался вопрос о сношении с помощью оптических сигналов с предполагаемыми обитателями Марса. При таком настроении умов некоторые замеченные на Марсе явления были приняты за световые сигналы. Как раз в то время, когда пылкие умы старались измыслить средства, чтобы установить сношения между планетами, некоторые наблюдатели, вооруженные весьма сильными телескопами, заметили своеобразные световые выступы на границе освещенной и ночной половин Марса. Выступы эти держались слишком долго, чтобы их можно было принять за цепь облаков; казалось, обширные области планеты начали светиться, едва над нами опускалась ночь... Для многих не оставалось сомнения, что здесь мы усматриваем огненные знаки с этого далекого мира. К сожалению, это не подтвердилось: Кемпбелл вполне понятным образом объяснил появление этих световых выступов как обширные горные области (залитые солнечным светом)... В 1892 и 1894 гг. световые места наблюдались опять. Они появлялись всего в определенных местах, именно лишь в тех желтых областях, которые астрономы считают материками. Кемпбелл дает следующее объяснение этому явлению:

«Марс находится от нас на расстоянии 63 миллионов километров. Мы могли брать увеличения в 350–520 раз, и планета приближалась к нам на расстояния в 180 000 и 120 000 км. Расстояние Луны от нас вдвое-втрое больше. Однако мы можем просто глазом видеть на границе дневной и ночной половин светлые выступы, образуемые горными цепями и большими кратерами» (В. Мейер. Мироздание).

Сходное наблюдение и толки повторялись и в декабре 1900 г., когда американский астроном Дуглас заметил на Марсе яркое пятно, державшееся в течение часа.

В недавнее время снова заговорили о проектах оптической сигнализации на Марс, опираясь на современные прожекторы, сосредоточивающие огромные количества света.

Мощные прожекторы наших авиационных маяков действительно превосходят то, о чем можно было только мечтать полтора десят-

ка лет тому назад. Отбрасываемый ими свет, яркостью в миллиард свечей, виден невооруженным глазом с расстояния 300–400 км. Будь такой маяк на Луне, мы могли бы увидеть его свет в наши телескопы. Естественна мысль воспользоваться подобными орудиями современной осветительной техники, чтобы послать весть о себе на Марс. Как сделать, чтобы марсиане поняли этот сигнал и приписали ему то значение, которое мы хотим вложить, — именно демонстрации разумности земных обитателей? Можно, следуя проекту Гаусса, расположить яркие источники света так, чтобы они образовали определенную геометрическую фигуру, например чертеж Пифагоровой теоремы. Если марсиане действительно настолько разумны, как мы полагаем (иначе не стоит, пожалуй, с ними и заводить сношения), они догадаются ответить нам чертежом другой теоремы — например, Гиппократовых луночек.

Трезвый расчет не оставляет, однако, никакой надежды на осуществление этих заманчивых возможностей. Чтобы земной чертеж можно было усмотреть на Марсе в телескопы нашей, примерно, силы, надо придать его линиям толщину километров в 20, а самый чертеж раскинуть на пространстве целого государства. И — что всего хуже — яркость источников должна исчисляться не миллиардами свечей, а десятками триллионов...

Если так, то нельзя ли воспользоваться в качестве источника света самим Солнцем, отражая его лучи огромными зеркалами, сооруженными где-нибудь в Сахаре или в Бразилии? Однако пришлось бы придать этому зеркалу невероятные размеры: оно должно быть в десятки километров поперечником. Это во-первых. Второе возражение серьезнее. Сторонники этого проекта забывают о том, как расположены по отношению друг к другу обе планеты в период наибольшего сближения. Ведь тогда Земля и Марс находятся по одну сторону от Солнца, на одной прямой линии с ним. В эти моменты Земля как раз обращена к Марсу своей ночной половиной и мы можем отбросить солнечные лучи куда угодно, только не на Марс...

Изобретение беспроволочного телеграфа направило мысль о межпланетных сношениях на новый путь. Особенно много говорилось об этом в конце 1900 г., когда знаменитый американский электротехник Тесла сообщил, что ему удалось заметить загадочные электрические сигналы при производстве опытов на большой высоте.

«Тесла наблюдал, — читаем мы в английском научном журнале в 1901 г., — на специальном приборе повторные электрические колебания, причина которых заставляла его теряться в догадках. Он пришел

к мысли, что они обязаны своим происхождением токам, идущим от планет, и теперь полагает, что было бы вполне возможно посредством усовершенствованного аппарата сноситься с их обитателями».

Далее, со слов Теслы, сообщалось, что он приступает к постройке аппарата, который даст возможность послать на Марс количество энергии, достаточное для воздействия на электрические приемники вроде телеграфов и телефонов.

