

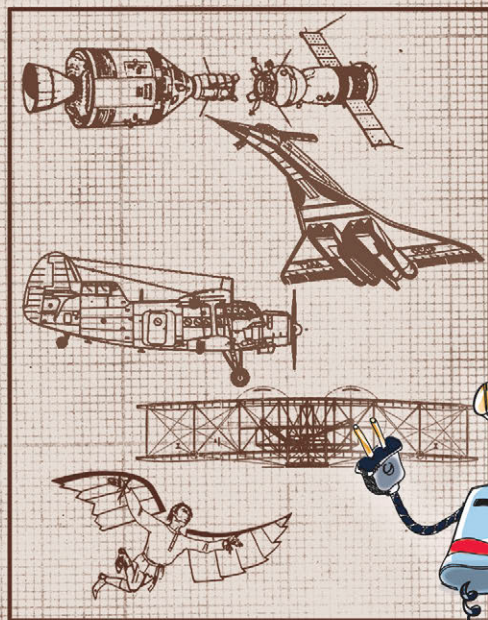
Антенна
Система терморегулирования
Радиопередатчик
Экран
Дистанционный
Средств
Двигатель
Воздушный
Аккумуляторная
Батарея

Я.И.ПЕРЕЛЬМАН

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

Книга II

ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНИКИ



ЛИСТ-18

Я.И.ПЕРЕЛЬМАН

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ

ФИЗИКА

книга II



РИМИС

издательская
группа

Издание осуществлено при финансовой поддержке
Банка "Новый Символ".
Москва 2009

УДК 087.5:53(076.1)

ББК 22.3я7

П 27

Издательство «РИМИС» — лауреат Литературной премии им. Александра Беляева 2008 года.

Текст и рисунки восстановлены по книге Я. И. Перельмана «Занимательная физика», вышедшей в издательстве П. П. Сойкина (Санкт-Петербург) в 1913 г.

Перельман Я. И.

П 27 Занимательная физика. Книга 2. — М.: РИМИС, 2009. — 256 с., ил.

ISBN 978-5-9650-0049-4

Вторая книга «Занимательная физика» представляет собой самостоятельный сборник, не являющийся прямым продолжением первой. Книга названа «второй» потому лишь, что написана позднее первой. Успех первого сборника побудил автора обработать остальной накопившийся у него материал, и таким образом составила эта вторая или, вернее, другая книга, охватывающая те же разделы физики. Для оживления интереса к физическим расчетам в нее введен вычислительный материал, и сборник, в общем, рассчитан на более подготовленного читателя, хотя различие в этом отношении между обеими книгами настолько незначительно, что их можно читать в любой последовательности и независимо одну от другой.

«Занимательная физика» поможет понять и полюбить физику, добиться успеха в изучении этого предмета. Этот сборник не призван заменить официальные пособия, но он расскажет Вам о физических явлениях совсем по-иному, простым и понятным каждому языком.

Цель книги — возбудить деятельность научного воображения, приучить мыслить в духе физики и развить привычку к разностороннему применению своих знаний. Возможно, именно с нее и начинается любовь к физике.

"Занимательной физике" — 85!

Признаюсь: с волнением перелистывал недавно первое издание книги — родоначальницы нового литературного жанра. "Занимательная физика" — так назвал своего "первенца", родившегося в Петербурге 85 лет назад, его автор, малоизвестный тогда Яков Исидорович Перельман.

Почему специалисты-библиографы, критики, популяризаторы однозначно связывают начало научной занимательности с появлением этой книги? Разве не было ничего подобного до нее? И почему именно России было суждено стать родиной нового жанра?

Безусловно, и прежде печатались научно-популярные книги по разным наукам. Если ограничиться только физикой, можно вспомнить, что уже в XIX веке за рубежом и в России выходили неплохие книги Бойса, Тисандье, Тита и других авторов. Однако они представляли собой сборники опытов по физике, нередко довольно забавных, но, как правило, без объяснения сути иллюстрируемых этими опытами физических явлений.

"Занимательная физика" — это прежде всего огромная подборка (из всех разделов начальной физики) занимательных задач, замысловатых вопросов, поразительных парадоксов. Но главное, что все перечисленное непременно со-

проводятся в ней увлекательными обсуждениями, или неожиданными комментариями, или эффектными опытами, служащими целям интеллектуального развлечения и общения читателя к серьезному изучению науки.

Несколько лет работал автор над содержанием "Занимательной физики", после чего издатель П. Сойкин два с половиной года держал рукопись в редакционном "портфеле", не решаясь выпускать книгу с таким названием. Еще бы: такая фундаментальная наука и вдруг... занимательная физика!

Но джин все-таки был выпущен из кувшина и начал свое победное шествие сначала по России (в 1913–1914 годах), а затем – и по другим странам. При жизни автора книга выдержала 13 изданий, причем каждое последующее отличалось от предыдущего: вносились дополнения, устранялись недочеты, перерабатывался текст.

Как же встретили книгу современники? Вот некоторые отзывы о ней ведущих журналов того времени.

"Среди разных попыток заинтересовать физикой выборкой из нее наиболее «занимательных» вещей и более или менее игривым изложением книга господина Перельмана выгодно выделяется продуманностью и серьезностью. Она дает хороший материал для наблюдения и размышления из всех отделов элементарной физики, опрятно издана и прекрасно иллюстрирована" (Н. Дрентельн, "Педагогический сборник").

"Очень поучительная и занимательная книга, в самых обыкновенных и на первый взгляд простых вопросах и ответах знакомящая с основными законами физики..." ("Новое время").

"Книга снабжена многими рисунками и так интересна, что трудно отложить ее, не прочитав до конца. Думаю, что

при преподавании естествознания учитель может с пользой для дела извлечь немало поучительного из этой прекрасной книги" (профессор А. Погодин, "Утро").

"Господин Перельман не ограничивается только описанием различных опытов, которые возможно выполнить домашними средствами... Автор «Занимательной физики» разбирает множество вопросов, которые не поддаются эксперименту в домашней обстановке, но тем не менее интересны и по существу и той форме, которую он умеет придать своему повествованию" ("Физик-любитель").

"Внутреннее содержание, обилие иллюстраций, прекрасный внешний вид книги и очень незначительная цена — все это служит залогом ее широкого распространения..." (Н. Каменщиков, "Вестник опытной физики").

И действительно, "Занимательная физика" получила не просто широкое, а широчайшее распространение. Так, в нашей стране на русском языке она издавалась около тридцати раз и массовыми тиражами. Эта удивительная книга выходила в переводах на языки: английский, арабский, болгарский, испанский, каннада, малаялам, маратхи, немецкий, персидский, польский, португальский, румынский, тамильский, телугу, финский, французский, хинди, чешский, японский.

Лиха беда — начало! Окрыленный успехом у читателей и у критики, Я. Перельман готовит и выпускает в 1916 году вторую (не продолжение первой, а именно вторую) книгу по занимательной физике. Дальше — больше. Выходят последовательно одна за другой его занимательные геометрия, арифметика, математика, астрономия, механика, алгебра — всего сорок (!) научно-занимательных книг.

"Занимательную физику" прочли уже несколько поколений читателей. Конечно, не все прочитавшие ее становились учеными, но вряд ли найдется, по крайней мере в России, физик, не знакомый с ней.

Сейчас в российской картотеке занимательных книг — более 150 отраслей науки. Ни одна страна не располагает таким богатством, и почетное место среди этих изданий принадлежит, без сомнения, "Занимательной физике".

Юрий Морозов
1999 г.

Источник информации – сайт журнала «Знание – сила» www.znanie-sila.ru

ПРЕДИСЛОВИЕ

Эта книга представляет собой самостоятельный сборник, не являющийся продолжением первой книги «Занимательной физики»; она названа «второю» лишь потому, что написана позднее первой. Успех первого сборника побудил автора обработать остальной накопившийся у него материал, и таким образом составила́сь эта вторая — или, вернее, другая — книга, охватывающая те же отделы школьной физики.

Настоящая книга «Занимательной физики», как и первая, предназначается для чтения, а не для изучения. Ее цель — 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 по физике, научить сознательно распоряжаться ими и побудить к разностороннему их применению. Достигается это, как и в первом сборнике, рассмотрением пестрого ряда головоломок, замысловатых вопросов, занимательных задач, забавных парадоксов, неожиданных сопоставлений из области физики, относящихся к кругу повседневных явлений или почерпаемых из популярных произведений общей и научно-фантастической беллетристики. Материалом последнего рода составитель пользовался особенно широко, считая его наиболее соответствующим целям сборника: привлечены отрывки из общеизвестных романов Жюль Верна, Уэллса, Курда Лассвица и др. Фантастические опыты, помимо их заманчивости, могут играть немаловажную роль при преподавании в качестве живых иллюстраций; они находили себе место даже в школьных учеб-

никах. «Цель их — пишет наш известный педагог В. Л. Розенберг* — освободить ум от оков привычки и выяснить одну из сторон явления, понимание которого затемняется обычными условиями, вторгающимися в ум учащегося независимо от его воли, вследствие привычки».

Составитель старался, насколько умел, придавать изложению внешне интересную форму, сообщать привлекательность предмету, не останавливаясь иногда и перед тем, чтобы черпать интерес со стороны. Он руководствовался тою психологическою аксиомою, что интерес к предмету повышает внимание, внимание облегчает понимание и, следовательно, способствует более сознательному усвоению.

Вопреки обычаю, установившемуся для подобного рода сборников, в «Занимательной физике» весьма мало места отводится описанию забавных и эффектных физических опытов. У нас имеется уже достаточно сборников подобных опытов из области физики; кроме того, образовательное значение такого рода материала не всегда бесспорно. Не говоря уже о том, что опыты обычно удаются лишь наиболее предприимчивым и терпеливым читателям, оставляя у других чувство разочарования и досады по поводу испорченных вещей, — центр внимания невольно переносится при этом на работу рук, а не на деятельность ума; в результате нередко создается почва для насаждения непродуманного, чисто формального отношения к физическому объяснению. Между тем, 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.

Для оживления интереса к физическим вычислениям в некоторые задачи этого сборника введены числовые данные (чего в первой книге автор избегал).

* В предисловии к своей книге «Первые уроки физики».

В общем, настоящий сборник по подбору материала предназначен 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*.

Я. П.

* Составитель с признательностью примет все указания на недочеты книги, на желательные в ней изменения и вообще всякого рода замечания, могущие возникнуть при чтении. (Адрес для писем: Петроград, Стремянная 12, Якову Исидоровичу Перельману.)

ГЛАВА ПЕРВАЯ

Законы движения

Самый дешевый способ путешествовать

Остроумный французский писатель XVII века Сирано де Бержерак в своем сатирическом «Путешествии на Луну» рассказывает, между прочим, о таком удивительном случае, будто бы произошедшем с ним самим. Занимаясь однажды физическими опытами, он вдруг каким-то непостижимым образом был поднят вместе со своими склянками высоко на воздух. Когда же через несколько часов ему удалось, наконец, спуститься вновь на землю, очутился он уже не в не в Европе, а — В Аме-

то, к изумлению своему, родной Франции и даже рике, в Канаде!

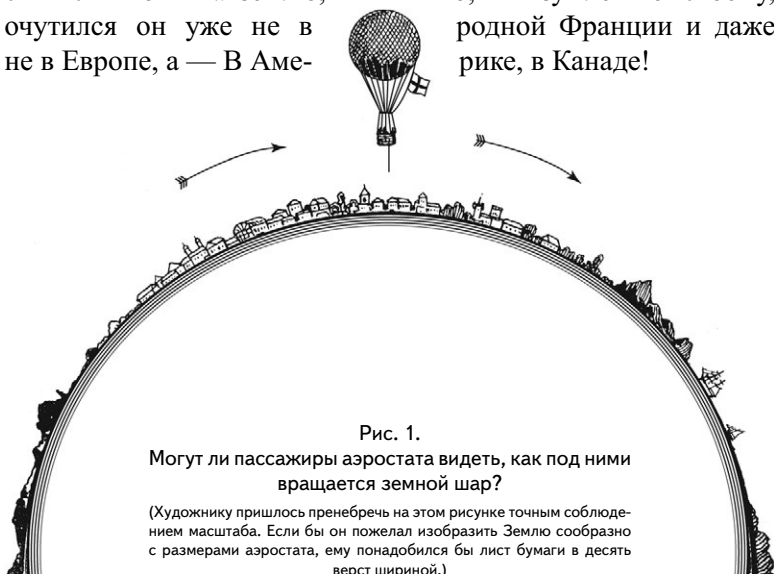


Рис. 1.
Могут ли пассажиры аэростата видеть, как под ними
вращается земной шар?

(Художнику пришлось пренебречь на этом рисунке точным соблюдением масштаба. Если бы он пожелал изобразить Землю сообразно с размерами аэростата, ему понадобился бы лист бумаги в десять верст шириной.)

Такой неожиданный перелет через Атлантический океан французский писатель объясняет тем, что, пока невольный путешественник был отделен от земной поверхности, наша планета продолжала по-прежнему вращаться с запада на восток; вот почему, когда он вновь опустился, под ногами его, вместо Франции, очутился уже материк Америки...

Вот видите, какой дешевый и простой способ путешествовать! Стоит только подняться над землей и продержаться в воздухе хотя бы несколько минут, чтобы опуститься уже в другом месте, далеко на запад от первого. Вместо того чтобы предпринимать долгие и утомительные путешествия через материки и океаны, можно неподвижно висеть над землей и выжидать, пока земной шар сам услужливо подставит путнику место назначения.

Жаль только, что этот удивительный способ — не более чем фантазия... Дело в том, что, поднявшись в воздух, мы, в сущности, вовсе еще не отделяемся от земного шара: мы остаемся связанными с газообразной оболочкой нашей планеты, висим в ее атмосфере, которая тоже участвует в обращении Земли вокруг оси; воздух вращается вместе с Землей, увлекая с собой все, что в нем находится — облака, воздушные шары, 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: мы ли стоим 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 80 верст* в час, чувствует сильнейший ветер даже в совершенно тихую погоду.

Но если бы даже мы могли подняться вверх, за пределы атмосферы, или если бы Земля не была окружена воздухом —

* Верста — русская единица измерения расстояния, равная пятистам сажням или 1 066,781 метра. — *Прим. изд.*

нам все равно не удалось бы воспользоваться тем дешевым способом путешествовать, о котором фантазировал французский поэт. В самом деле, отделяясь от поверхности вращающейся Земли, мы продолжаем по инерции двигаться с прежнею скоростью, т. е. с тою же, с какой перемещается под нами Земля. И когда снова опускаемся вниз, мы оказываемся в том же самом пункте, от которого раньше отделились — подобно тому, как, подпрыгнув в вагоне движущегося поезда, мы опускаемся на прежнее место.

«Земля, остановись!»

У современного английского романиста Герберта Уэллса есть фантастический рассказ о том, как творил чудеса некий конторский писец. Весьма недалекий и малообразованный молодой человек оказался, сверх ожидания, обладателем удивительного дара: стоило ему высказать какое-нибудь пожелание — и оно немедленно же исполнялось. Однако столь заманчивый дар не принес ни его обладателю, ни другим людям ничего, кроме неприятностей. Для нас особенно поучителен конец этой истории.

После чересчур затянувшейся ночной попойки писец-чудодей, опасаясь явиться домой на рассвете, вздумал воспользоваться своим даром, чтобы продлить ночь. Как это сделать? Надо приказать светилам неба приостановить свой бег. Писец не сразу решился на такой необычайный подвиг, и когда его приятель посоветовал ему остановить Луну, он, внимательно поглядев на нее, сказал в раздумье:

— Мне кажется, она слишком далека для этого...

— Но почему же не попробовать? — настаивал Мейдиг (так звали приятеля). — Она, конечно, не остановится, вы только прекратите вращение Земли. Течение времени остановится. Надеюсь, это никому не повредит!

— Гм! — сказал Фотерингей (писец). — Хорошо, попробую. Ну... Застегнувшись на все пуговицы, 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 летали в пространстве вниз головою со скоростью несколько дюжин* миль** в минуту.

Несмотря на это, он продолжал думать, так как мысль иногда почти не требует времени. 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 как раз вовремя, поскольку костюм Фотерингея, вследствие трения о воздух, начал уже загораться. Еще несколько секунд, — и он упал на какую-то свежевзрытую землю, а вокруг него, не принося ему никакого вреда, неслись громадные камни, обломки зданий, металлические предметы разного рода; между прочим, летела какая-то несчастная корова, разбившаяся при ударе о землю. Шум кругом стоял страшный. Ни прежде, ни после того Фотерингей не слышивал ничего подобного. Ветер дул с такой силою, что он не мог бы даже приподнять своей головы, чтобы оглянуться вокруг. Да, признаться, он об этом и не думал, — до такой степени ошеломило его все происшедшее.

— Господи! — воскликнул он прерывающимся голосом. — Что такое случилось? Буря, что ли? Ведь ночь была так тиха! Это все Мейдиг виноват. И зачем я его послушался! Где-то он теперь? 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. Стоит по-прежнему прямо над головой. Ну, а все остальное... где же город? Где дома и улицы? Откуда, наконец, взялся ветер? Я не приказывал быть ветру.

Фотерингей попробовал встать на ноги, но это оказалось совершенно невозможным, и потому он проследовал вперед на четвереньках, придерживаясь за камни и выступы почвы. Идти, впрочем, было решительно некуда, так как, насколько можно было видеть из-под фалд пиджака, закинутых ветром на голову пресмыкающегося чудодея, все кругом представляло собою одну общую картину разрушения.