«Я не сомневаюсь, — писал Тесла, — что с помощью надлежащим образом построенного аппарата возможно переслать энергию на другие планеты, например на Марс и Венеру, даже при наибольшем их удалении от Земли. Мой метод даст практическое разрешение вопроса передачи и получения сообщений с планет».

Однако это предположение ни к чему не привело, и вызванная заявлением Теслы оживленная полемика в печати вскоре прекратилась*.

Оживление интереса к этой проблеме наступило вновь лишь в самое последнее время. В 1920 и 1922 гг. неоднократно отмечались случаи приема радиостанциями таких сигналов, для которых, по некоторым соображениям, затруднительно допустить земное происхождение; это обстоятельство — в связи с тем, что сигналы наблюдались как раз в эпохе наибольшей близости Марса к Земле, — побудило искать станцию отправления загадочных сигналов именно на этой планете.

В 1920 г. в Анды (Южная Америка) были направлены лучшие радиотехники Маркониевой компании с особо чувствительными приемниками, настроенными на длину волны 300 км (почему-то предполагалось, что марсиане работают именно на этой волне). Но никаких сигналов принято не было. «Все приборы, — гласило официальное сообщение, — настроенные на длину волны 300 000 м, не обнаружили никаких признаков радиоволн в момент нахождения Марса на ближайшем расстоянии от Земли». Столь же безрезультатна была экспедиция самого Маркони в Средиземное море для уловления предполагаемых сигналов (также в 1920 г.) и попытки принять сигналы Марса на 24-ламповый приемник во время «великого противостояния» 1924 г.

Не было недостатка и в проектах обратного сигнализирования по радио — с Земли на Марс. В том, что марсиане располагают радио-

* Эти толки о сигналах с планет нашли себе макет в романе Уэллса «Первые люди на Луне».

приемником, у авторов проектов не возникало сомнения. Затруднение было лишь в том, чтобы достичь взаимного понимания человечеств обеих планет. Небезызвестный немецкий физик-популяризатор Ганс Доминик в своей книге «В волшебном мире техники»* предлагает осуществить взаимное понимание следующим образом:

> «Мы могли бы, например, — пишет Г. Доминик, — протелеграфировать в пространство величины сторон первых Пифагоровых треугольников — скажем, числа 3, 4 и 5, потому что $3^2 + 4^2 = 5^2$. Со стороны мыслящих, математически образованных существ можно было бы ждать только одного ответа на такую телеграмму, а именно чисел 5, 12 и 13, потому что $5^2 + 12^2 = 13^2$. Такой ответ сразу установил бы между обеими планетами контакт. Простые Пифагоровы числа могли бы уже послужить поводом договориться насчет особых знаков для понятий „плюс“, „минус“, „равенство“. Следующим шагом было бы установление какой-нибудь общей системы координат. Обладая ею, можно было бы при помощи простых числовых телеграмм обмениваться всевозможными изображениями. Уже спустя несколько недель по установлении такой связи мы могли бы здесь располагать портретами жителей Марса».

Оставляя в стороне фантастические возможности, рассмотрим, какие физические и технические трудности стоят на пути к осуществлению радиосвязи с планетами на практике.

Прежде всего надо указать, что, хотя на земной поверхности для современного радиотелеграфа более не существует уже непреодолимых расстояний, передаваться вверх электрические волны могут беспрепятственно всего лишь на сотню или на две километров. Дело в том, что на высоте 100–800 км простирается слой разреженной атмосферы, отличающейся от нижележащих слоев значительною электропроводностью. Этот так называемый слой Хевисайда непрозрачен для электрических волн большой и средней длины: он частью отражает падающие на него электрические лучи назад, частью поглощает их, не выпуская наружу. Газовый экран, охватывающий земной шар непроницаемой оболочкой, прозрачен до некоторой степени лишь для электрических лучей, которые направлены к точке зенита, — но энергия ослабленных волн, проникающих через зенитное окошечко, чересчур ничтожна, чтобы заставить работать аппараты отдаленных станций. Только волны короче 10 м могут проникать через слой Хевисайда и покидать нашу планету. Но здесь для передачи сигналов на Марс возникает новое препятствие. Допустим — ради внесения

* Русский перевод в издании ГИЗ, 1925 г., последняя глава книги.

определенности в задачу, — что чувствительность марсовых приемников одного порядка с чувствительностью самых совершенных земных аппаратов; тогда для успешной передачи сигнала на Марс потребовалась бы, согласно вычислениям специалистов, радиотелеграфная станция не менее чем в 20 000 000 киловатт... Вспомним, что сильнейшая радиостанция мира — наш «Коминтерн» — обладает мощностью только в 500 киловатт.