— Что-то такое во вселенной серьезно попортилось, — подумал Фотерингей, — а что именно — Бог знает.

* Дюжина (от франц. *douzaine*) — 12 штук (в счете однородных предметов). Чертова дюжина — число 13 (шутливо). — *Прим. изд.*

** Миля (англ. *mile*, от лат. *milia passuum* — тысяча двойных римских шагов) — единица длины, имевшая распространение в национальных неметрических системах единиц и применяемая теперь главным образом в морском деле. — *Прим. изд.*



Рис. 2. Что случилось бы, если бы Земля внезапно перестала вращаться вокруг своей оси.

Действительно, попортилось. Ни домов, ни деревьев, ни каких-либо живых существ — ничего не было видно. Одни только бесформенные развалины да разнородные обломки валялись кругом, едва видимые от целого урагана пыли, несомой ветром. Гром и молния при совершенно ясном небе довершали картину, представившуюся виновнику всей этой катавасии.

Сам этот виновник не понимал, конечно, в чем дело. А объяснялось всё очень просто. Остановив Землю сразу, Фотерингей не подумал о центробежной силе, а между тем она при внезапной остановке кругового движения неминуемо должна была сбросить с поверхности Земли все, на ней находящееся. Таким образом, дома, люди, деревья, животные — вообще все, что только не было неразрывно связано с главной массой земного шара, полетело по касательной к его поверхности со скоростью, превышающей ту, которой обладает ядро, только что вылетевшее из жерла пушки. А затем все это вновь попадало на землю, разбиваясь вдребезги.

Фотерингей не знал, в чем дело, но он тотчас же понял, что чудо, им совершенное, оказывается не особенно удачным; а потому им сразу овладело глубокое отвращение ко всяким чудесам, и он дал себе слово не творить их больше. Но прежде всего нужно было поправить каким-нибудь образом ту беду, которую он наделал. А беда эта оказывалась немалой. К довершению своего ужаса, Фотерингей видел, что она даже увеличивается. В самом деле: буря все свирепела, облака пыли совсем закрыли Луну и вдали слышен был шум приближающейся воды; Фотерингей видел даже, при свете молнии, целую водяную стену, со страшной скоростью надвигающуюся к тому месту, на котором он лежал.

— Мейдиг! Мейдиг! — вскричал он. — Где вы?

Но не получая никакого ответа и видя, что приходится действовать на свой страх и на свою ответственность, не посоветовавшись с опытными людьми, он стал решительным.

— Стой! — вскричал он, обращаясь к воде. — Ни шагу далее!

Затем повторил то же распоряжение грому, молнии и ветру.

Все затихло.

— Пойдите немножко, — сказал Фотерингей, — дайте мне собраться с мыслями... Что же мне теперь делать?

Присев на корточки, мистер Фотерингей задумался.

— Как бы это опять не наделать какой-нибудь кутерьмы, — подумал он и затем сказал: — да... во-первых, когда исполнится все, что я сейчас прикажу, пусть я потеряю способность творить чудеса и буду таким же, как все обыкновенные люди. Не люблю чудес. Это 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. Довольно чудить, не хочу больше!..

Письмо с воздушного шара

Вы находитесь в корзине аэростата, который быстро несется над землей. Внизу — знакомые места. Сейчас вы пролетите над усадьбой приятеля: «Хорошо бы послать ему весточку» — мелькает у вас в уме. Быстро набрасываете вы несколько слов на листке записной книжки, привязываете свою записку к камню и, выждав момент, когда знакомый сад оказывается как раз под вашими ногами, роняете камень.

Вы в полной уверенности, конечно, что камень упадет прямо в сад. Но, оказывается, он падает вовсе не туда...

Почему же? Ведь сад расположен прямо под корзиной аэростата?

Вот оттого-то камень и не падает в сад. Следя за его падением с корзины аэростата, вы увидите странное явление: камень опускается вниз, но в то же время продолжает оставаться под аэростатом, словно скользит по привязанной к нему невидимой веревке. И когда камень достигнет земли, он будет находиться далеко впереди того пункта, который вы себе наметили. Здесь проявляется тот же закон инерции, который мешает нам воспользоваться соблазнительным советом

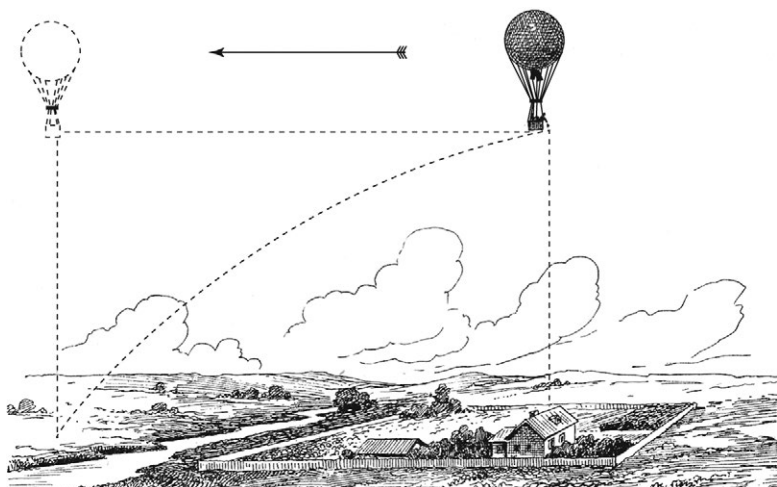


Рис. 3. Если уронить с летящего аэростата камень, то он падает не отвесно вниз, а по кривой линии, все время оставаясь под воздушным шаром.

дешево путешествовать по способу Сирано де Бержерака. Пока камень был в корзине аэростата, он вместе с нею несся в пространстве с некоторою скоростью. Вы уронили его, — но, отделившись от аэростата и падая вниз, камень все же 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 аэростатом (если только, конечно, сам аэростат внезапно не изменит своего направления или скорости полета). Камень летит совершенно так же, как горизонтально брошенное тело, — например, пуля, вылетевшая из горизонтально поставленного ружья: под влиянием горизонтального толчка и притяжения Земли оно описывает дугообразный путь, упирающийся в землю.

Безостановочная железная дорога

Когда вы стоите на неподвижной платформе и мимо нее проносится курьерский поезд, то вскочить в вагон на ходу, конечно, мудрено. Но представьте, что платформа под вами также движется, при том с такою же скоростью и в ту же сторону, как и поезд. Трудно ли вам будет тогда войти в вагон?

Нисколько: вы войдете так же спокойно, как если бы вагон стоял неподвижно. В самом деле: 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 одном месте.

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. Так, на международной архитектурной выставке в Лейпциге осенью 1913 года крайние пункты

выставочной площади были, словно бесконечной лентой, соединены железной дорогой; при этом пассажиры могли в любой момент и в любом месте входить в вагоны и выходить из них на полном ходу поезда.

Схема этого любопытного устройства видна на прилагаемых рисунках. На рис. 4 буквами *A* и *B* отмечены крайние станции. На каждой станции помещается круглая *неподвижная* платформа, окруженная большим *вращающимся* кольцообразным диском. Вокруг вращающихся дисков обеих станций проходит канат, к которому прицеплены вагоны. Теперь проследите, что происходит при вращении платформы. Вагоны обегают вокруг платформ с такою же скоростью, с какою вращаются внешние края платформ; следовательно, пассажиры без малейшего опасения могут переходить с платформ в вагоны или, наоборот, покидать поезд. Выйдя из вагона, пассажир идет к центру круга, пока не дойдет до неподвижной платформы; а здесь перейти с внутреннего края подвижного диска на неподвижный уже нетрудно, так как при малом радиусе круга весьма мала и скорость вращения*. Достигнув внутренней, неподвижной платформы, пассажиру остается лишь перебраться по мостику на землю вне железной дороги (рис. 5).

Рис. 4 и 5 поясняют сказанное. Размеры кругов и скорость их вращения

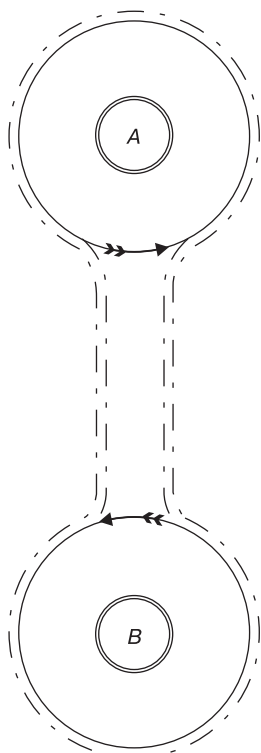


Рис. 4.

Как была устроена «безостановочная» железная дорога на Лейпцигской выставке. Дорога обозначена пунктиром. *A* и *B* — вокзалы.

* Легко понять, что точки внутреннего края движутся гораздо медленнее, нежели точки наружного края, так как в одно и то же время описывают меньший круговой путь.

выбраны были так, что внешние края их пробегали две сажени* в секунду (около 16 верст в час), внутренний же край двигался со скоростью всего полусажени в секунду; при такой скорости — вернее сказать, при такой медленности — можно было, разумеется, вполне безопасно переходить на платформу.

Отсутствие частых остановок дает огромный выигрыш во времени и затратах силы. Во всяком трамвае большая часть времени и чуть не $\frac{2}{3}$ всей энергии тратится на постепенное ускорение движения при отходе со станции, а также на замедление и торможение при остановках.

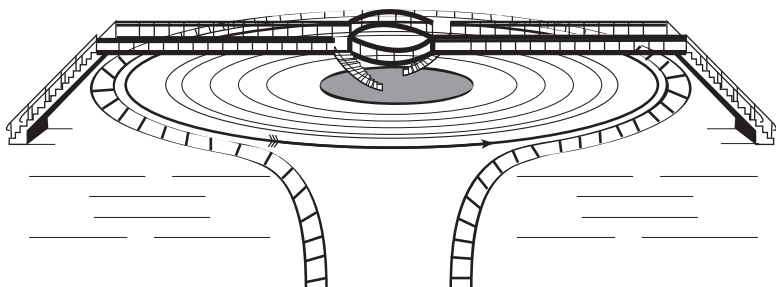


Рис. 5. Вокзал безостановочной железной дороги.

Через круглую, вечно вращающуюся платформу перекинута галерея, по которой пассажиры спокойно переходят из внутреннего, неподвижного круга на землю вне дороги.

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 хотим, чтобы он, не останавливаясь, принял здесь новых пассажиров. Пусть же эти пассажиры займут пока места в другом поезде, стоящем на

* Сажень — старая русская мера длины, впервые упоминающаяся в русских источниках в начале XI века. В XI–XVII вв. встречалась сажень в 152 и в 176 см. Это была так называемая прямая сажень, определявшаяся размахом рук человека от конца пальцев руки до конца пальцев руки, вытянутой по диагонали. Указом 1835 г. размер сажени был определен в 7 английских футов, или 84 дюйма. Это соответствовало 3 аршинам, или 48 вершкам, что равнялось 213,36 см. С введением в 1918 г. в России метрической системы мер сажень перестала употребляться. — Прим. изд.

запасном параллельном пути, и пусть этот поезд начнет двигаться вперед, стремясь развить ту же скорость, что и курьерский. Необходимо устроить так, чтобы, когда оба поезда будут идти рядом, скорости их сравнялись. В этот момент оба поезда будут словно неподвижны один относительно другого: достаточно перекинуть мостки, которые соединяли бы вагоны соседних поездов, — и пассажиры «временного» поезда могут спокойно перейти в курьерский. Остановки на станциях сделаются, как видите, излишними.

Такова теория. Осуществление этого проекта на практике, вероятно, очень хлопотливо; потому-то ничего подобного нигде пока не устраивалось.

Улицы будущего

Не осуществлено на практике еще и другое приспособление, основанное на том же законе относительного движения: так называемые «движущиеся тротуары».

Вот чертеж такого устройства (рис. 6). Вы видите пять замкнутых полос-тротуаров, движущихся посредством особого механизма, одна внутри другой, с различной скоростью. Самая крайняя полоса ползет довольно медленно — со скоростью всего 5 верст в час; это скорость обыкновенного пешехода, и, понятно, вступить на такую медленно ползущую полосу не трудно даже ребенку или старику. Рядом с ней, внутри, бежит вторая полоса, со скоростью 10 верст в час. Вскочить на нее прямо с неподвижной улицы было бы очень опасно, но зато перейти на нее с первой полосы — ничего не стоит. В самом деле, по отношению к этой первой полосе, ползущей со скоростью 5 верст, вторая, бегущая с 10-верстной быстротой, делает ведь только 5 верст; значит, перейти с первой на вторую столь же легко, как перейти с земли на первую. Далее, третья полоса движется уже с 15-верстной скоростью, — но перейти на нее со второй полосы, конечно, нетрудно. Так же легко перейти с третьей полосы на следующую, четвертую, бегущую с 20-верстной скоростью, и, наконец, с нее на пятую, мчащуюся со скоростью 25 верст в час. Эта пятая полоса до-

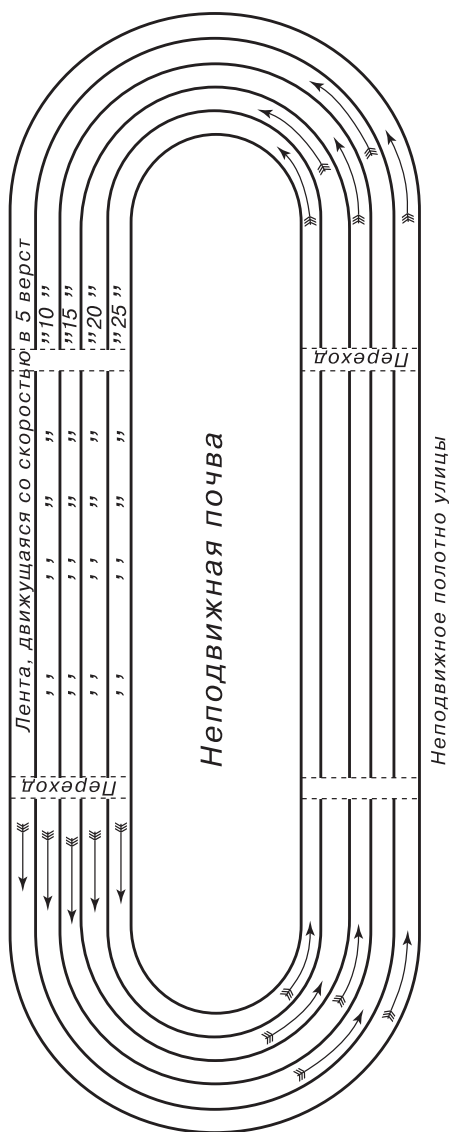


Рис. 6. Движущиеся тротуары.

ставляет пассажира до того пункта, который ему нужен; здесь, спокойно переходя обратно с полосы на полосу, он высаживается на неподвижную землю.

Такую непрерывно движущуюся улицу-поезд предполагалось устроить в Нью-Йорке, в подземном туннеле. Эта железная дорога представляла бы собой непрерывную круговую ленту с устроенными на ней сиденьями для пассажиров; лента движется, согласно проекту, со скоростью 21 версты в час. К ней примыкают еще три вспомогательные ленты, облегчающие переход с неподвижной почвы на ленту-поезд. Скорости их — 16, $10\frac{1}{2}$ и 5 верст в час. Пассажиру, желающему сесть в поезд, нетрудно вступить с неподвижного пола на первую ленту (держась за один из ее вертикальных стержней); так же легко перейти с нее на

вторую ленту, затем на третью, и, наконец, сесть в поезд.

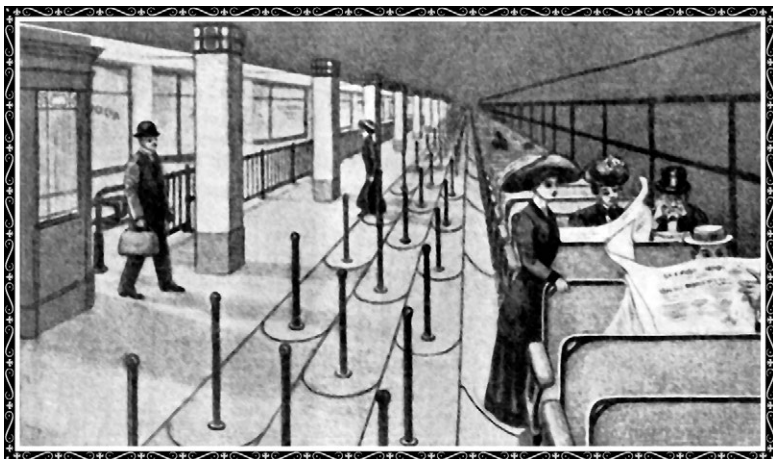


Рис. 7. Движущаяся улица-поезд под землей.

Перед тем как попасть с неподвижной платформы в поезд, пассажиры проходят через три полосы, движущиеся вперед, каждая немного быстрее предыдущей.

Непостижимый закон

Ни один из законов механики не вызывает, вероятно, столько недоумений, как знаменитый «третий закон Ньютона» — *закон равенства действия и противодействия*. Все его знают, умеют даже, когда нужно, правильно применять его — и все-таки мало кто верит в его истинность. Может быть, вы имели счастье, читатель, сразу понять его, — но что касается меня, то, должен сознаться, я постиг его много лет спустя после моего первого с ним знакомства. Я расспрашивал разных лиц, имеющих более или менее близкое отношение к механике, и убедился, что большинство из них готовы признать правильность этого закона лишь с довольно существенными оговорками. Охотно допускают, что он верен для тел неподвижных, но не понимают, как можно применять его к взаимодействию движущихся тел...

«Действие, — гласит этот закон, — всегда равно и противоположно противодействию». Это значит, что когда, например, лошадь тянет телегу, то телега тянет лошадь назад с точно такую же силою, с какою лошадь тянет телегу вперед. Но

если так, то выходит, что телега должна оставаться на месте; почему же она все-таки движется? Почему лошадь увлекает телегу, а не телега увлекает лошадь назад? Ведь они тянут друг друга с одинаковой силой... И почему эти силы не уничтожаются взаимно, если они равны?

Эти недоумения разрешаются довольно просто. Силы не уничтожают друг друга потому, что приложены к разным телам: одна — к телеге, другая — к лошади. Силы эти равны, да, — но разве одинаковые силы всегда производят одинаковые действия? Разве равные силы сообщают всем телам равные скорости? Разве действие силы на тело не зависит также и от самого тела, — от величины того сопротивления, которое тело оказывает силе?

Если подумаете об этом, вам сразу станет понятно, почему лошадь все же увлекает телегу, хотя телега тянет ее обратно с такою же силою. Сила, действующая на телегу, и сила, действующая на лошадь, равны; но так как телегу гораздо легче заставить катиться, чем волочить назад идущую лошадь, то вполне понятно, что телега катится в сторону лошади, а не лошадь притягивается к телеге. Поясним на числовом примере. Пусть лошадь тянет телегу с силою 20 пудов*; следовательно, и телега тянет к себе лошадь с силою 20 пудов. Для того, чтобы сообщить телеге некоторую скорость, сила в 20 пудов достаточна; но она далеко не достаточна, чтобы сообщить обратную скорость лошади, которая уже привела себя в движение по направлению вперед. Натягивая постромки и отталкиваясь ногами от земли, лошадь, в общем, развивает силу не в 20 пудов, а большую — пудов в 30, скажем. Часть этой силы — 10 пудов — сообщает самой лошади движение вперед, а остальная часть, 20 пудов, преодолевает сопротивление телеги и приводит ее в движение. Закон равенства действия и

* Пуд — устаревшая единица измерения массы русской системы мер. 1 пуд = 40 фунтам = 1280 лотам = 3840 золотникам = 368640 долям. Также 10 пудов = 1 берковску (берковцу), более ранней единице массы на Руси. С 1899 года, в соответствии с «Положением о мерах и весах 1899 года», 1 пуд = 16,380496 кг. — *Прим. изд.*

противодействия здесь не нарушается: сила в 20 пудов, приложенная к телеге, вызывает равную противодействующую силу со стороны телеги, а сила в 10 пудов, с которой лошадь отталкивается от земли, вызывает равное противодействие со стороны земли.

Даже падение тел строго подчиняется закону равенства действия и противодействия. Яблоко падает на землю оттого, что его притягивает земной шар. Но с точно такою же силою и яблоко притягивает к себе нашу планету. Строго говоря, яблоко и Земля падают друг на друга, но скорость этого падения различна для яблока и для Земли. Одна и та же сила взаимного притяжения сообщает яблоку ускорение в 5 сажень, а земному шару — во столько раз меньше, 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 утверждаем, что яблоко падает на землю, вместо того, чтобы говорить: «яблоко и Земля падают друг на друга».

Отчего погиб Святогор-богатырь?

Вы помните былинку о Святогоре-богатыре, который вздумал поднять Землю? Архимед, если верить преданию, тоже намеревался, не будучи богатырем, совершить такой подвиг и искал лишь точки опоры для своего рычага. Позднее мы побеседуем о том, какой непредвиденный сюрприз ожидал бы гениального математика, если бы ему была дана эта желанная точка опоры. Но Святогор был силен и без рычага. Он мечтал лишь о том, чтобы было за что ухватиться, к чему приложить свои богатырские руки. Случай представился: богатырь нашел на земле «сумочку переметную», в которой сосредоточена была «вся тяга земная». Ухватившись за нее, Святогор стал тянуть вверх изо всей силы. Но сумочка не поддавалась — зато сам Святогор по колено в землю увяз. «Тут ему было и кончание».

Если бы Святогору был известен закон равенства действия и противодействия, он сообразил бы, что его богатырская сила, приложенная к Земле, вызовет равную, а, следовательно, столь же колоссальную противодействующую силу, которая может втянуть его самого в землю.

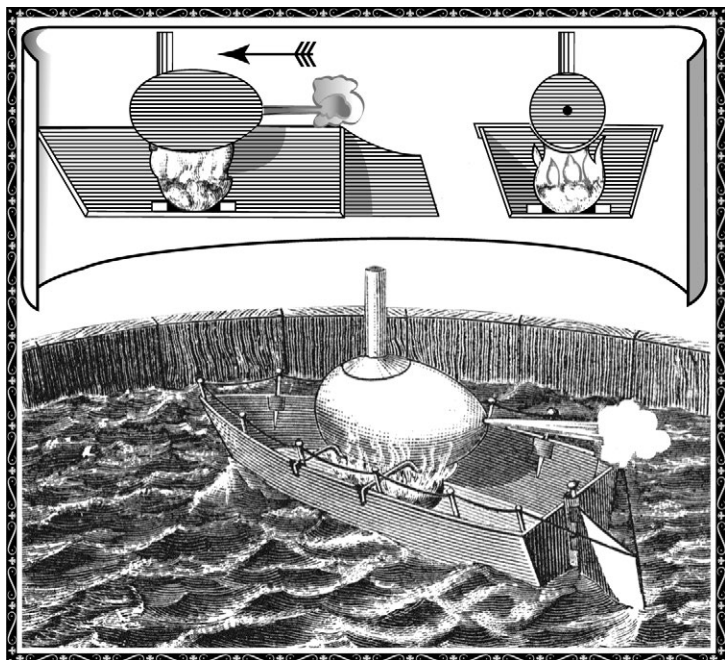


Рис. 8. Игрушечный пароходик из пустого яйца и бумаги, наглядно доказывающий, что «действие равно противодействию».

В яйцо наливают воды, и этот миниатюрный паровой котел подогревается горением намоченной в спирте ваты. Когда из отверстия в яйце начинает бить струя пара, весь пароходик, силой возвратного толчка, движется в противоположном направлении.

Во всяком случае, из былины видно, что народная наблюдательность давно подметила противодействие, оказываемое Землей, когда на нее опираются. Народ бессознательно применял закон равенства действия и противодействия за тысячелетия до того, как Ньютон впервые сформулировал его в своей бессмертной книге «Математические основы натуральной философии» (т. е. физики).

Можно ли двигаться, ни на что не опираясь?

Когда человек ходит, он отталкивается ногами от земли или от пола; все знают, что по очень гладкому полу, от которого нога не может оттолкнуться, ходить нельзя. Паровоз при движении отталкивается колесами от рельсов: если рельсы смазать маслом, паровоз останется на месте. Пароход лопастями своего винта отталкивается от воды. Аэроплан отталкивается от воздуха также при помощи винта — пропеллера. Словом, в какой бы стихии ни двигался предмет, он опирается на нее при своем перемещении. Но может ли тело двигаться, не имея никакой опоры вне себя?

Казалось бы, такое движение невозможно, и стремиться к нему все равно, что желать поднять самого себя за волосы. Но это только кажется: именно такое будто бы невозможное движение часто происходит на наших глазах. Правда, тело не может привести себя целиком в движение одними лишь внутренними силами, но оно может заставить некоторую часть своей массы двигаться в одну сторону, остальную же — в другую, противоположную. Сколько раз видели вы летящую ракету, — а задумывались ли над вопросом: почему она летит? Между тем, в ракете мы имеем прекрасный пример того рода движения, которое сейчас нас интересует.

Почему взлетает ракета?

Даже среди людей науки приходится нередко слышать превратное объяснение полета ракеты: она летит, мол, потому, что своими газами (которые образуются при горении пороха внутри нее) она отталкивается от воздуха. Однако, если пустить ракету в безвоздушном пространстве, она полетит нисколько не хуже, пожалуй, даже лучше, чем в воздухе. Истинная причина движения ракеты состоит в том, что, когда пороховые газы стремительно вытекают из нее вниз, сама трубка ракеты, по закону равенства действия и противодействия, отталкивается вверх. Здесь, в сущности, происходит то же, что и при выстреле из пушки: ядро 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 ядра, во сколько раз ядро легче самой пушки. Когда 12-дюймовая* пушка, установленная в башне современного дредноута**, извергает из своего жерла 30-пудовое ядро со скоростью 400 саженей в секунду, — все огромное судно, весящее более миллиона пудов, отталкивается назад со скоростью одного дюйма в секунду. Основываясь на том же правиле механики, герои романа Жюль Верна «Вверх дном» задумали «выпрямить» земную ось выстрелом из колоссальной пушки. Ракета — та же пушка, только извергает она не ядра, а пороховые газы.

По той же причине вертится и так называемое «китайское колесо»: при горении пороха в трубках, прикрепленных к колесу, газы вытекают в одну сторону, сами же трубки (а с ними и колесо) получают обратное движение.

* Дюйм (от нидерл. *duim* — большой палец) — русское название для единицы измерения расстояния в некоторых европейских неметрических системах мер, обычно равной $\frac{1}{12}$ или $\frac{1}{10}$ («десятичный дюйм») фута соответствующей страны. Слово *дюйм* введено в русский язык Петром I в самом начале XVIII века. Сегодня под дюймом чаще всего понимают английский дюйм, равный 2,54 см ровно. — *Прим. изд.*

** «Дредноут» («Dreadnought», буквально — неустрашимый) — английский линейный корабль, положивший начало этому классу кораблей. Постройка «Дредноута» явилась попыткой учесть опыт русско-японской войны 1904—1905, в которой выявились недостатки броненосцев. Построен в 1905—1906 в Портсмуте; водоизмещение 17900 т, скорость хода — 21 узел (39 км/ч), вооружение: 10 орудий 305-мм (в 5 двухорудийных башнях), 14 орудий 76-мм (вдоль бортов, на башнях крупного калибра, в носу и на корме), 5 подводных торпедных аппаратов (4 бортовых и 1 кормовой); бронирование: в средней части 280 мм, в носу и на корме 200 мм, палубы 40 мм, башен и рубки 280 мм. Основные отличительные черты дредноута от его предшественников — броненосцев: введение единых калибров всей главной и противоминной артиллерии, увеличение скорости хода, противоминной защиты, ромбическое расположение артиллерийских башен, что позволяло вести огонь с бортов и кормы из 8, а по носу из 6 орудий главного калибра. В России были построены более совершенные линейные корабли типа «Севастополь». — *Прим. изд.*

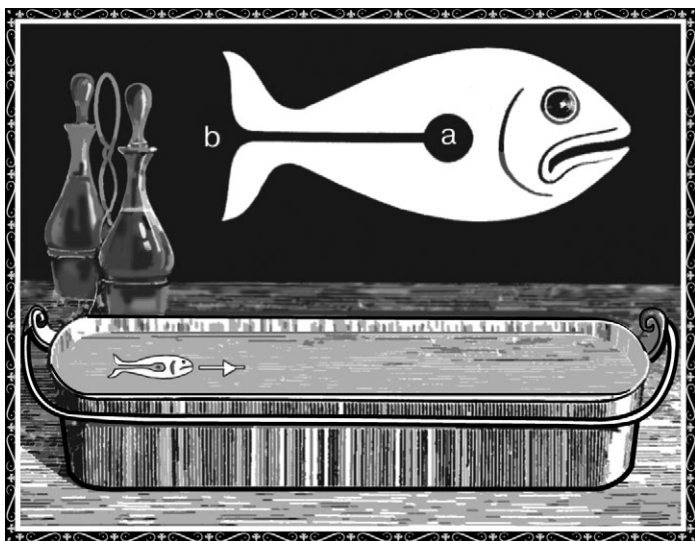


Рис. 9. Плавающая рыбка, вырезанная из визитной карточки.

Это маленькое изобретение Тома Тита основано на законе противодействия: если в вырезанный кружок *a* капнуть масла, то, свободно растекаясь по воде вдоль канала от *a* к *b*, масляная пленка будет оказывать давление в обратную сторону и заставит рыбку двигаться в направлении ее головы.

Есть множество игрушек, основанных на этом начале. Игрушечный пароход, изображенный на стр. 26 изобретенный остроумным Томом Титом, движется потому, что пар, вытекая в одну сторону, толкает весь пароход в обратную. Если в прорезь картонной рыбки, положенной на воду (см. рис. 9), капнуть масла, она поплывет в направлении, обратном тому, по которому растекается масляная пленка. Наконец, мы знаем, что самая древняя в мире паровая машина, изобретенная Героном Александрийским еще в III век до Р. Х., была устроена по тому же принципу: пар из котла *αβ* (рис. 10) поступал по трубке *εζη* в шар, вращающийся 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, не более, так как дешевизна труда живых двигателей — рабов — никого не понуждала к практическому использованию мертвых машин.

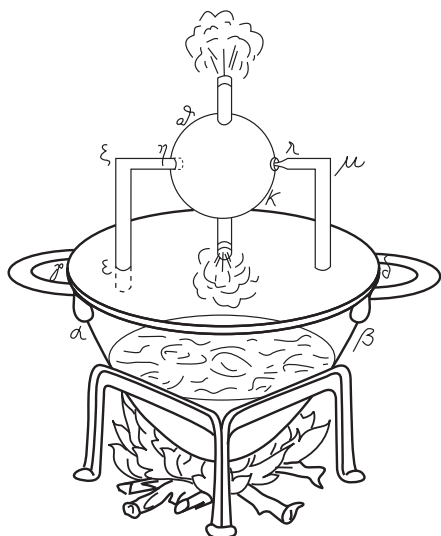


Рис. 10. Самая древняя в мире паровая машина (турбина), изобретенная Героном Александрийским в III веке до Р. Х.

Как движется каракатица?

Вероятно, вам странно будет слышать, что существует множество живых существ, для которых мнимое «вытаскивание самого себя за волосы» является весьма обычным способом перемещения.

Каракатица и вообще большинство головоногих моллюсков движутся в воде таким образом: они набирают воду в жаберную полость через боковую щель и особую воронку впереди тела и затем энергично выбрасывают струю воды через упомянутую воронку; при этом они получают обратный толчок, достаточный для того, чтобы довольно быстро плавать задней стороной тела вперед. Каракатица может, впрочем, направить трубку воронки вбок или назад и, энергично выдавливая из нее воду, двигаться в любом направлении.

На том же основано и движение медузы: сокращением мускулов она выталкивает из-под своего колоколообразного

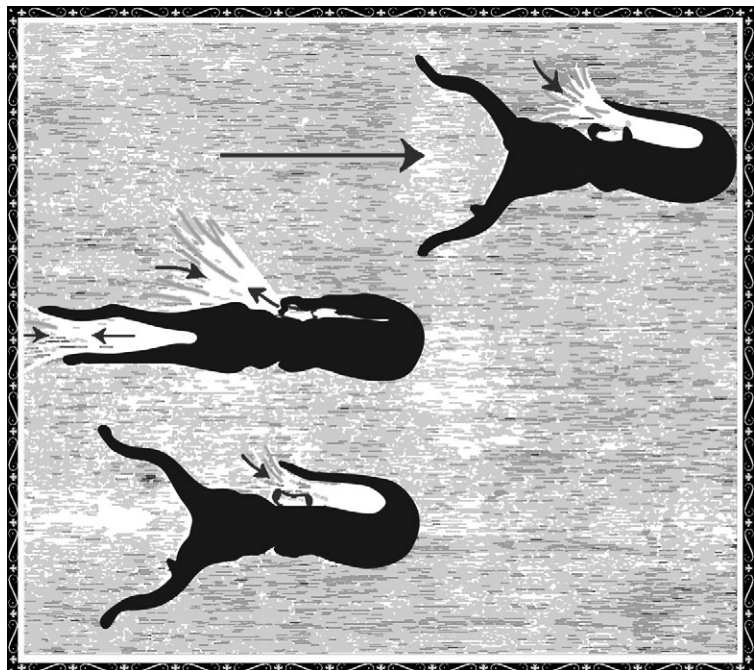
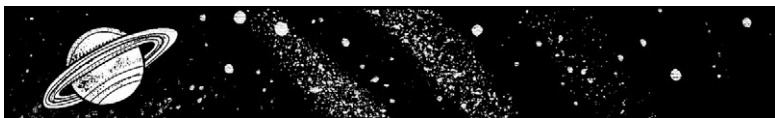


Рис. 11. Как передвигается в воде каракатица.

Силою выбрасывая из своего тела набранную воду, животное получает толчок, который и относит его назад.

тела воду, получая толчок в обратном направлении. Сходным приемом пользуются при движении с а л ь п ы, личинки стрекот и многие другие водные животные. А мы еще сомневались, можно ли так двигаться!



К звездам на ракете

Что может быть заманчивее, чем покинуть наш земной шар и путешествовать по необъятной вселенной, перелетать с планеты на планету, со звезды на звезду? 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 «Гектор Сервадак», Уэллс в «Первых людях на Луне» и множество их подражателей совершали воображаемые путешествия на небесные светила, — конечно, в мечтах. В действительности же мы — увы! — остаемся пленниками земного шара*.

Неужели же нет возможности осуществить эту давнишнюю мечту человечества? Неужели все остроумные проекты, с такой заманчивой правдоподобностью изображенные в романах, на самом деле неисполнимы? В дальнейшем мы еще будем беседовать о фантастических проектах межпланетных путешествий; теперь же познакомимся с единственным серьезным проектом подобных путешествий, предложенным русским 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 межпланетном пространстве вообще нет никакой материальной среды, на которую мог бы опереться «межпланетный дирижабль». Значит, надо придумать такой снаряд, который мог бы двигаться, ни на что не опираясь.