Подобные затруднения, вероятно, возникли бы и для обитателей Марса, если бы они пожелали установить радиосвязь с нами, — их электрические волны, уже проникшие через слой атмосферы Марса, должны были бы отразиться от непроницаемой для электрических лучей наружной оболочки нашей атмосферы. Недавно полученные (И. Е. Муромцевым, инженером электрической компания «Вестингхауз») ультракороткие радиоволны длиною 42 см вовсе не отражаются слоем Хевисайда. Они могут свободно покидать земной шар и глубоко проникнуть в мировое пространство. Так как они к тому же не расходятся во все стороны, а могут быть направлены узким пучком, то энергия их не ослабевает с расстоянием. Естественно поэтому, что многие смотрят на них как на удобное средство для установления радиотелеграфной связи с Марсом (хотя инженеры «Вестингхауза» не разделяют этих оптимистических надежд).

Надо заметить, что проблема межпланетной сигнализации при ближайшем рассмотрении оказывается гораздо более трудноразрешимой, чем кажется с первого взгляда. И самое главное затруднение даже не в тех технических препятствиях, о которых здесь говорится. Важнейшее затруднение в том, что всякая сигнализация — будь то оптическая, электрическая или какая-либо иная — предполагает существование адресата, который мог бы принять и понять эту сигнализацию. Пока нет твердой уверенности в существовании такового, сигнализация почти наверняка обречена на неуспех. И как ни странно это звучит — больше вероятия, что люди когда-нибудь сами прилетят на Марс, нежели что они получат от марсиан ответ на свою межпланетную телеграмму.

СОДЕРЖАНИЕ

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА
Книга первая

Из предисловия автора к тринадцатому изданию 7

Глава первая. Скорость. Сложение движений
- Как быстро мы движемся? 9
- В погоне за временем 11
- Тысячная доля секунды 12
- «Лупа времени» 15
- Когда мы движемся вокруг Солнца быстрее — днем или ночью? 15
- Загадка тележного колеса 17
- Самая медленная часть колеса 18
- Задача не шутка 19
- Откуда плыла лодка? 20

Глава вторая. Тяжесть и вес. Рычаг. Давление
- Встаньте! 23
- Ходьба и бег 25
- Как надо прыгать из движущегося вагона? 28
- Поймать боевую пулю руками 29
- Арбуз-бомба 30
- На платформе весов 32
- Где вещи тяжелее? 33
- Сколько весит тело, когда оно падает? 34
- Из пушки на Луну 36
- Как Жюль Верн описал путешествие на Луну и как оно должно было бы происходить 38
- Верно взвесить на неверных весах 40
- Сильнее самого себя 41
- Почему заостренные предметы колючи? 42
- Наподобие Левиафана 44

Глава третья. Сопротивление среды
Пуля и воздух ... 46
Сверхдальняя стрельба ... 47
Почему взлетает бумажный змей? ... 48
Живые планеры ... 49
Безмоторное летание у растений ... 50
Затяжной прыжок парашютиста ... 51
Бумеранг ... 52

Глава четвертая. Вращение. Вечные двигатели
Как отличить вареное яйцо от сырого? ... 55
«Колесо смеха» ... 56
Чернильные вихри ... 57
Обманутое растение ... 58
Вечные двигатели ... 59
«Зацепочка» ... 62
Аккумулятор Уфимцева ... 63
«Чудо и не чудо» ... 64
Еще вечные двигатели ... 65
Вечный двигатель времен Петра I ... 66

Глава пятая. Свойства жидкостей и газов
Задача о двух кофейниках ... 70
Чего не знали древние ... 70
Жидкости давят... вверх! ... 71
Что тяжелее? ... 73
Естественная форма жидкости ... 74
Почему дробь круглая? ... 75
«Бездонный» бокал ... 76
Любопытная особенность керосина ... 77
Копейка, которая в воде не тонет ... 78
Вода в решете ... 80
Пена на службе техники ... 81
Мнимый вечный двигатель ... 82
Мыльные пузыри ... 83
Что тоньше всего? ... 86
Сухим из воды ... 87
Как мы пьем? ... 89
Улучшенная воронка ... 89
Тонна дерева и тонна железа ... 90
Человек, который ничего не весил ... 90
Вечные часы ... 94

Глава шестая. Тепловые явления
Когда Октябрьская железная дорога длиннее — летом или зимой? ... 96
Безнаказанное хищение ... 97
Высота Эйфелевой башни ... 98
От чайного стакана к водомерной трубке ... 99
Легенда о сапоге в бане ... 101
Как устраивались чудеса ... 102
Часы без завода ... 103
Поучительная папироса ... 105
Лед, не тающий в кипятке ... 106
На лед или под лед? ... 106
Почему дует от закрытого окна? ... 107
Таинственная вертушка ... 108
Греет ли шуба? ... 109
Какое время года у нас под ногами? ... 110
Зимнее отопление летним солнцем ... 111
Бумажная кастрюля ... 115
Почему лед скользкий? ... 117
Задача о ледяных сосульках ... 118

Глава седьмая. Лучи света
Пойманные тени ... 121
Цыпленок в яйце ... 123
Сигнал с Луны ... 124
Карикатурные фотографии ... 124
Задача о солнечном восходе ... 126
Скорость света ... 127
Так ли? ... 134
По океану Вселенной ... 136

Глава восьмая. Отражение и преломление света
Видеть сквозь стены ... 139
Говорящая «отрубленная» голова ... 140
Впереди или сзади? ... 141
Можно ли видеть зеркало? ... 142
Животные у зеркала ... 142
Кого мы видим, глядя в зеркало? ... 143
Рисование перед зеркалом ... 144
Расчетливая поспешность ... 145
Полет вороны ... 146
Новое и старое о калейдоскопе ... 148

«Дворцы иллюзий и миражей» 149
Почему и как преломляется свет? 155
Когда длинный путь проходится быстрее, чем короткий? 157
Новые робинзоны 160
Необыкновенная причина пожаров 162
Как добыть огонь с помощью льда? 163
С помощью солнечных лучей 165
Старое и новое о миражах 167
Зеленый луч 170

Глава девятая. Зрение одним и двумя глазами
Когда не было фотографии 174
Чего многие не умеют? 175
Искусство рассматривать фотографии 176
На каком расстоянии надо держать фотографию? 177
Странное действие увеличительного стекла 178
Увеличение фотографий 179
Лучшее место в кинотеатре 180
Совет читателям иллюстрированных журналов 181
Рассматривание картин 182
Что такое стереоскоп? 183
Наш естественный стереоскоп 184
Одним и двумя глазами 187
Простой способ разоблачать подделки 188
Зрение великанов 189
Вселенная в стереоскопе 191
Зрение тремя глазами 192
Что такое блеск? 193
Зрение при быстром движении 194
Окрашенные тени 196
Сквозь цветные очки 196
«Чудеса теней» 197
Неожиданные превращения окраски 198
Высота книги 200
Размеры башенных часов 200
Белое и черное 201
Какая буква чернее? 203
Живые портреты 204
Воткнутые линии и другие обманы зрения 205
Как видят близорукие 208

Глава десятая. Звук и слух
Как разыскивать эхо? 210
Звук вместо мерной ленты 212
Звуковые зеркала 213
Звуки в театральном зале 214
Эхо со дна моря 216
Жужжание насекомых 217
Слуховые обманы 218
Где стрекочет кузнечик? 219
Курьезы слуха 220
«Чудеса чревовещания» 221

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА
Книга вторая

Из предисловия автора к тринадцатому изданию 225

Глава первая. Основные законы механики
Самый дешевый способ путешествовать 227
«Земля, остановись!» 228
Письмо с аэроплана 230
Бомбометание 232
Безостановочная железная дорога 233
Предупреждение катастроф 235
Улицы будущего 236
Непостижимый закон 237
Отчего погиб Святогор-богатырь? 239
Можно ли двигаться без опоры? 240
Почему взлетает ракета? 240
Как движется каракатица? 243
К звездам на ракете 244

Глава вторая. Сила — работа — трение
Задача о лебеде, раке и щуке 247
Вопреки Крылову 249
Легко ли сломать яичную скорлупу? 250
Под парусами против ветра 252
Мог ли Архимед поднять Землю? 254
Жюль-верновский силач и формула Эйлера 255
От чего зависит крепость узлов 258
Если бы не было трения 258

Физическая причина катастрофы «Челюскина» 260
Самоуравновешивающаяся палка 262

Глава третья. Круговое движение
Почему не падает вращающийся волчок? 264
Искусство жонглеров 265
Новое решение Колумбовой задачи 267
Уничтоженная тяжесть 268
Вы в роли Галилея 270
Мой спор с вами 272
Финал нашего спора 274
В «заколдованном» шаре 274
Жидкий телескоп 278
«Чертова петля» 278
Математика в цирке 280
Нехватка в весе 282

Глава четвертая. Всемирное тяготение
Велика ли сила притяжения? 284
Стальной канат от Земли до Солнца 286
Можно ли укрыться от силы тяготения? 287
Как полетели на Луну герои Уэллса 288
Полчаса на Луне 289
Стрельба на Луне 290
В бездонном колодце 292
Сказочная дорога 294
Как роют туннели? 296

Глава пятая. Путешествие в пушечном снаряде
Ньютонова гора 298
Фантастическая пушка 300
Тяжелая шляпа 300
Как ослабить сотрясение? 302
Для друзей математики 303