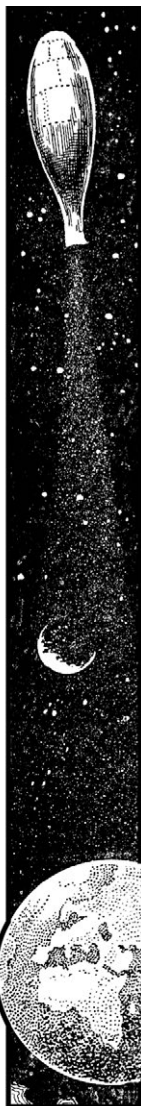
Мы уже знакомы с подобным снарядом в виде игрушки — это ракета. Так отчего бы не устроить огромную ракету, с особым помещением для людей, съестных продуктов, за-

* Книга была издана в 1913 году. — *Прим. изд.*

пасов воздуха и всем прочим? Вообразите, что люди в этой ракете везут с собой большой запас взрывчатых веществ и, подобно каракатице, могут направлять истечение газов в любую сторону. Вы получите настоящий управляемый небесный корабль, на котором можно плыть в беспредельном океане мирового пространства, полететь на Луну, на планеты, к звездам... Пассажиры могут посредством ряда отдельных мелких взрывов увеличивать скорость этого межпланетного дирижабля с необходимой постепенностью, чтобы возрастание скорости было безвредно для них. При желании спуститься на какую-нибудь планету они могут постепенно уменьшить скорость снаряда и тем ослабить силу падения. Наконец, пассажиры могут таким же путем возвратиться и обратно на Землю. Для всего этого надо только захватить с собой достаточный запас взрывчатых веществ.

«Зачем же дело стало? — спросите вы. — Почему же никто не сооружает такой гигантской ракеты и не отправляется исследовать глубины межзвездных пространств?»

Остановка в том, что мы пока не имеем достаточно сильного взрывчатого вещества. Чтобы сообщить исполинской ракете скорость, потребную для преодоления силы тяжести, нужно взрывчатое вещество силою в 10—15 раз больше, чем у пироксилина*. Такого вещества мы еще не знаем; не имеем мы и достаточно крепких материалов для «небесной ракеты».



* Пироксилин (от греч. *pyr* — огонь и *xylon* — дерево) — сильное взрывчатое вещество, получаемое в результате обработки древесной клетчатки или отходов бумагопрядения с помощью смеси азотной и серной кислот, употребляется при подрывных работах и при изготовлении бездымного пороха. — *Прим. изд.*

Но то, что невозможно сегодня, может осуществиться завтра. Человечество уже было однажды в подобном положении: когда найден был принцип летания по способу парения, для сооружения аэроплана не хватало лишь достаточно сильного двигателя и достаточно прочных материалов. Прошло 15 лет, — и что же? Аэропланы высоко реют в воздухе, перелетая через горы и моря; мы присутствовали уже и при воздушной войне... Так отчего не допустить, что когда-нибудь люди полетят к звездам в огромном ракетообразном снаряде?

ГЛАВА ВТОРАЯ

Силы. Работа. Трение

Задача о лебеде, раке и щуке

История о том, как «лебедь, рак да щука везти с поклажей воз взялись» — известна, конечно, всем. Но пробовали ли вы проверять этот рассказ на основании законов механики? Результат проверки получается, сверх ожидания, вовсе не похожий на вывод баснописца.

Будем рассуждать так, словно перед нами обыкновенная задача на сложение нескольких сил, действующих под углом одна к другой. Направление сил определено в басне:

... Лебедь рвется в облака,
Рак пятится назад, а щука тянет в воду.

Это значит, что одна сила, тяга лебедя (A), направлена вверх; другая, тяга щуки (B) — вбок; третья, тяга рака (C) — назад. Не забудем, что существует еще четвертая сила, вес воза, которая направлена отвесно вниз. Крылов утверждает, что «воз и ныне там», — другими словами, что равнодействующая всех четырех сил в данном случае равна нулю.

Так ли это?

Посмотрим. Лебедь, рвущийся к облакам, не только не мешает работе рака и щуки, но даже помогает им: тяга лебедя, направленная против силы тяжести, облегчает вес воза, а может быть, даже и вполне уравнивает его — ведь груз невелик («поклажа бы для них казалась и легка»). Остаются всего две силы: тяга рака и тяга щуки. О направлении этих

сил говорится, что «рак пятится назад, а щука тянет в воду». Само собою разумеется, что вода находилась не впереди воза, а сбоку (не потопить же воз собрались крыловские труженики!). Но если силы рака и щуки направлены под углом одна к другой, то равнодействующая их никак не может равняться нулю.

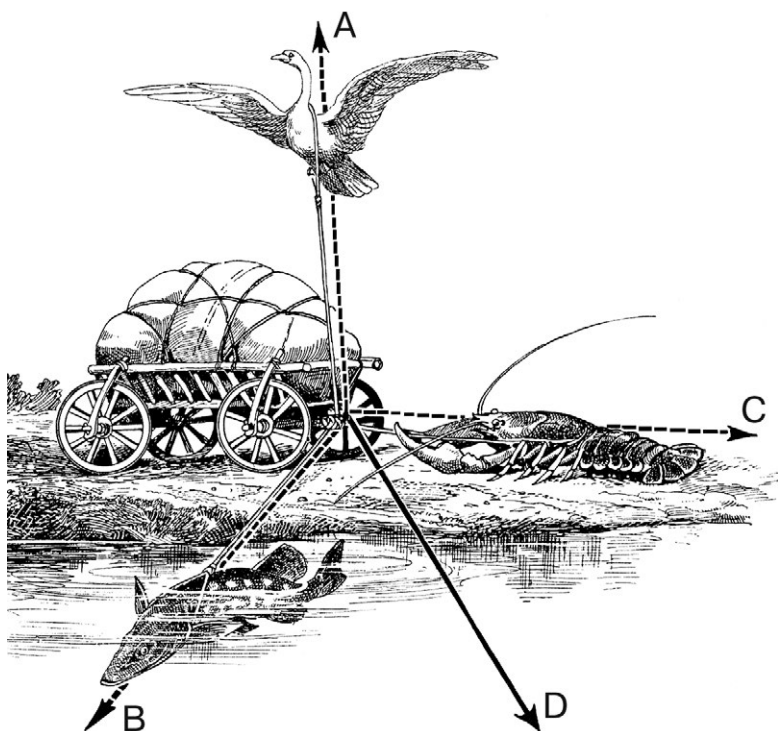


Рис. 13. Задача о лебедь, раке и щуке, решенная по правилам механики. — Равнодействующая D должна сдвинуть воз с места.

Поступая по правилам механики, строим на обеих силах B и C параллелограмм; диагональ его D дает направление и величину искомой равнодействующей. Ясно, что эта равнодействующая сила должна сдвинуть воз с места, тем более что вес воза вполне или частью уничтожается тягою лебедя (трением мы здесь, ради простоты, пренебрегаем). Другой

вопрос — в какую сторону сдвинется воз: вперед, назад или в бок; это зависит от соотношения сил и от величины угла между ними.

Во всяком случае, как видите, Крылов едва ли мог с уверенностью утверждать, что «возу все нет ходу», что «воз и ныне там».

Вопреки Крылову

Мы только что видели, что житейское правило Крылова: «когда в товарищах согласия нет, на лад их дело не пойдет» — не применимо в механике. Силы могут быть направлены не в одну сторону и, несмотря на это, давать известный результат.

Мало кто знает, что даже усердные труженики-муравьи, которых тот же Крылов восхваляет, как образцовых работников, трудятся совместно именно по осмеянному баснописцем рецепту. И все же дело у них, в общем, идет на лад. Выручает опять-таки закон сложения сил. Если вы станете внимательно следить за муравьями во время работы, то очень скоро убедитесь, что разумное сотрудничество их — только кажущееся;

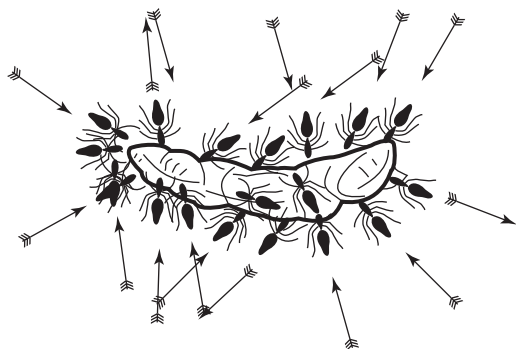


Рис. 14. Каждый муравей тянет ношу в свою сторону. — Стрелки показывают направление тяги.

на деле же каждый муравей работает сам для себя, вовсе не думая помогать товарищу.

Вот как описывает работу муравьев один исследователь*:

* Е. Елачич «Инстинкт».

«Если крупную добычу тащит десяток муравьев по ровному месту, то все действуют одинаково, и получается видимость сотрудничества. Но вот добыча, например гусеница,

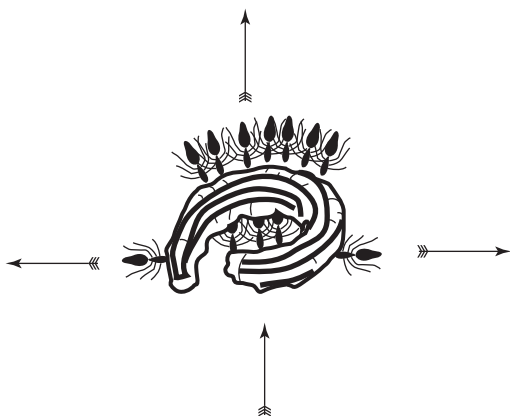


Рис. 15. Как муравьи волокут гусеницу.

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 (см. рис. 14 и 15). Один тащит направо, другой — налево; один толкает вперед, другой, рядом с ним стоящий, 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 4 муравья, а в другую — 6, то гусеница, в конце концов, и двинется именно в сторону этих 6-ти, несмотря на противодействие 4-х».

Приведем еще поучительный пример, наглядно иллюстрирующий это мнимое сотрудничество муравьев. На рис. 16 изображен прямоугольный кусочек сыра, за который ухватилось 25 муравьев. Сыр медленно подвигался в направлении, указанном стрелкою, и можно было думать, что передняя шеренга муравьев тянет ношу к себе, задняя — толкает ее впе-

ред, боковые же муравьи помогают и тем и другим. Однако это совершенно не так, в чем нетрудно убедиться: отделите ножом всю заднюю шеренгу — и 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 волочить ношу, но усердно мешали им, парализуя их усилия. Для того, чтобы волочить этот кусочек сыра, достаточно было бы усилий всего четырех муравьев, но несогласованность действий и взаимные помехи приводят к тому, что его едва тащат 25 муравьев!

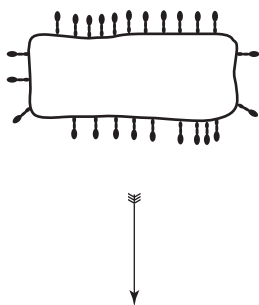


Рис. 16. Муравьи стараются притащить кусок сыра к муравейнику, расположенному в направлении стрелки.

Легко ли сломать яичную скорлупу?

Если вы думаете, что яичная скорлупа очень хрупкая и нежная вещь, то попробуйте раздавить яйцо между ладонями, напирая на его острые концы. Вам удастся это далеко не так легко, как вы воображаете: нужно немалое усилие, чтобы сломить скорлупу при подобных условиях.

Столь необычайная крепость яичной скорлупы зависит исключительно от его выпуклой формы и объясняется совершенно так же, как и прочность всякого рода сводов и арок.

На прилагаемом чертеже (рис. 17) изображен разрез небольшого каменного свода над окном. Груз S (т. е. вес вышележащих частей кладки), напирający на клинообразный средний камень свода, давит вниз с силою, которая обозначена на чертеже стрелкой A . Но сдвинуться вниз камень не может, вследствие своей суживающейся формы, — и он давит на соседние камни. Другими словами, сила A разлагается, по правилу параллелограмма, на две боковые силы, обозначенные стрелками C и B ; силы эти уничтожаются сопротивлением прилегающих камней, в свою очередь зажатых между со-

седними. 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 не мешает им подниматься.

Скорлупа яйца есть тот же свод, только сплошной, а не составленный из отдельных частей. При давлении *снаружи* он разрушается далеко не так легко, как можно бы ожидать от такого хрупкого материала. Теория доказывает, что наи-

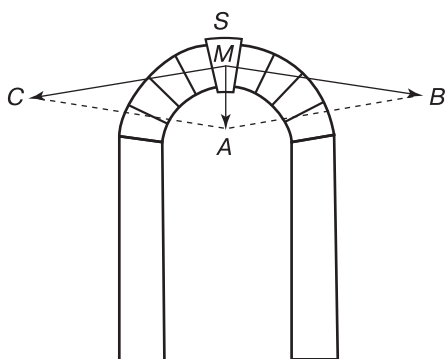


Рис. 17. Причина прочности свода.

большее сопротивление давлению оказывает свод не строго полушаровидный, а именно такой формы, как выпуклость на остром конце яйца. Можно поставить ножки довольно тяжелого стола на четыре сырых яйца, и последние не раздавятся. (Для устойчивости яиц и увеличения площади давления надо снабдить яйца гипсовыми расширениями на концах; гипс легко пристает к известковой скорлупе.)

Теперь вы понимаете, почему наседке не приходится опасаться сломить скорлупу яиц тяжестью своего тела. И в то же время, слабый птенчик, желая выйти из своей природной темницы, без труда пробивает скорлупу клювиком: тонкий известковый свод не может противостоять давлению *изнутри*.

С легкостью разламывая скорлупу яйца боковым ударом, мы и не подозреваем, как прочна она, когда сила действует

на нее при естественных условиях, и какой надежной броней природа защитила развивающееся в ней живое существо.

Загадочная, почти чудесная прочность электрических лампочек, казалось бы столь нежных и хрупких, объясняется совершенно так же, как и прочность яичной скорлупы. Их необыкновенная крепость станет еще поразительнее, если вспомним, что они почти *абсолютно пусты*, и давлению внешнего воздуха ничто не противодействует *изнутри*; между тем, на пористую стенку куриного яйца атмосферное давление, конечно, не оказывает никакого влияния. А величина давления воздуха на электрическую лампочку весьма не мала. Шарообразная лампочка, поперечником, например, в 20 сантиметров, имеет поверхность в $1\,260\text{ см}^2$. На каждый сантиметр, как известно, воздух давит с силою 1 килограмма: эта дает на всю лампочку давление 1 260 килограммов, или 75 пудов! Вот какое огромное давление непрерывно выдерживает тонкая стеклянная пленка электрической лампочки! Достаточно четвертой части этого давления, чтобы, действуя *изнутри*, разнести лампочку вдребезги.

На парусах против ветра

Для всякого не моряка представляется непостижимым, как могут парусные суда идти «против ветра». Правда, моряк скажет вам, что прямо против ветра на парусах идти нельзя, а можно двигаться под очень острым углом к направлению ветра. Но угол этот так мал (12°), что представляется, пожалуй, одинаково непонятным — плыть ли прямо против ветра, или под углом к нему в 12° .

Для теории это, однако, безразлично, и мы сейчас объясним, каким образом можно силою 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 в каком-либо направлении. Если вы не моряк, то, вероятно, думаете, что ветер всегда толкает парус в ту сторону, куда дует. Но это не так: куда бы ни дул ветер, 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 мы можем заменить давление ве-

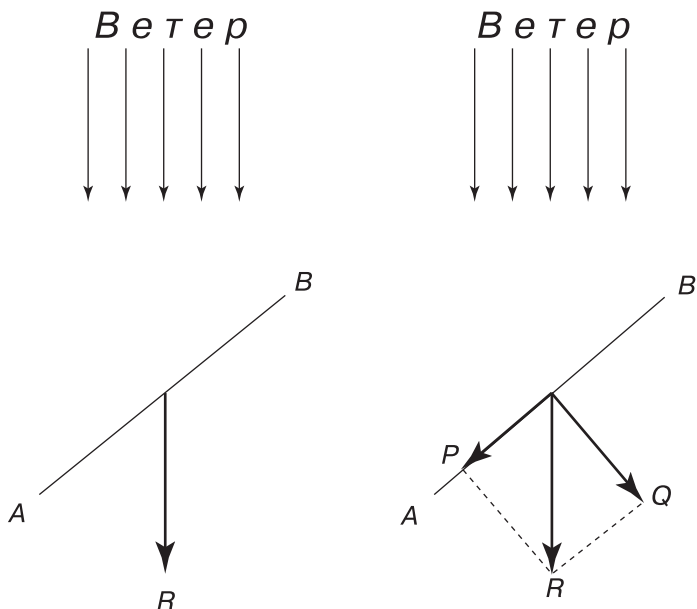


Рис. 18. Почему ветер всегда толкает парус под прямым углом к его плоскости.

тра силой R , приложенной к середине паруса. Эту силу мы разложим на две: силу Q , перпендикулярную к парусу, и силу P , направленную вдоль него. Последняя сила будет скользить по парусу, не толкая его, так как трение ветра о полотно очень незначительно. Остается только сила Q , которая толкает парус в перпендикулярном к нему направлении.

Итак, под каким бы углом к парусу ни дул ветер, он во всяком случае напирает под прямым углом к парусу.

Зная это, мы уже без труда поймем, как может парусное судно идти под очень 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

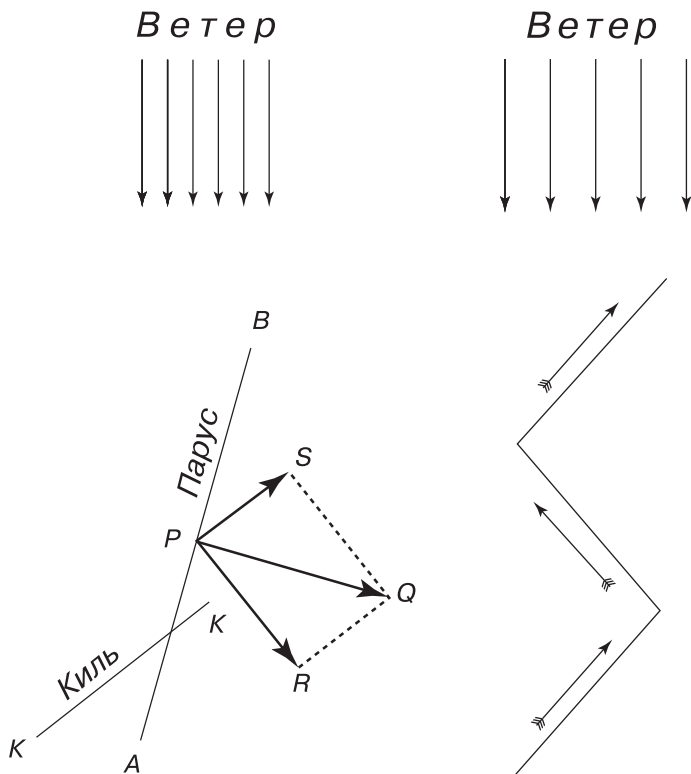


Рис. 19. Разложение сил, объясняющее, почему возможно идти на парусах против ветра.

разложением сил. Напор ветра на парус мы изображаем силой Q , которая, как 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

Рис. 20. «Лавирование» парусного судна.

в направлении R вызывает сильное сопротивление воды (киль в парусных судах делается очень глубоким), то сила R почти полностью уничтожается; остается одна лишь сила S , которая, как видите, направлена вперед, а следовательно, подвигает судно под углом, как бы навстречу ветру.

Моряки заметили, что наименьшая величина угла BPS , под которым можно идти против ветра, равна 11—12 градусам. Из чертежа видно, что скорость такого движения против ветра очень невелика (в сравнении с силою ветра), так как при этом используется лишь часть полного напора ветра на паруса. Но как бы то ни было, идти против ветра можно. Обыкновенно это движение выполняется зигзагами, как показывает рис. 20. На языке моряков такое движение судна называется «лабиринтацией».

Мог ли Архимед поднять Землю?

«Дайте мне точку опоры — и я подниму всю Землю», — сказал, если верить преданию, Архимед, когда открыл закон рычага. И действительно, нет такой тяжести, которую 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 может показаться, что Архимед был вполне прав в своем смелом утверждении: напирая на чрезвычайно длинное плечо рычага, он мог бы силою своих рук поднять тяжесть, равную весу всего земного шара.

Но если бы великий механик древности знал, как огромен вес земного шара, он, вероятно, воздержался бы от своего горделивого восклицания. Вообразим на мгновение, что ему дана та точка опоры, которую он так тщетно искал; вообразим далее, что он изготовил рычаг нужной длины. Знаете ли, сколько времени понадобилось бы ему, чтобы поднять земной шар хотя бы на один дюйм? *Десять миллиардов лет! Сто тысяч миллионов веков!..*

В самом деле, Земля весит круглым числом —

365.000.000.000.000.000.000 пудов.



Рис. 21. Архимед поднимает Землю.

(Из старинного сочинения по механике.)

Если человек может прямо поднять только пять пудов, то чтобы поднять Землю, ему понадобится приложить свои руки к длинному плечу рычага, которое больше короткого в

73.000.000.000.000.000.000 раз!

Простой расчет убедит вас, что пока конец короткого плеча поднимется на 1 дюйм, другой конец опишет во вселенной огромную дугу в 1.740.000.000.000.000 верст!

Вот какой невообразимо длинный путь должна была бы пройти рука Архимеда, чтобы поднять земной шар только на один дюйм. Сколько же времени понадобилось бы ему для совершения этого подвига? Считайте, что он способен в секунду поднять пятипудовую гирию на одну сажень; тогда, чтобы пройти путь в 1.740.000 биллионов верст и тем поднять нашу планету на один дюйм, ему понадобилось бы не менее *десяти биллионов лет!*

Следовательно, если бы даже Архимед налегал на рычаг целый миллион лет, он не поднял бы Землю даже на толщину волоса. И если бы рука Архимеда пробегала этот путь с самой большой скоростью, какую только мы наблюдаем в природе, именно — со скоростью света (280.000 верст в секунду), то и тогда понадобилось бы *полтора ста тысяч лет*, чтобы поднять Землю на один дюйм! За всю свою жизнь Архимед даже при такой фантастически быстрой работе не успел бы поднять земной шар на сотую долю толщины волоса...

И никакие ухищрения гениального ученого не помогли бы ему сократить этот срок. «Золотое правило механики» гласит, что на всякой машине выигрыш в силе неизбежно сопровождается соответствующей потерей в скорости, т. е. во времени.

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 всех подвигов этого силача, описанных в романе «Матиас Сандорф», вам более других памятен поразительный случай со спуском судна «Traboccolo», когда гигант Матифу силою своих 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. Хотя оно имело не более 50 тонн водоизмещения, но представляло значительную массу, вследствие чего нужно было принять все необходимые предосторожности. Все уже было готово и приспособлено для спуска, ожидали только сигнала. Достаточно было отнять швартов*, чтобы судно начало скользить вниз. Уже с полдюжины плотников возилось под килем судна, стараясь приподнять его, покачнуть и направить его путь к морю. Среди всеобщей тишины зрители с живым любопытством следили за операцией. В этот момент, обогнув береговой выступ, который прикрывает с юга порт Гравозу, появилась увеселительная яхта. Чтобы войти в порт, яхта должна была пройти перед верфью, где подготавливался спуск "Traboccolo", и как только она подала сигнал, пришлось, во избежание всяких случайностей, задержать спуск, чтобы снова приняться за дело после

* Швартов — трос или цепь, предназначенные для подтягивания и удержания судна у причала, у рейдовой бочки или у другого судна. Число швартовых, их толщина и длина зависят от размеров судна и условий стоянки. — *Прим. изд.*

прохода яхты в канал. Если бы суда, — одно, стоявшее поперек, другое, подвигающееся с большой быстротой, — столкнулись, яхта погибла бы.

Рабочие перестали стучать молотками, а один из них, который должен был отнять швартов, получил приказание подождать. 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: "Trabocolo" закачалось и пришло в движение в тот самый момент, когда яхта повернулась к ней штирбортом*! Оба судна готовы были столкнуться; не было ни времени, ни возможности помешать этому столкновению. В ответ на испуганные крики зрителей раздался крик экипажа яхты. Тем временем "Trabocolo" быстро скользило вниз по наклону... Белый дымок, появившийся вследствие трения, закрутился перед его передней частью, тогда как корма погрузилась уже в воду бухты (судно спускалось кормой вперед).

Вдруг появляется человек, схватывает швартов, висящий у передней части "Trabocolo", и старается удержать его, пригнувшись к земле. В одну минуту он наматывает швартов на вбитую в землю железную тумбу и, рискуя быть раздавленным, держит с нечеловеческой силой в руках канат в продолжение 10 секунд. Наконец, швартов обрывается. Но этих 10 секунд было достаточно: "Trabocolo", 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 это произошло, — то это был Матифу».

Легко представляю себе, как изумился бы талантливый автор «Матиаса Сандорфа», если бы ему сказали, что для совершения подобного подвига не нужно вовсе быть великаном и обладать, как Матифу, «силою тигра»: каждый находчивый

* Штирборт и старборт [нем. *Steuerbord*] (мор.). — Правый борт судна. — Прим. изд.

человек, при самой обыкновенной силе мышц, мог бы без труда сделать то же самое!

Механика учит, что при скольжении каната, обвитого на тумбе, трение возрастает в сильнейшей степени. Чем большее число раз навить канат, тем трение больше; правило возрастания трения таково, что с увеличением числа завитков в арифметической прогрессии трение растет в геометрической прогрессии. Поэтому даже слабый ребенок, держа за свободный конец каната, 3—4 раза навитого на неподвижный вал, может уравновесить огромную тяжесть. Подростки, служащие на речных пароходных пристанях, именно этим приемом останавливают подходящие к пристаням пароходы с сотней пассажиров. Помогает им здесь не феноменальная сила их рук, а изученная знаменитым Эйлером зависимость величины трения от числа оборотов веревки вокруг столба.

Для тех из читателей, которых не пугает сжатый язык алгебраических выражений, приводим здесь эту поучительную формулу Эйлера:

$$F = fe^{k\alpha}.$$

Здесь F — та сила, против которой направлено наше усилие f . Буквой e обозначено основание натуральных логарифмов, которое равно 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.

Попробуем применить эту формулу к тому случаю, который описан у Жюль Верна. Результат получится поразительный. Силой F в данном случае является сила тяги судна, скользящего по доку. Вес судна нам известен: 50 тонн, т. е. 3000 пудов. Пусть наклон дока $\frac{1}{10}$; тогда на канат действовал не полный вес судна, а $\frac{1}{10}$ его, т. е. 300 пудов. Итак, $F=300$ пудов.

Далее, величину k — коэффициента трения каната о железную тумбу — будем считать равной $\frac{1}{3}$. 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:

$$300 = f \cdot 2,718^{6\pi \cdot 1/3} = f \cdot 2,718^{2\pi}.$$

Неизвестное f (т. е. величину необходимого усилия) можно определить из этого уравнения, прибегнув к помощи логарифмов:

$$\lg 300 = \lg f + 2\pi \lg 2,718;$$

откуда:

$$f = 0,6 \text{ пуда} = 24 \text{ фунта}^*.$$

Итак, великану Матифу, чтобы совершить свой подвиг, достаточно было тянуть канат с силой всего 24 фунтов!

Не думайте, что эта цифра — 24 фунта — только теоретическая и что на самом деле потребуется гораздо большее усилие. Напротив, у нас получился результат даже чересчур значительный: при *пеньковой*** веревке и *деревянной* свае усилие потребуется до смешного ничтожное. Лишь бы веревка была достаточно крепка и могла выдержать натяжение, — тогда даже ребенок, благодаря формуле Эйлера, мог бы, навив веревку 3—4 раза, не только повторить подвиг жюльерновского исполина, но и превзойти его.

От чего зависит крепость узлов?

В обыденной жизни мы часто пользуемся той выгодой, на которую указывает нам формула Эйлера. Что такое, например, любой 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», — всякого рода завязок, бантов и т. п. зависит исключительно от трения, которое здесь усиливается во много раз вследствие того, что шнурок обвивается вокруг самого себя, как веревка вокруг тумбы. В этом не трудно убедиться, если проследить за изгибами шнурка в узле. Чем больше этих изгибов, чем больше раз бечевка обвивается вокруг самой себя — тем больше «угол навивания» в формуле Эйлера, а следовательно, тем крепче узел.

Бессознательно пользуется формулой Эйлера и портной, когда пришивает пуговицу. Он много раз обматывает нить во-

* Фунт — единица измерения массы; 1 фунт = 0,454 кг. — *Прим. изд.*

** Пенька — прядильное волокно из стебля конопли. Из пеньки делают канаты и шпагат. — *Прим. изд.*

круг захваченного стежком участка сукна и затем обрывает нить. За прочность шитья он может быть спокоен: если только нитка крепка, пуговица не отпорется. Здесь применяется уже знакомое нам правило: с увеличением числа оборотов нитки в арифметической прогрессии крепость шитья возрастает в геометрической прогрессии.

Если бы не было трения, мы не могли бы связать двух бечевек или завязать шнурки ботинок; не могли бы мы пользоваться и пуговицами: нитки размотались бы под их тяжестью, и наш костюм остался бы без единой пуговицы.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

Вращательное движение. Центробежная сила

Почему не падает вращающийся волчок?

Без преувеличения можно сказать, что из тысячи людей, забавлявшихся в детстве верчением волчка, едва ли хоть один сможет правильно ответить на этот вопрос. В самом деле: не странно ли, что вращающийся волчок, поставленный вертикально или даже наклонно, не опрокидывается вопреки всяким ожиданиям? Какая сила удерживает его в таком, казалось бы, неустойчивом положении? Разве тяжесть не действует на этот маленький предмет?

Конечно, никакого исключения из законов природы для волчка не делается. Здесь имеет место лишь чрезвычайно любопытное взаимодействие сил.

На рис. 22 изображен волчок, вращающийся в направлении черных стрелок. Обратите внимание на часть *A* впереди волчка и на часть *B*, диаметрально противоположную ей. Часть *A* стремится двигаться справа налево, часть *B* — слева направо. Теперь проследите, какое движение получают эти части, когда вы толкаете ось волчка от себя. Таким толчком вы заставляете часть *A* двигаться вверх, часть *B* — вниз, т. е. обе части получают

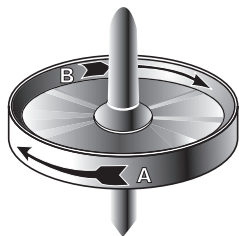


Рис. 22. Почему волчок не падает?

толчок под прямым углом к их собственному движению. Но так как при быстро вращающемся волчке первоначальная скорость частей диска очень велика, то вполне понятно, что волчок как бы сопротивляется попытке опрокинуть его. Чем массивнее волчок и чем быстрее он вращается, тем упорнее сопротивляется он опрокидыванию.

Итак, мы уже знаем, какая причина мешает волчку опрокинуться, несмотря на то, что он находится, казалось бы, в не-



Рис. 23. Дьяболо легко поймать только потому, что он во время взлета и падения не перестает вращаться.

устойчивом положении. Это хорошо знакомая нам инерция — основное свойство материи, состоящее в том, что всякая материальная частица стремится сохранять неизменным направление своего движения. Мы не будем рассматривать здесь всех движений волчка, которые возникают при действии на него посторонней силы. Это потребовало бы очень подробных объяснений, которые, пожалуй, покажутся скучными большинству читателей. Мы хотели лишь разъяснить причину основного стремления всякого вращающегося тела — сохранять неизменным направление оси вращения. Этим

свойством объясняется целый ряд явлений, с которыми мы сталкиваемся в обыденной жизни. Самый искусный велосипедист ни минуты не усадил бы на своем стальном коне, если бы быстро вращающиеся колёса не стремились сохранять горизонтальность своих осей: ведь колёса — те же волчки, только оси их не вертикальны, а горизонтальны. И вот почему

так трудно ехать на велосипеде медленно: колёса перестают быть волчками. Ребенок, катящий свой обруч, бессознательно пользуется тем же свойством вращающихся тел: пока обруч находится в быстром вращении, он не падает. Игра с диаволо* целиком основана на том же принципе: сначала мы с помощью бечевки приводим двойной конус диаволо в быстрое вращательное движение и затем кидаем его высоко вверх; но, летя вверх и падая затем вниз, вращающийся диаволо не перестает сохранять горизонтальность оси вращения — вот почему его так легко поймать на вытянутую бечевку, снова подкинуть, вновь поймать и т. д. Если бы диаволо не вращался, все это было бы неисполнимо даже для самого искусного жонглера.

Искусство жонглеров

Кстати о жонглерах: почти все удивительнейшие «номера» их разнообразной программы основаны опять-таки на стремлении вращающихся тел сохранять направление оси вращения. Позволю себе привести здесь выписку из увлекательной книги современного** английского физика, проф. Джона Перри «Вращающийся волчок»:

«Однажды я показывал некоторые из моих опытов перед публикой, пившей кофе и курившей табак в великолепном помещении концертной залы «Виктория» в Лондоне. Я старался заинтересовать моих слушателей, насколько мог, и рассказывал о том, что плоскому кольцу надо сообщить враще-

* Диаволо (от итал. *diabolo* — перекидывать через что-либо) — игра, пришедшая в Средние века в Италию от китайских циркачей, когда раскручивают на веревке и высоко подкидывают предмет, напоминающий две склеенные доньшками пиалы. В Китае этот предмет изначально назывался коуэн-ген и изготавливался из бамбука. В наши дни диаволо делают из двух каучуковых полусфер, скрепленных между собой коротким стальным сердечником. Получившийся агрегат раскручивают на веревке, закрепленной между двух палочек. После пары движений диаволо раскручивается и приобретает небывалые аэродинамические свойства, превращаясь в маленькое НЛО, которое можно лихо подбрасывать метров на пять и ловить все на ту же веревку то за спиной, то под ногой. — *Прим. изд.*

** Книга была издана в 1913 году. — *Прим. изд.*

ние, 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 рассчитывать 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; что вращение, в которое приходит обык-

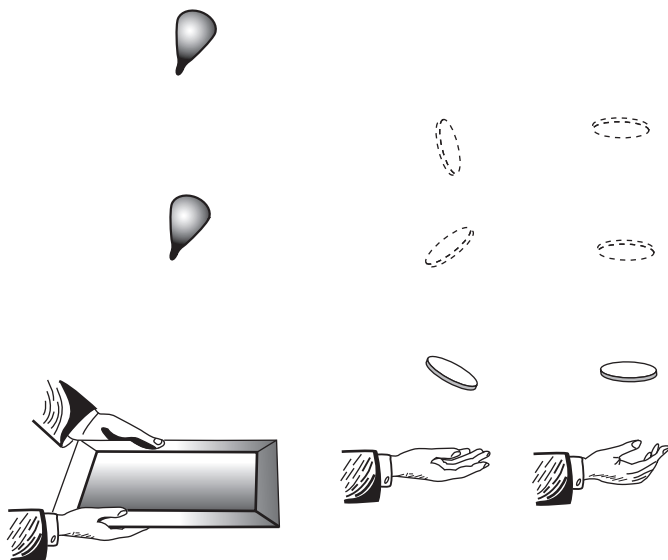


Рис. 24. Вращающиеся волчок и монета при подбрасывании сохраняют в пространстве свое первоначальное положение; монета же, подброшенная без вращения, не сохраняет первоначального положения.