Глава шестая. Свойства жидкостей и газов
Море, в котором нельзя утонуть 305
Как работает ледокол? 308
Где находятся затонувшие суда? 309
Подводные фабрики 311
Как осуществились мечты Жюля Верна и Уэллса 312
Как был поднят «Садко»? 316
«Вечный» водяной двигатель 317

Кто придумал слова «газ» и «атмосфера»? 319
Как будто простая задача 320
Задача о бассейне 322
Удивительный сосуд 323
Поклажа из воздуха 324
Новые Героновы фонтаны 327
Обманчивые сосуды 329
Сколько весит вода в опрокинутом стакане? 330
Отчего притягиваются корабли? 331
Принцип Бернулли и его следствия 334
Назначение рыбьего пузыря 337
Волны и вихри 339
Путешествие в недра Земли 343
Фантазия и математика 344
В глубочайшей шахте мира 347
Ввысь со стратостатами 349

Глава седьмая. Тепловые явления
Веер 351
Греет ли вуаль? 351
Отчего при ветре холоднее? 352
Горячее дыхание пустыни 353
Охлаждающие кувшины 353
Ледник без льда 355
Какую жару способны мы переносить? 355
Термометр или барометр? 356
Для чего служит ламповое стекло? 357
Почему пламя не гаснет само собой? 358
Недостающая глава в романе Жюля Верна 359
Завтрак в невесомой кухне 359
Почему вода гасит огонь? 364
Как тушат огонь с помощью огня? 364
Можно ли воду вскипятить кипятком? 366
Можно ли вскипятить воду снегом? 367
«Суп из барометра» 368
Всегда ли кипяток горяч? 370
Горячий лед 372
Холод из угля 372

Глава восьмая. Магнетизм — электричество
«Любящий камень» 374
Задача о компасе 375

Линии магнитных сил 376
Как намагничивается сталь? 377
Исполинские электромагниты 378
Магнитные фокусы 380
Магнит в физкультуре 382
Магнит в земледелии 382
Магнитная летательная машина 383
Наподобие «Магометова гроба» 384
Электромагнитный транспорт 386
Сражение марсиан с земножителями 388
Часы и магнетизм 390
Магнитный «вечный» двигатель 391
Музейная задача 392
Еще воображаемый вечный двигатель 393
Почти вечный двигатель 394
Сколько лет существует Земля? 395
Птицы на проводах 398
При свете молнии 399
Сколько стоит молния? 400
Грозовой ливень в комнате 401

Глава девятая. Отражение и преломление света — зрение

Пятикратный снимок 403
Солнечные двигатели и нагреватели 404
Мечта о шапке-невидимке 406
Невидимый человек 407
Могущество невидимого 410
Прозрачные препараты 411
Может ли невидимый видеть? 412
Охранительная окраска 413
Защитный цвет 415
Человеческий глаз под водой 416
Как видят водолазы? 417
Стеклянные чечевицы под водой 418
Неопытные купальщики 419
Невидимая булавка 421
Мир из-под воды 423
Цвета в глубине вод 427
Слепое пятно нашего глаза 428
Какой величины нам кажется Луна? 430

Видимые размеры светил 432
Сфинкс. *Рассказ Эдгара По* 435
Почему микроскоп увеличивает? 438
Зрительные самообманы 441
Иллюзия, полезная для портных 442
Что больше? 442
Сила воображения 443
Еще иллюзии зрения 444
Что это? 446
Необыкновенные колеса 447
«Микроскоп времени» в технике 450
Диск Нипкова 451
Почему заяц косой? 453
Почему в темноте все кошки серы? 454
Существуют ли лучи холода? 455

Глава десятая. Звук — волнообразное движение
Звук и радиоволны 457
Звук и пуля 457
Мнимый взрыв 458
Счастливая случайность 459
Самый медленный разговор 460
Скорейшим путем 461
Барабанный телеграф 462
Звуковые облака и воздушное эхо 463
Беззвучные звуки 464
Сверхзвуки на службе техники 465
Голоса лилипутов и Гулливера 467
Для кого ежедневная газета выходит дважды в день? 467
Задача о паровозных свистках 468
Явление Доплера 470
История одного штрафа 471
Со скоростью звука 473

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Предисловие редактора 477
Из предисловия автора 479

Глава первая. Основные законы механики
Задача о двух яйцах 481
Путешествие на деревянном коне 482

Здравый смысл и механика 483
Поединок на корабле 484
Аэродинамическая труба 486
На полном ходу поезда 487
Коперник и Птолемей 488
Как надо понимать закон инерции 490
Действие и противодействие 492
Задача о двух лошадях 493
Задача о двух лодках 494
Загадка пешехода и паровоза 495
Странный карандаш 497
Что значит «преодолеть инерцию» 498
Железнодорожный вагон 498