новенное ядро, зависит прежде всего от того, каким образом ядро коснется отверстия пушки в момент, когда оно из нее вылетает; вследствие этого теперь делают нарезные дула, т. е. вырезают на внутренней стороне дула пушек спиралеобразные желоба, в которые приходятся выступы ядра или снаряда, так что последний должен получить вращательное движение, когда сила взрыва пороха заставляет его двигаться по дулу

пушки. Благодаря этому снаряд покидает пушку с точно определенным вращательным движением, относительно которого не может возникнуть никакого сомнения». Рис. 26 указывает на вид движения, которое затем совершает снаряд: совершенно так же, как у шляпы или кольца, его ось вращения остается почти параллельной сама себе.

«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 и затем молодая дама пропела комическую песню, на подмостки выступили два жонглера, господин и дама, 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

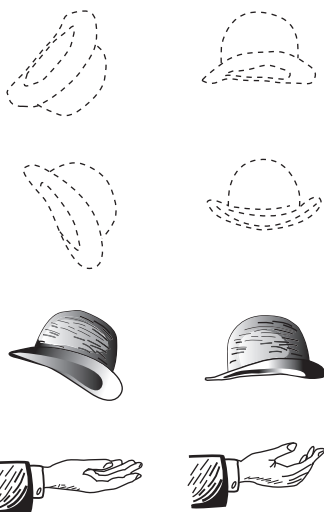


Рис. 25. Если вы хотите подбросить шляпу так, чтобы удобно было ее поймать — сообщите ей вращение (вокруг вертикальной оси).

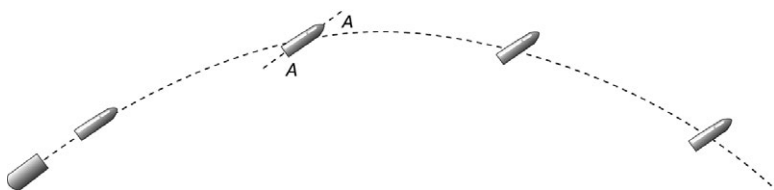


Рис. 26. Ядро, вылетевшее из нарезного канала пушки, вращается вокруг своей продольной оси (AA) и поэтому во все время полета остается параллельным самому себе.

и обнаруживала самым явным образом, что она замечала вращение, которое жонглер сообщал каждому ножу, выпускаемая его из руки, так что он 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

Колумб решил свою задачу о том, чтобы поставить яйцо, чересчур уж просто: надломил скорлупу.

Такое решение, в сущности, неверно: надломив скорлупу яйца, Колумб изменил его форму и, следовательно, поставил не яйцо, а другое тело; ведь вся суть здесь в *форме* яйца — изменяя форму, мы тем самым как бы заменяем его другим телом. Колумб дал решение задачи *не для того тела, для которого оно искалось*.

А вы можете решить задачу великого мореплавателя, насколько не изменяя формы яйца, если воспользуетесь свой-



Рис. 27. Как поставить яйцо, не надламывая его.

ством 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 — показывают рисунки 27 и 28: яйцу придают вращательное движение, быстро перекачивая его между пальцами. Отняв руки, вы увидите, что яйцо продолжает еще некоторое время вращаться стоймя: задача Колумба решена!



Рис. 28. Решение задачи Колумба: яйцо вращается стоймя.

Для опыта необходимо брать непременно вареные яйца*. Сколько бы вы ни старались, вам едва ли удастся заставить вращаться сырое яйцо, 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, не известный многим хозяйкам.

Уничтоженная тяжесть

На рис. 29 изображен опыт, который, наверное, знаком вам: вращая достаточно быстро стакан с водой, как показано на рисунке, вы достигаете того, что вода не выливается из стакана даже в той части пути, где стакан опрокинут вверх дном.

Вероятно, для вас не составит затруднения объяснить причину столь странного на первый взгляд явления: цен-

* Это ограничение не противоречит условию Колумбовой задачи: предложив свою задачу, Колумб взял яйцо тут же со стола, — а к столу, надо полагать, поданы были не сырые яйца.



Рис. 29. Вода не выливается из стакана, если заставить его достаточно быстро кружиться.

тробежная сила, стремящаяся удалить вращающееся тело от центра, настолько велика в данном случае, что превышает силу тяжести — естественно, что вода не выливается.

Напоминаю об этом общеизвестном опыте потому, что хочу предложить читателю задачу: с какою скоростью достаточно вращать стакан, чтобы развить центробежную силу, необходимую для успешности опыта?

Вычисление произвести совсем нетрудно, зная, что ускорение центробежной силы $= \frac{v^2}{R}$, где v — скорость, а R — радиус круга.

Мы хотим, чтобы это ускорение было не меньше ускорения, сообщаемого телу силою тяжести, т. е. не меньше 9,8 метра. Допустим для простоты, что длина веревки, на которой вращается наш стакан, равна 1-му метру. Тогда имеем равенство

$$\frac{v^2}{1 \text{ метр}} = 9,8 \text{ метра,}$$

из которого ясно, что искомая скорость вращения $v = \sqrt{9,8} = 3,14$ метра в секунду. Так как длина окружности, описанной радиусом в 1 метр, равна 6,28 метра, то чтобы вода не вылилась, наш стакан должен делать полный оборот в 2 секунды. Подобная быстрота вращения вполне достижима, и опыт обыкновенно удается без труда.

Заметьте, что при таком вращении вес стакана все время меняется: в верхней части пути вес его совершенно уничтожается центробежной силой; зато внизу он удваивается, так как здесь центробежная сила прибавляется к нормальному весу тела.

Вы выступаете в роли Галилея

Одно время для любителей сильных ощущений устраивалось весьма своеобразное развлечение — так называемая «чертова качель». В сборнике научных забав Федо оно описано так:

«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

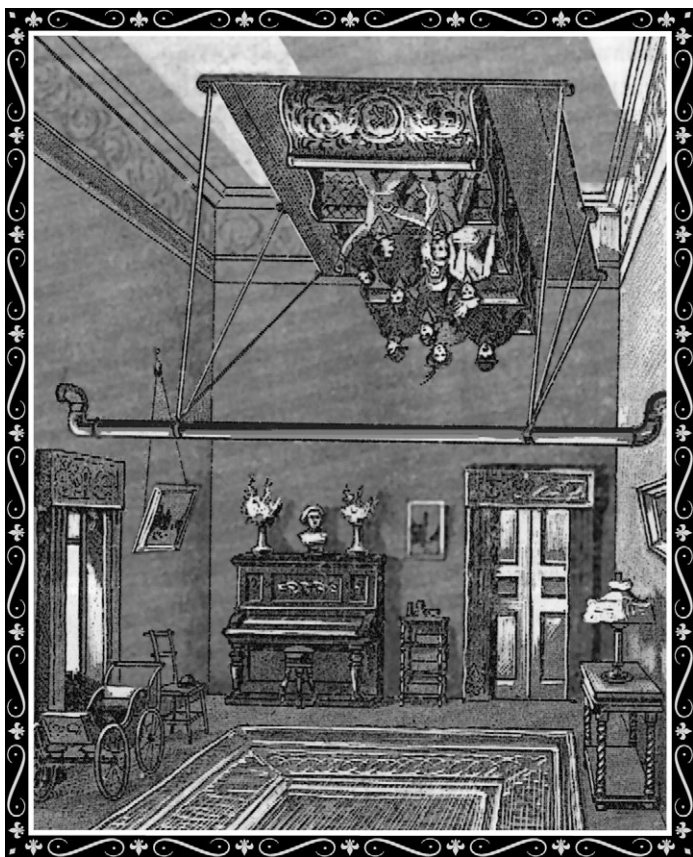


Рис. 30. Что кажется пассажирам «чертовой качели».

сделать небольшое воздушное путешествие — по-видимому, начинает легонько раскачивать качель. Вслед за тем он садится сзади качели, подобно кучеру в кэбах, или даже совсем выходит из залы.

Между тем размахи качели становятся все больше и больше; она, по-видимому, поднимается до высоты перекладкины, потом переходит за нее все выше и выше — и, наконец, описывает полный круг. Движение ускоряется все больше и больше, 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 не поднимается уже более на высоту перекладкины, и еще через несколько секунд останавливается совершенно.

На самом же деле качель *все время висела неподвижно*, пока продолжался опыт, и, напротив, сама комната, с помощью очень несложного механизма вращалась вокруг зрителей или, лучше сказать, вокруг горизонтальной оси. Всякого рода мебель прочно прикреплена к полу или к стенам залы; лампа, припаянная к столу так, что она, по-видимому, легко может перевернуться, состоит из электрической лампочки накаливания, скрытой под большим колпаком. Служитель, который, по-видимому, раскачивал качель, давая ей легкие толчки, в сущности, сообразовал их с легкими колебаниями залы и делал только вид, что раскачивает. Вся обстановка способствует полному успеху обмана».

Секрет иллюзии, как видите, прост до смешного. И все-таки я убежден, что если бы теперь, уже зная, в чем обман, вы очутились на «чертовой качели» — вы неизбежно поддались бы той же иллюзии. Вы знали бы, что висите неподвижно, и, несмотря на это, все-таки чувствовали бы, что вас кружит вниз головой. 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 ваших соседей по «качели», не посвященных в ее секрет, вы были бы своего рода Галилеем — только навыворот: Галилей доказывал, что небо неподвижно, а кружимся, вопреки очевидности, мы сами; вы же будете доказывать, что мы неподвижны, а вся комната вертится вокруг нас. Возможно, что вам пришлось бы при этом испытать и печальную участь Галилея: вам не поверили бы, вас осыпали бы насмешками, как человека, спорящего против самых очевидных вещей...

Мой спор с вами

Вот вам задача: вообразите, что вы в самом деле очутились в «чертовой качели» и хотите доказать своим соседям, что они заблуждаются. Не думайте, что это будет очень просто. Я предлагаю вам вступить со мной в этот спор. Сядем вместе с вами в «чертову качель», дождемся момента, когда, раскачавшись, она начнет, по-видимому, описывать полные круги, и заведем ученый диспут о том, что кружится: качель или вся комната? Прошу только помнить, что во время спора мы не должны покидать качели; все необходимое захватите с собой, пожалуйста, заблаговременно.

Вы. Как можно сомневаться в том, что мы неподвижны, а вертится комната! Ведь если бы нашу качель опрокинуть вверх дном, то мы с вами не повисли бы вниз головой, а вы-

* Греческий философ Зенон Элейский (VI в. до Р. Х.), учивший, что все в мире неподвижно и что только вследствие обмана чувств нам кажется, что какое-либо тело движется.

** Диоген.

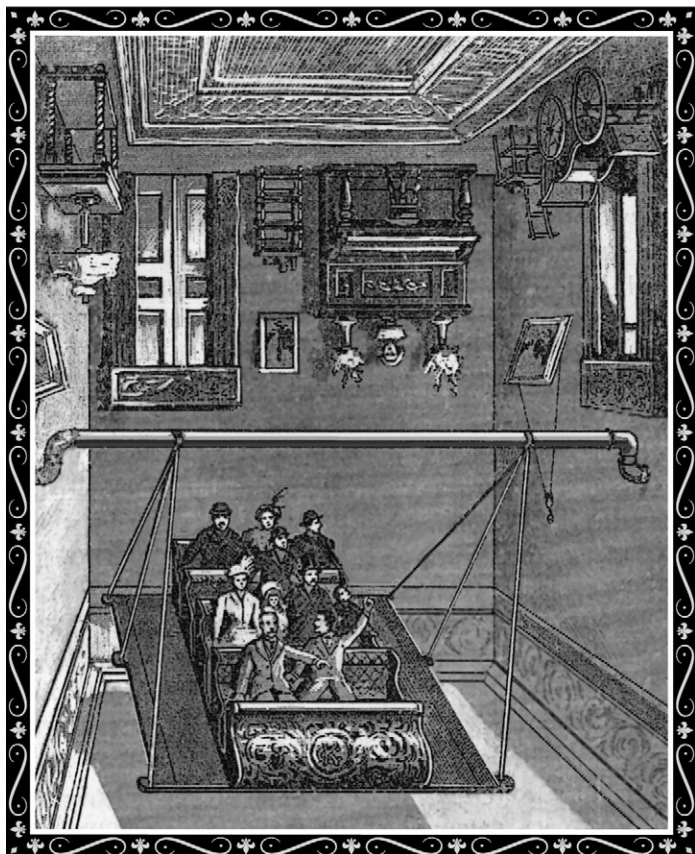


Рис. 31. Что происходит на самом деле.

пали бы из нее. Но мы, слава Богу, не падаем. Значит, вертится комната, а не качель.

Я. Однако, вспомните, что вода из быстро кружащегося стакана не выливается, хотя при вращении он и опрокидывается вверх дном (см. стр. 58). Велосипедист в «чертовой петле» (см. далее, стр. 71) также не падает, хотя и едет вниз головой. И воду, и велосипедиста удерживает центробежная сила. Быть может, и мы вращаемся с такой скоростью, что центробежная сила уничтожает нашу тяжесть.

Вы. Но мы легко можем вычислить центробежную силу и убедиться, достаточно ли она, чтобы уничтожить силу тяжести. Зная наше расстояние от оси вращения и число оборотов в секунду, мы легко определим по формуле...

Я. Не трудитесь вычислять. Владелец «чертовой качели», зная о нашем споре, предупредил меня, что число оборотов будет вполне достаточно, чтобы явление объяснялось по-моему. Следовательно, вычисление на этот раз ничего не докажет: каждый из нас в праве будет оставаться при своем мнении.

Вы. Но я еще не потерял надежду вас переубедить. Видите, вода из этого стакана не выливается на пол... Впрочем, вы и тут сошлетесь на центробежную силу. Хорошо же: вот 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 в стороны.

Я. Ошибаетесь: если бы мы вертелись с достаточной скоростью, — именно так, чтобы центробежное ускорение превышало ускорение тяжести, — отвес все время был бы натянут вдоль радиуса вращения, т. е. к нашим ногам. Это мы и наблюдаем.

Вы. Ну, вот вам, наконец, решающий опыт: я роняю свой портсигар за борт нашей качели, и он падает — прямо в потолок! Ясно, что потолок очутился на месте пола, потому что предметы, сколько известно, вверх не падают.

Я. Опять вы забыли о центробежной силе! Ведь она может преодолеть силу тяжести. Следовательно, ваш портсигар вовсе не должен был упасть непременно на пол: центробежная сила может отбросить его, вопреки силе тяжести, и на потолок и на стены.

Вы. Если так, то я вас поймал вашей центробежной силой. Вы говорите, что комната не вертится, да? Почему же, в таком случае, мой портсигар продолжает спокойно лежать на потолке, а не падает с него на пол?

Я. Меня тоже удивляет, что портсигар, уроненный вами на потолок, так и остался лежать на нем. Но если бы вы были

правы, т. е. если бы комната вертелась вокруг нас, — портсигар должен был перекидываться с потолка на пол и на стены.

Вы. Но позвольте: ведь это и доказывает, что комната вертится: портсигар удерживается на потолке тою же центробежною силою, которая так долго помогала вам оспаривать меня. Теперь она заговорила в мою пользу!

Я. Да, но уверены ли вы, что и пол и, потолок, и все стены не покрыты слоем липкого клея, удерживающим упавшие на него вещи? Любезный владелец «чертовой качели», зная о нашем споре, конечно, предусмотрел это и позаботился о том, чтобы спор затянулся подольше. Как видите, и этот довод пока ничего еще не доказывает.

Финал нашего спора

Теперь позвольте посоветовать вам, как одержать победу в этом споре. Надо взять с собой на «качель» пружинные весы, положить на их чашку гирию, например в 1 фунт, и следить за положением указателя: он все время будет показывать один и тот же вес, именно — один фунт. Это и есть бесспорное доказательство неподвижности качели.

В самом деле: если бы мы вместе с пружинными весами описывали круги около оси, то на гирию, кроме силы тяжести, действовала бы также центробежная сила, которая в нижних точках нашего пути *прибавлялась* бы к весу гири, а в верхних — *отнималась* бы от него; мы должны были бы замечать, что гирия то становится тяжелее (вдвое с лишним), то почти ничего не весит. А раз этого не заметно, значит — вращается комната, а не мы.

В заколдованном шаре

Один предприниматель (конечно, американец) устроил для развлечения публики очень забавную и даже поучительную карусель в форме шарообразной вращающейся комнаты. Люди внутри ее испытывают такие необыкновенные ощущения, какие мы считаем возможными разве только во сне или в волшебной сказке.

Чтобы понять устройство этого заколдованного шара, вспомним сначала, что испытывает человек, стоящий на быстро вращающейся круглой платформе. Центробежная сила, развиваемая при ее вращении, стремится отбросить человека наружу; чем дальше вы стоите от центра, тем сильнее будет клонить и тянуть вас наружу. Если вы закроете глаза, вам будет казаться, что вы стоите не на ровном полу, а на наклонной плоскости, на которой с трудом сохраняете равновесие. Это станет понятно, когда рассмотрим, какие силы действуют здесь на ваше тело (рис. 32). Центробежная сила тянет вас горизонтально; тяжесть — тянет вниз; обе силы, складываясь по правилу параллелограмма, дают равнодействующую силу, которая тянет тело наклонно вниз. Чем быстрее вращается платформа, тем больше становится эта равнодействующая и направляется более отлого.

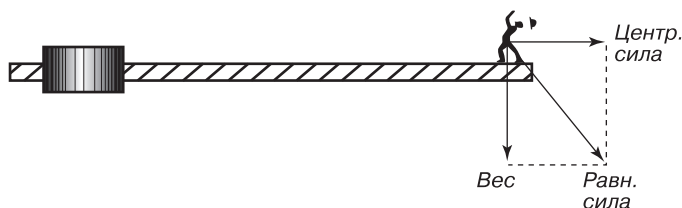


Рис. 32. Что испытывает человек на краю вращающейся платформы.
(Платформа изображена в разрезе.)

Представьте же себе теперь, что край платформы загнут вверх, и вы стоите на этой наклонной, отогнутой части. 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 равнодействующая веса и центробежной силы направится тоже наклонно, под прямым углом к отогнутой части платформы*.

* Это, кстати, объясняет, почему на закруглениях железнодорожного пути наружный рельс устраивают выше внутреннего, а также — почему наклоняют внутрь круговую дорожку для велосипедов и почему некоторые велосипедисты-виртуозы могут кататься по круто наклоненному круговому настилу (рис. 34).

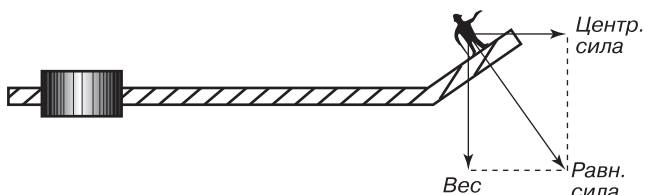


Рис. 33. Человек спокойно стоит на наклонной части вращающейся платформы.

Легко понять, что чем центробежная сила больше, тем под бóльшим углом должна быть наклонена платформа, чтобы находящийся на ней человек не упал, — и наоборот. Центробежная же сила, как известно, возрастает с удалением от оси. Если вращающейся платформе придать такую кривизну, чтобы при определенной скорости угол наклона ее поверхности в каждой точке соответствовал направлению равнодействующей



Рис. 34. Велосипедист, едущий по наклонной круговой дорожке, удерживается в равновесии центробежной силой.

щей, то помещенный на ней человек будет чувствовать себя во всех ее точках, как на горизонтальной плоскости. Математическим вычислением найдено, что такая кривая поверхность есть внутренняя поверхность особого геометрического тела — параболоида. Эту поверхность можно получить, если быстро вращать вокруг своей оси стакан, до половины налитый водою: тогда вода у краев поднимется, а в центре опустится, и поверхность ее примет форму параболоида.

Если вместо воды в стакан налить растопленный воск и продолжать вращение до тех пор, пока воск не остынет, то затвердевшая поверхность его даст нам точную форму параболоида. При известной скорости вращения такая поверхность является для тяжелых тел как бы горизонтальной: шарик, положенный в любую ее точку, не скатывается вниз, а остается в равновесии (рис. 35).

Теперь легко будет понять устройство заколдованной сферы. Дно ее (см. рис. 36) составляет большая вращающаяся платформа, которой придана кривизна параболоида. Хотя вращение, благодаря скрытому под платформой механизму, совершается чрезвычайно плавно, но все же люди на платформе испытывали бы головокружение, если бы все окружающие предметы не перемещались вместе с ними. Чтобы избежать этого и не дать возможности наблюдателю догадаться, что он движется, вращающуюся платформу помещают внутри большого шара, непрозрачные стенки которого движутся с такою же скоростью, как и сама платформа.

Таково устройство «волшебной сферы». Что же испытываете вы, находясь на платформе, внутри сферы? Когда сфера вращается, пол под ногами кажется вам горизонтальным,

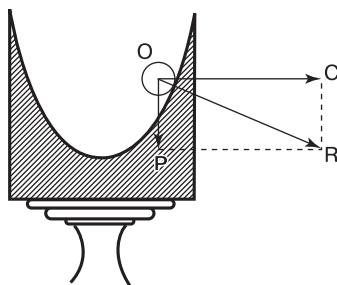


Рис. 35. Если этот бокал вращать с надлежащей скоростью, то шарик не скатится на его дно: равнодействующая (R) силы тяжести (P) и центробежной силы (C) будет прижимать шарик к стенке.

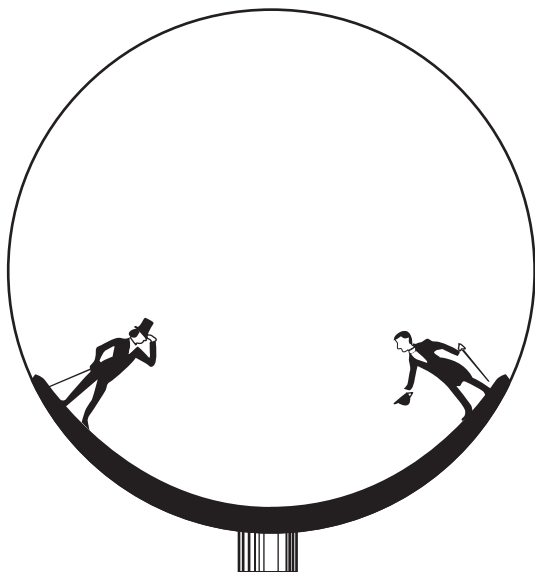


Рис. 36. Истинное положение людей внутри «заколдованного шара».

в какой бы точке кривой платформы вы ни находились — у оси, где пол действительно горизонтален, или у края, где он наклонен на 45 градусов. 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 вы во всякой точке почувствуете себя, как на горизонтальной плоскости! Положение же других людей, стоящих в наклонном положении, должно представляться вам до крайности необычайным: вам буквально будет казаться, что люди, как мухи, ходят по стенам.

Вода, вылитая на пол заколдованного шара, растеклась бы ровным слоем по его кривой поверхности. Людям казалось бы, что вода стоит перед ними наклонной стеной...

Еще более удивительные эффекты может создать велосипедист, катающийся внутри этой сферы. Если он станет быстро кружиться на платформе в направлении ее вращения, то развиваемая им центробежная сила присоединится к центробежной силе сферы; вследствие этого, велосипед при-

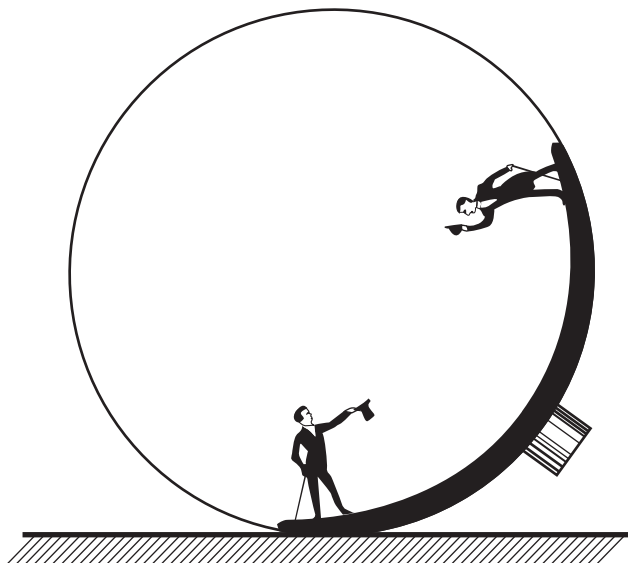


Рис. 37. Что представляется человеку, находящемуся внутри «заколдованного шара».

обретает такую устойчивость, что может, не опрокидываясь, въезжать на внутренние стенки сферы и кружиться по ним параллельно краям пола. Наблюдателям же на краю платформы будет казаться, что он *катится по потолку!* Привычные представления о законах тяжести словно отменяются в этом поистине заколдованном шаре, и мы переносимся в сказочный мир чудес...

«Чертова петля»

Так называется головокружительный велосипедный трюк, нередко исполняемый в цирках: велосипед едет по спирали снизу вверх и описывает полный круг, несмотря на то, что по верхней части круга ему приходится катиться *вниз головой*. На арене устраивают деревянную дорожку в виде петли с одним или несколькими завитками, как изображено на наших рисунках. Артист съезжает 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. Теперь этот цирковой трюк довольно обычен, но лет 60—70 тому назад он был еще новинкой. Мы приводим здесь старинную афишу одного лондонского цирка, относящуюся к 40-м годам прошлого века — едва ли не первое объявление о «чертовой петле» (рис. 38).

Этот головоломный велосипедный фокус кажется зрителям верхом акробатического искусства. Озадаченная публика в недоумении спрашивает себя: какая таинственная сила удерживает смельчака вниз головой? Недоверчиво настроен-



Рис. 38. Самое старое объявление о «чертовой петле». Английская афиша 40-х годов прошлого века.

«Чертова петля» изображена на рисунке неправильно — с такой петли тележка неминуемо должна сорваться. Почему?

* Фут (англ. *foot* — ступня) — британская, американская и старорусская единица измерения расстояния, равная 30,48 сантиметрам. Не входит в систему СИ. — Прим. изд.

ные готовы подозревать здесь ловкий обман — какие-нибудь искусно скрытые веревки, поддерживающие велосипедиста, или что-нибудь в этом роде.

Между тем, в этом фокусе нет ничего сверхъестественного. Все объясняется законами механики.

Никакого особенного умения или знания какого-либо секрета от артиста не требуется: бильярдный шар, пущенный по этой дорожке, с не меньшим успехом выполнил бы тот же фокус. На старинном рисунке английской афиши вы видите не велосипед, а простую тележку, скользящую по рельсам.

Наш читатель, конечно, догадывается, какая сила уничтожает здесь вес велосипедиста и его стального коня и прижи-

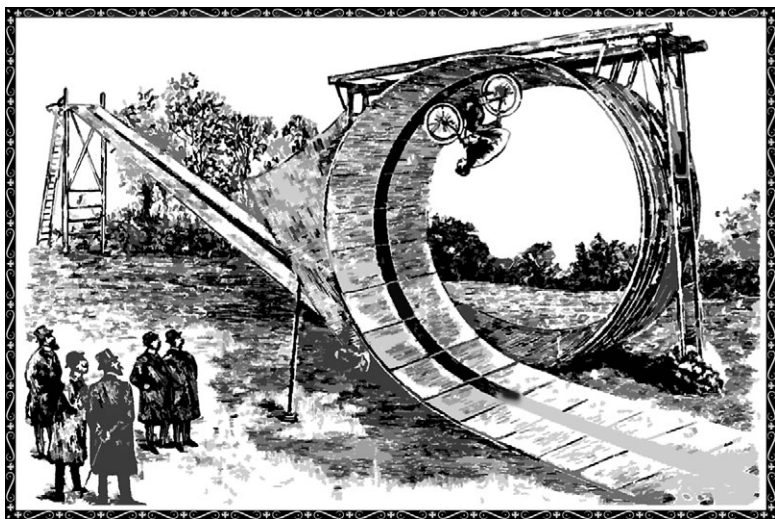


Рис. 39. Простая «чертова петля».

мает его вниз головой к дорожке «чертовой петли». Это все та же центробежная сила, которая уже объяснила нам несколько загадочных явлений. Однако фокус удастся не всегда: необходимо в точности рассчитать высоту, с которой велосипедист должен начать свое движение — иначе центробежная сила может оказаться не достаточной для уничтожения его веса, и тогда фокус может кончиться очень печально.

Математика в цирке

Я знаю, что длинные ряды «бездушных» формул отпугивают весьма многих любителей физики. Но, право же, отказываясь от знакомства с математической стороной явлений, такие недруги математики лишают себя огромного удовольствия заранее предвидеть ход явления и определять все его условия. В данном, например, случае две-три «бездушные» формулы помогут нам в точности определить, при каких условиях возможно успешное выполнение столь удивительного фокуса, как «чертова петля».

Приступим же к расчетам.

Обозначим буквами разные величины, с которыми нам придется вести расчеты:

Буквой h обозначим высоту, с которой скатывается велосипедист.

Буквой r обозначим радиус «петли».

Буквой m — общую массу артиста вместе с велосипедом; вес их выразится тогда через mg .

Буквой g — ускорение силы тяжести на земной поверхности; оно равно 9,8 метра.

Буквой v_1 обозначим скорость велосипеда в тот момент, когда он достигает конца наклонной дорожки и начинает описывать круг.

Буквой v_2 — скорость велосипеда в самой верхней точке круга.

Все эти величины мы можем связать двумя равенствами. Во-первых, мы знаем, что скорость v_1 тела в нижней точки наклонного пути равна

$$v_1 = \sqrt{2gh}, \text{ откуда: } v_1^2 = 2gh. \quad (1)$$

Во-вторых, воспользуемся так называемым «уравнением живых сил»: работа силы, действующей на тело на некотором пути, равна изменению живой силы тела во время прохождения этого пути. Изменение живой силы на пути от точки A до точки B «чертовой петли» (рис. 40) равна разности

$$\frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2}.$$

Работа же, произведенная на этом пути, равна работе силы тяжести при поднятии груза mg (вес артиста вместе с велосипедом) на высоту $2r$ (поперечник петли); эта работа выражается произведением $mg \times 2r = 2mgr$. Итак, мы можем написать равенство

$$\frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2} = 2mgr. \quad (2)$$

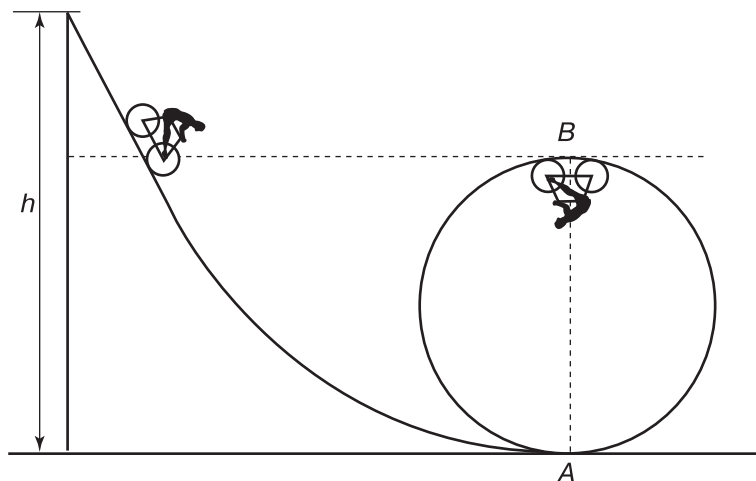


Рис. 40. Расчет «чертовой петли».

Для того, чтобы велосипедист, достигнув высшей точки кругового пути, не упал вниз, нужно, чтобы развивающаяся при этом центробежная сила была больше, нежели вес артиста вместе с велосипедом, т. е. надо, чтобы

$$\frac{mv_2^2}{r} > mg, \text{ или } \frac{v_2^2}{r} > g. \quad (3)$$

Подставив в уравнение (2) вместо v_1^2 равную величину $2gh$ (см. уравнение 1-е), имеем

$$mgh - \frac{mv_2^2}{2} = 2mgr,$$

$$\text{откуда: } v_2^2 = 2gh - 4gr.$$

Подставив это значение v_2^2 в неравенство (3), имеем:

$$\frac{2gh - 4gr}{r} > g,$$

откуда: $r < \frac{2}{5}h$. Следовательно: $2r < \frac{4}{5}h$.

В результате вычислений мы узнали, что для успешного выполнения этого головоломного фокуса необходимо устроить «чертову петлю» так, чтобы поперечник круговой части (т. е. петли) был не больше $\frac{4}{5}$ высоты наклонной части пути. Крутизна наклона, как видите, роли не играет, — нужно только, чтобы пункт, с которого велосипедист начинает спускаться, возвышался над вершиной петли более чем на $\frac{1}{4}$ ее поперечника. (При двойной «чертовой петле», изображенной на рис. 41, вершина второй петли должна быть ниже первой.) Если, например, петля имеет в поперечнике 8 саженей, то артист должен начать спуск не менее чем с 10-саженной высоты. Не выполни он этого условия — и никакое искусство не поможет ему описать «чертову петлю»: достигнув ее верхней части, он неминуемо сорвется вниз, так как центробежная сила не будет достаточна, чтобы противодействовать силе тяжести.



Рис. 41. Двойная «чертова петля».

Поэтому, между прочим, ошибочно изображение «чертовой петли» на приведенной ранее старинной афише (рис. 38): вершина петли чересчур приподнята. На такой петле катастрофа неминуема.

Надо заметить, что при исполнении этого трюка велосипедист едет без цепи, предоставляя свою машину действию тяжести: ни ускорить, ни замедлить своего движения он не может. Все искусство артиста заключается в том, чтобы держаться середины деревянной дорожки; при малейшем уклонении он рискует съехать с дорожки и быть с силою отброшенным в сторону. Скорость движения велосипедиста по кругу весьма велика: при круге с поперечником в 8 саженей он совершает оборот в 3 секунды. Это соответствует скорости 120 верст в час! Управлять велосипедом при такой быстроте, конечно, немислимо; но этого и не надо: можно смело положиться на законы механики.

Куда девалось 5.000 пудов?