Глава вторая. Сила и движение
Справочная таблица по механике 500
Отдача огнестрельного оружия 502
Повседневный опыт и научное знание 504
Пушка на Луне 505
Выстрел на дне океана 507
Сдвинуть земной шар 508
Ложный путь изобретательства 511
Где центр тяжести летящей ракеты? 513

Глава третья. Тяжесть
Свидетельства отвеса и маятника 515
Маятник в воде 518
На наклонной плоскости 519
Когда «горизонтальная» линия не горизонтальна 520
Магнитная гора 524
Реки, текущие в гору 525
Задача о железном пруте 526

Глава четвертая. Падение и бросание
Семимильные сапоги 528
Человек-бомба 531
Рекорд бросания мяча 535
По хрупкому мосту 536
Три пути 538
Задача о четырех камнях 540
Задача о двух камнях 540
Игра в мяч 541

Глава пятая. Круговое движение
Простой способ прибавиться в весе 542
Небезопасный аттракцион 544
На железнодорожном закруглении 545
Дорога не для пешеходов 547
Наклонная Земля 547
Почему реки извиваются 549

Глава шестая. Удар
Почему важно изучать явление удара 552
Механика удара 552
Изучите свой мяч 555
На крокетной площадке 559
«От скорости — сила» 561
Человек-наковальня 562

Глава седьмая. Кое-что о прочности
Об измерении океанских глубин 564
Самые длинные отвесы 565
Самый крепкий материал 567
Что крепче волоса? 567
Почему велосипедная рама делается из трубок 568
Притча о семи прутьях 571

Глава восьмая. Работа, мощность, энергия
Чего многие не знают о единице работы 573
Как произвести килограмметр работы 574
Как вычислять работу 575
Тяга трактора 576
Живые и механические двигатели 576
Сто зайцев и один слон 578
Машинные рабы человечества 579
Отвешивание с «походом» 582
Задача Аристотеля 583
Упаковка хрупких вещей 584
Чья энергия? 585
Самозаводящиеся механизмы 587
Добывание огня трением 589
Энергия растворенной пружины 592

Глава девятая. Трение и сопротивление среды
С ледяной горы 595
С выключенным мотором 596

Тележные колеса 597
На что расходуется энергия паровозов и пароходов? 598
Камни, увлекаемые водой 598
Скорость дождевых капель 601
Загадка падения тел 604
Вниз по течению 605
Как руль управляет судном 606
Когда дождь промочит сильнее? 607

Глава десятая. Механика в живой природе
Гулливер и великаны 610
Почему бегемот неуклюж 611
Строение наземных животных 613
Судьба вымерших чудовищ 613
Кто лучше прыгает? 615
Кто лучше летает? 616
Безвредное падение 618
Почему деревья не растут до неба 618
Из книги Галилея 620

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ АСТРОНОМИЯ

Предисловие автора 625

Глава первая. Земля, ее форма и движения
Кратчайший путь на Земле и на карте 627
Градус долготы и градус широты 634
Куда полетел Амундсен? 634
Пять родов счета времени 635
Продолжительность дня 639
Необычайные тени 642
Задача о двух поездах 643
Стороны горизонта по карманным часам 645
Белые ночи и черные дни 647
Смена света и тьмы 649
Загадка полярного Солнца 650
Когда начинаются времена года 651
Три «если бы» 653
Еще одно «если бы» 657
Когда мы ближе к Солнцу: в полдень или вечером? 663
На один метр дальше 664
С разных точек зрения 665

Неземное время 668
Где начинаются месяцы и годы? 670
Сколько пятниц в феврале? 672

Глава вторая. Луна и ее движения
Молодой или старый месяц? 674
Луна на флагах 675
Загадки лунных фаз 675
Двойная планета 677
Почему Луна не падает на Солнце? 680
Видимая и невидимая стороны Луны 681
Вторая Луна и луна Луны 685
Почему на Луне нет атмосферы? 686
Размеры лунного мира 689
Лунные пейзажи 691
Лунное небо 696
Для чего астрономы наблюдают затмения? 702
Почему затмения повторяются через 18 лет? 708
Возможно ли? 711
Что не всем известно о затмениях 712
Какая на Луне погода? 715

Глава третья. Планеты
Планеты при дневном свете 718
Планетная азбука 719
Чего нельзя изобразить 721
Почему на Меркурии нет атмосферы? 724
Фазы Венеры 726
Великие противостояния 728
Планета или меньшее солнце? 729
Исчезновение колец Сатурна 732
Астрономические анаграммы 733
Планета дальше Нептуна 735
Планеты-карлики 736
Наши ближайшие соседи 739
Попутчики Юпитера 740
Чужие небеса 741

Глава четвертая. Звезды
Почему звезды кажутся звездами? 750
Почему звезды мерцают, а планеты сияют спокойно? 751
Видны ли звезды днем? 752

Что такое звездная величина? 754
Звездная алгебра 755
Глаз и телескоп 758
Звездная величина Солнца и Луны 759
Истинный блеск звезд и Солнца 761
Самая яркая звезда из известных 763
Звездная величина планет на земном и чужом небе 763
Почему телескоп не увеличивает звезд? 765
Как измерили поперечники звезд? 767
Гиганты звездного мира 769
Неожиданный расчет 770
Самое тяжелое вещество 770
Почему звезды называются неподвижными? 774
Меры звездных расстояний 776
Система ближайших звезд 778
Масштаб Вселенной 781

Глава пятая. Тяготение
Из пушки вверх 783
Вес на большой высоте 785
С циркулем по планетным путям 788
Падение планет на Солнце 792
Наковальня Вулкана 794
Границы Солнечной системы 795
Ошибка в романе Жюля Верна 795
Как взвесили Землю? 796
Из чего состоят недра Земли? 798
Вес Солнца и Луны 799
Вес и плотность планет и звезд 802
Тяжесть на Луне и на планетах 803
Рекордная тяжесть 805
Тяжесть в глубине планет 805
Лунные и солнечные приливы 807
Луна и погода 809

МЕЖПЛАНЕТНЫЕ ПУТЕШЕСТВИЯ

Предисловие автора к десятому изданию 813
Предисловие К. Э. Циолковского к шестому изданию 815
Глава первая. Величайшая греза человечества 816
Глава вторая. Всемирное тяготение и земная тяжесть 818

Глава третья. Можно ли укрыться от силы тяжести? 825
Глава четвертая. Можно ли ослабить земную тяжесть? 832
Глава пятая. Вопреки тяжести — на волнах света 835
Глава шестая. Из пушки на Луну. Теория 840
Глава седьмая. Из пушки на Луну. Практика 850
Глава восьмая. К звездам на ракете 856
Глава девятая. Устройство пороховой ракеты 865
Глава десятая. История пороховой ракеты 869
Глава одиннадцатая. Летательная машина Кибальчича 876
Глава двенадцатая. Источник энергии ракеты 882
Глава тринадцатая. Механика полета ракеты 887
Глава четырнадцатая. Звездная навигация. Скорости, пути, сроки 894
Глава пятнадцатая. Проекты К. Э. Циолковского 904
Глава шестнадцатая. Искусственная Луна. Внеземная станция 913
Глава семнадцатая. Опыты с новыми ракетами 917
Глава восемнадцатая. Два несбыточных проекта 929
Глава девятнадцатая. Жизнь на корабле Вселенной 933
Глава двадцатая. Опасности звездоплавания 940
- Встреча с метеорами 940
- Холод мирового пространства 942
- Чрезмерная скорость 943
- Отсутствие тяжести 943
- Усиленная тяжесть 947
- Сопротивление атмосферы 948
- Опасность взрыва изнутри 949
- Космические и ультрафиолетовые лучи 949
- Лучевое давление 950
- Опасность заблудиться 951
- Притяжение Солнца 952
- Высадка на Луне 952
- Звездоплавание и теория относительности 953

Заключение 956

Приложения
1. Сила тяготения 957
2. Падение в мировом пространстве 958

3. Динамика ракеты
Импульс. Количество движения 962
Движение ракеты 965
Полезное действие свободной ракеты и ракетного экипажа 969
4. Начальная скорость и продолжительность перелетов
Начальная скорость 971
Продолжительность перелетов 979
5. Внеземная станция 980
6. Давление внутри пушечного снаряда 982
7. Невесомость свободно падающих тел 983
8. Через океан на ракете 985
9. В ракете на Луну. *Рассказ проф. Г. Оберта* 990
10. Стратосфера 997
11. Межпланетная сигнализация 1000

Перельман Я.

П 27 Занимательная наука. Физика. Механика. Астрономия / Яков Перельман. — СПб. : Азбука, Азбука-Аттикус, 2024. — 1024 с. : ил. — (Non-Fiction. Большие книги).

ISBN 978-5-389-24268-5

Яков Исидорович Перельман (1882–1942) — российский и советский физик и математик, создатель особого жанра в научно-популярной литературе — «занимательной науки». «Занимательная наука, — писал Я. И. Перельман, — стремится к тому, чтобы привычная вещь, давно знакомые явления, утратившие в наших глазах интерес, показывались с новой, необычной, подчас неожиданной стороны. Новизна подстрекает интерес, а интерес помогает сосредоточить внимание и будит работу мысли».

В богатом литературном наследии Я. И. Перельмана принято выделять десять основных книг, составивших основу «Занимательной науки». В настоящее издание включены пять из них, где речь идет о физических законах и явлениях, о принципах механики, о космическом пространстве и межпланетных путешествиях. Любознательный читатель познакомится со множеством занятных опытов, любопытных историй, хитроумных головоломок, забавных задачек и парадоксов, а также узнает о проектах первых мечтателей от науки, благодаря которым стали возможны путешествия за пределы Земли.

УДК 53+531+51
ББК 22.3+22.2+22.1

Литературно-художественное издание

ЯКОВ ИСИДОРОВИЧ ПЕРЕЛЬМАН

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ НАУКА
ФИЗИКА
МЕХАНИКА
АСТРОНОМИЯ

Ответственный редактор Кирилл Красник
Художественный редактор Валерий Гореликов
Технический редактор Мария Антипова
Подготовка иллюстраций Дмитрия Кабакова
Корректоры Ольга Попова, Валерий Каменде,
Иван Игнатьев, Дмитрий Капитонов

Главный редактор Александр Жикаренцев

Подписано в печать 24.10.2023. Формат издания 60 × 88 $^{1}/_{16}$.
Печать офсетная. Тираж 4000 экз. Усл. печ. л. 62,72.
Заказ № .

Знак информационной продукции
(Федеральный закон № 436-ФЗ от 29.12.2010 г.): 12+

ООО «Издательская Группа „Азбука-Аттикус“» —
обладатель товарного знака АЗБУКА®
115093, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Даниловский,
пер. Партийный, д. 1, к. 25

Филиал ООО «Издательская Группа „Азбука-Аттикус“»
в Санкт-Петербурге
191123, г. Санкт-Петербург, Воскресенская наб., д. 12, лит. А

Отпечатано в соответствии с предоставленными материалами
в ООО «ИПК Парето-Принт».
170546, Тверская область, Промышленная зона Боровлево-1,
комплекс № 3А.
www.pareto-print.ru

Y-NFB-33231-01-R

ПО ВОПРОСАМ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОБРАЩАЙТЕСЬ:

В МОСКВЕ

ООО «Издательская Группа „Азбука-Аттикус“»

Тел.: (495) 933-76-01,
факс: (495) 933-76-19

e-mail: sales@atticus-group.ru;
info@azbooka-m.ru

В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

Филиал ООО «Издательская Группа „Азбука-Аттикус“»

Тел.: (812) 327-04-55,
факс: (812) 327-01-60

e-mail: trade@azbooka.spb.ru

Информация о новинках и планах на сайтах:

www.azbooka.ru
www.atticus-group.ru

Информация по вопросам приема рукописей
и творческого сотрудничества
размещена по адресу:
www.azbooka.ru/new_authors/

Яков Исидорович Перельман (1882–1942) — российский и советский физик и математик, создатель особого жанра в научно-популярной литературе — «занимательной науки». «Занимательная наука, — писал Я. И. Перельман, — стремится к тому, чтобы привычная вещь, давно знакомые явления, утратившие в наших глазах интерес, показывались с новой, необычной, подчас неожиданной стороны. Новизна подстрекает интерес, а интерес помогает сосредоточить внимание и будит работу мысли».

В богатом литературном наследии Я. И. Перельмана принято выделять десять основных книг, составивших основу «Занимательной науки». В настоящее издание включены пять из них, где речь идет о физических законах и явлениях, о принципах механики, о космическом пространстве и межпланетных путешествиях. Любознательный читатель познакомится со множеством занятных опытов, любопытных историй, хитроумных головоломок, забавных задачек и парадоксов, а также узнает о проектах первых мечтателей от науки, благодаря которым стали возможны путешествия за пределы Земли.

Мы рано перестаем удивляться, рано утрачиваем драгоценную способность, которая побуждает интересоваться вещами, не затрагивающими непосредственно нашего существования... Вода была бы, без сомнения, самым удивительным веществом в природе, а Луна — наиболее поразительным зрелищем на небе, если бы то и другое не попадалось на глаза слишком часто... Чтобы преодолеть косность рутинного мышления, чтобы привлечь внимание к чересчур знакомым предметам, надо показать их в новом свете, раскрыть незнакомые их стороны...

Я. И. Перельман. Что такое «занимательная наука»?

В издание вошли пять книг из цикла «Занимательная наука»:

Занимательная физика. Книга первая
Занимательная физика. Книга вторая
Занимательная механика
Занимательная астрономия
Межпланетные путешествия

ISBN 978-5-389-24268-5 01
9 785389 242685
www.azbooka.ru