Какой-то затейник объявил однажды, что знает способ вполне законно и честно обвешивать покупателей. Секрет состоит в том, чтобы покупать товары в экваториальных странах, а продавать их поближе к полюсам. Давно известно, что, вследствие центробежной силы и сплюснутости земного шара, тела близ экватора притягиваются Землей слабее, нежели близ полюсов; один фунт, будучи перенесен с экватора на полюс, прибавится в весе почти на ползолотника*. При этом надо пользоваться, конечно, не обыкновенными весами, а пружинными — иначе никакой выгоды не получится: товар станет тяжелее, но настолько же тяжелее сделаются и гири. Если купить пуд золота где-нибудь в Перу, а сбыть его, скажем, в Исландии, то можно, пожалуй, на этой операции заработать несколько рублей, — при условии, конечно, что предприимчивый торговец будет пользоваться бесплатным провозом.

* Золотник — старая русская мера веса (массы), равная 4,266 г или $\frac{1}{96}$ фунта. Название «золотник» происходит от слова «золото», т. к. ещё в X в. в Киевской Руси золотник представлял собой золотую монету. — *Прим. изд.*

Не думаю, чтобы эта торговля была очень выгодна, но по существу шутник прав, так как тяжесть действительно уменьшается с удалением от экватора. Происходит это по двум причинам. Во-первых, оттого, что на экваторе тела описывают при вращении Земли самые большие круги, и, следовательно, центробежная сила (направленная обратно тяжести) здесь наибольшая. Во-вторых, земной шар как бы вздут у экватора, и тела здесь больше удалены от центра, нежели в других местах; а чем дальше тело от центра притяжения, тем слабее оно притягивается.

Разница в весе при переносе тела с одной широты на другую ничтожна для мелких тел. Но для грузных, массивных предметов она может достигнуть величины довольно солидной. Вы и не подозревали, например, что паровоз, весящий в Москве 10.000 пудов, становится по прибытии в Архангельск на 10 пудов тяжелее, а в Одессе — настолько же легче. Партия угля в 300.000 пудов, доставленная со Шпицбергена в какой-нибудь экваториальный порт, уменьшилась бы на 1.200 пудов, если бы приемщику пришла фантазия принять груз, пользуясь пружинными весами. Дредноут, весивший в Архангельске 20.000 тонн, по прибытии в экваториальные воды становится легче на 80 тонн, т. е. почти на 5.000 пудов — но это остается неощутительным, так как соответственно становятся легче и все другие тела, не исключая, конечно, и воды в океане.

Кто же похитил 1.200 пудов угольного транспорта и 5.000 пудов веса дредноута? Главным образом похитила их центробежная сила; она уменьшает вес всякого тела близ экватора на $\frac{1}{290}$ долю по сравнению с весом того же тела у полюсов.

Мир наизнанку

Если бы земной шар вращался вокруг своей оси быстрее, чем теперь, — например, если бы сутки равнялись не 24 часам, а, скажем, 4 часам, то разница в весе тел на экваторе и полюсах была бы резко заметна. При четырехчасовых сутках, например, пудовая гирия весила бы на полюсе всего 35 фунтов. Именно таковы, приблизительно, условия тяжести

на Сатурне: близ полюсов этой планеты все тела на $\frac{1}{6}$ тяжелее, чем на экваторе.

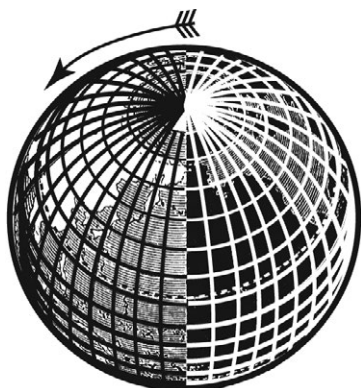
Самое любопытное у нас еще впереди. Мы знаем, что центробежная сила возрастает пропорционально квадрату скорости; поэтому не трудно вычислить, при какой быстроте вращения центробежная сила на земном экваторе должна стать в 290 раз более, т. е. сравняться с силой притяжения. Это наступит при скорости в 17 раз большей, нежели нынешняя (ибо 17×17 почти = 290). Другими словами, если бы Земля вращалась в 17 раз скорее, то предметы на экваторе *совсем не имели бы веса!* (Для Сатурна это наступило бы при скорости вращения всего в $2\frac{1}{2}$ раза большей, чем нынешняя).

А что же было бы, если бы Земля вращалась еще быстрее — например, в 20 раз скорее, нежели теперь? Вероятнее всего, что она под действием чудовищной центробежной силы разлетелась бы вдребезги, как слишком быстро заверченный жернов. Но допустим, что Земля достаточно тверда, — настолько, что даже не расплющится при этом в плоский диск, а сохранит свою нынешнюю форму. Тогда в экваториальном поясе телá падали бы, под действием громадной центробежной силы, не вниз, а вверх!

Надо иметь воображение Жюль Верна или Уэллса, чтобы ясно представить себе необычайные отношения, возникающие при подобных условиях. Мир словно вывернулся бы наизнанку. Люди должны были бы в полном смысле слова ходить на голове или, вернее, на руках, хватаясь за прикрепленные к почве предметы. Все вещи надо было бы привязывать к столбам или глубоко зарывать в землю, чтобы уберечь их от падения вверх, в мировое пространство. Здания надо было бы строить «вверх дном»: пол был бы на месте потолка, и наоборот; столы, стулья, кровати покоились бы ногами вверх, упираясь ими в потолок, который в этом мире играл бы роль пола... Жидкости приходилось бы держать в сосудах, перевернутых дном вверх. При малейшей неосторожности люди рисковали бы упасть в пустоту, в бездонное небо, откуда нет возврата... А в нескольких сотнях или тысячах верст к северу

или к югу все оставалось бы нормально: тяжесть — правда, значительно ослабленная, — заставляла бы тела падать к Земле, а не от Земли. Будь на Земле такая экваториальная полоса с «отрицательной тяжестью», ее несравненно труднее было бы исследовать, нежели наши полярные области. Люди не могли бы даже жить в такой стране потому, что там не было бы воздуха: не сдерживаемый притяжением, он улетучился бы в мировое пространство.

Весьма возможно, что среди нескольких сот так называемых «малых планет», или астероидов, обращающихся между Марсом и Юпитером, имеются миры именно с такой «отрицательной тяжестью» в экваториальной полосе или даже на всей планете.



ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

Всемирное тяготение. Вес и масса

Велика ли сила притяжения?

Никто не спорит против того, что все земные предметы притягиваются Землей. Но когда нам говорят, что эти предметы притягивают также и друг друга, мы не особенно склонны этому верить: в обыденной жизни ведь ничего подобного не замечается. Почему же, в самом деле, закон всемирного притяжения не проявляется постоянно вокруг нас в обычной обстановке? Потому что для небольших предметов сила притяжения чрезвычайно мала. Два человека, отстоящие на расстоянии одной сажени друг от друга, несомненно притягивают один другого, — но сила эта ничтожна: для людей среднего веса она равна $\frac{1}{100}$ миллиграмма. Это значит, что два человека притягивают друг друга с такою же силой, с какою гирька в $\frac{1}{100}$ миллиграмма давит на чашку весов; только в высшей степени чувствительные весы способны обнаружить столь ничтожную прибавку веса! Такая сила, понятно, не может сдвинуть нас с места — этому мешает трение наших подошв о пол. Чтобы сдвинуть нас, например, на деревянном полу (коэффициент трения подошв о пол = 3%), нужна сила не меньше чем $\frac{3}{100}$ веса нашего тела, т. е. около двух килограммов (5 фунтов). Теперь сравним эту силу с ничтожной силой притяжения $\frac{1}{100}$ миллиграмма. Миллиграмм — тысячная доля грамма; грамм — тысячная часть килограмма; значит, $\frac{1}{100}$ миллиграмма составляет одну двести тысячную долю той силы, которая нужна, чтобы сдвинуть нас с

места! Удивительно ли, что при обычных условиях мы не замечаем даже намека на взаимное притяжение земных тел?..

Другое дело, если бы не существовало трения: тогда ничто не мешало бы даже и весьма слабому притяжению вызвать взаимное сближение тел. Но, при силе в $\frac{1}{100}$ миллиграмма, скорость этого движения для грузных тел должна быть ничтожна. Вычислено, что, при отсутствии трения, два человека, отстоящие на расстоянии полусажени, в течение первого часа придвинулись бы друг к другу всего на $\frac{1}{3}$ вершка*; в следующий час каждый из них прошел бы по 1 вершку; в третий час — по 2 вершка; движение все ускорялось бы, но не ранее чем через пять часов оба человека сблизились бы вплотную.

Так ничтожна сила тяготения между небольшими массами. Для больших она возрастает пропорционально произведению масс. Но тут многие склонны преувеличивать эту силу. Один ученый — правда, не физик, а зоолог — уверял меня, что странное явление взаимного притяжения, наблюдаемое нередко между морскими судами, зависит от силы всемирного тяготения! Нетрудно простым вычислением показать, что тяготение здесь ни при чем и что два самых тяжелых корабля на расстоянии 50 саженей притягивают друг друга с силой всего в $\frac{3}{4}$ фунта; разумеется, такая сила недостаточна, чтобы сообщить кораблям хотя бы самое ничтожное перемещение.

Истинную причину притяжения кораблей мы объясним позже, в главе о свойствах жидкостей. А пока будем продолжать заниматься всемирным тяготением. Ничтожная для небольших масс, сила тяготения становится очень ощутительной, когда речь идет о колоссальных массах небесных тел. Несмотря на невообразимо огромное расстояние, отделяющее нас от Солнца, Земля удерживается на своей орбите единственно лишь силой тяготения, — иначе наша планета двигалась бы по прямой линии. Если бы сила притяжения

* Вершок — старорусская единица измерения. Первоначально равнялась длине основной фаланги указательного пальца. 1 вершок = $\frac{1}{48}$ сажени = $\frac{1}{16}$ аршина = $\frac{1}{4}$ пяди = 1,75 дюйма = 4,445 см. — *Прим. изд.*

вдруг почему-либо исчезла, Земля полетела бы по линии, касательной к своей орбите, и навеки умчалась бы в бездонную глубь мирового пространства.

Стальной канат от Земли до Солнца

Вообразите, что могущественное притяжение Солнца вдруг почему-либо исчезло, и Земле предстоит печальная участь навсегда удалиться в холодные и мрачные пустыни мироздания. Само собою разумеется, что человечество не пожелало бы примириться с мыслью о ледяной могиле, и инженеры стали

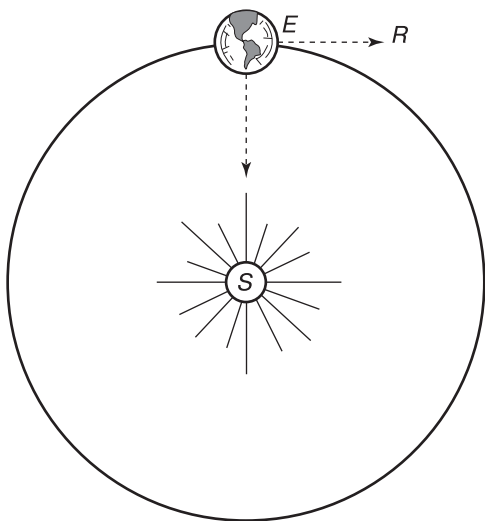


Рис. 43. Притяжение Солнца искривляет путь движения Земли: центробежная сила стремится умчаты Землю по направлению ER .

бы изыскивать способы предотвратить катастрофу. Вы можете представить себе — фантазировать ведь позволительно о чем угодно, — что инженеры решили заменить невидимые цепи притяжения материальными связями, т. е. попросту соединить Землю с Солнцем крепкими стальными канатами. Что может быть крепче стали, способной выдержать натяжение в 2000 пудов на каждый квадратный дюйм? Стальной брус с по-

перечником в 11 дюймов имеет в сечении 120 кв. дюймов; он, значит, может выдержать натяжение в 240.000 пудов. Как вы полагаете, сколько стальных балок такой толщины понадобилось бы протянуть между Землей и Солнцем, чтобы заменить взаимное притяжение этих светил?

Вы думаете, дело обошлось бы какой-нибудь тысячью или сотней тысяч стальных балок? Ошибаетесь: на нашей планете едва хватило бы места, чтобы поместить основания всех брусьев, потому что их потребовалось бы по одной на каждый квадратный фут обращенной к Солнцу земной поверхности! Все материки и океаны были бы покрыты лесом этих стальных столбов, и при том так густо, что нельзя было бы проходить между ними: один от другого отделялся бы всего двумя дюймами!

Вот как невообразимо могущественна та невидимая сила, которая притягивает нашу планету к Солнцу.

Вся эта колоссальная сила проявляется лишь в том, что искривляет путь движения Земли: каждую секунду Земля уклоняется от касательной к ее орбите на $\frac{1}{8}$ дюйма, благодаря чему путь нашей планеты превращается в круговой (вернее — эллиптический). Вы изумлены: чтобы придвинуть Землю в одну секунду на $\frac{1}{8}$ дюйма — толщину этой строки, — нужна такая исполинская сила?.. Это только показывает, как огромна масса земного шара, если даже такая чудовищная сила может сообщить ей лишь самое 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. А что стало бы со всеми земными предметами, если бы не было тяжести? Ничто уже не привязывало бы их к нашей планете, и при малейшем толчке они уносились бы прочь — в межпланетное пространство.

Английский писатель Уэллс воспользовался подобного рода идеей, чтобы описать в романе фантастическое путеше-

ствие 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 сплав, который обладает замечательным свойством — непроницаемостью для силы тяготения. Если слой такого сплава подвести под какое-нибудь тело, то оно освободится от притяжения Земли и станет невесомым. Это фантастическое вещество Уэллс назвал «кеворитом» — по имени своего героя, изобретателя Кевора.

«Целью своих исследований Кевор поставил изготовление особого вещества, которое было бы совершенно непроницаемо для всех видов излучаемой энергии. Человек может изготовить пластинки, через которые не проникает свет, тепло, электричество и т. п., — но он не в силах устранить от какого-либо тела влияние тяготения, т. е. тяжести. Однако нет никакого разумного повода утверждать, что это вообще невозможно. И всякий поймет, какой переворот должно произвести подобное чудодейственное вещество. Если, например, надо поднять какую-нибудь тяжесть, то, как бы чудовищна она ни была, достаточно поместить под ней пластинку этого вещества, — и ее свободно можно поднять соломинкой».

Теперь читатель без труда поймет, каким образом при помощи такого вещества романист отправляет своих героев в особом снаряде на Луну. Устройство снаряда описано в романе так:

«Представьте себе полый шар, достаточно большой для того, чтобы внутри его свободно могли поместиться два человека со своим багажом. Шар должен быть построен из толстого стекла, а снаружи покрыт стальной оболочкой. В особых приемниках должны находиться достаточные запасы сжатого воздуха, пищи, воды и т. д., — словом, всего необходимого.

Внутренний стеклянный шар может быть вылит из одного сплошного куска стекла, с одним только входным отверстием. Но зато наружная стальная оболочка должна состоять из ряда отдельных полос, из которых каждую можно было бы скатывать, как штору.

При такой системе наружная оболочка шара, покрытая слоем кеворита, будет состоять как бы из целого ряда окон, которые мы по своему усмотрению можем закрывать шторами. Если мы закроем все шторы, то в шар не будет проникать ни свет, ни тепло, вообще никакой вид излучаемой энергии — и шар полетит в пространство. Но представьте себе, что вы открыли хотя бы одно окно. Тогда всякое крупное тело, находящееся в направлении этого окна, непременно должно притянуть нас к себе.

Мы будем иметь полную возможность передвигаться по мировому пространству, куда нам будет угодно. Для этого нужно только подвергать себя влиянию силы тяготения того или иного мирового тела».

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 спокойно лежать на дне воздушного океана; с ним должно произойти то же, что происходит с пробкой, погруженной на дно озера: пробка быстро всплывает на поверхность воды. Точно так же невесомый снаряд — отбрасываемый к тому же и центробежной силой вращающегося земного шара, — должен стремительно подняться ввысь и, дойдя до крайних границ атмосферы, по инерции продолжать свой путь в мировом пространстве. Герои романа так и полетели. И, очутившись далеко за пределами атмосферы, они, открывая одни заслонки, закрывая другие, подвергая свой снаряд притяжению то Солнца, то Земли, то Луны, — добрались до поверхности нашего спутника. Впоследствии один из путешественников на том же снаряде благополучно возвратился на Землю.

На первый взгляд этот проект представляется весьма заманчивым и правдоподобным. Почему бы, в самом деле, нельзя было изобрести вещество, непроницаемое для тяготе-

ния? И почему не управлять снарядом так, как описал в своем романе Уэллс?

Рассмотрим же внимательно эту мысль; она кроет в себе много любопытных и поучительных неожиданностей.

Какая сила движет и управляет снарядом Уэльса? Сила притяжения небесных светил, — отвечает автор. Но сила эта на больших расстояниях в первые часы способна сообщить легкому телу лишь весьма умеренную скорость. Можно было бы доказать несложным вычислением, что под действием притяжения Луны предмет с расстояния земного шара будет падать на Луну в течение 43 дней! Если же примем во внимание, что шар Уэллса летел на Луну не прямо, а двигался зигзагами, подвергаясь притяжению то Солнца, то Земли и т. д., то ясно будет, что продолжительность полета должна еще более увеличиться. Луна своим притяжением может заставить предмет, находящийся от нее на расстоянии Земли, двигаться в первую секунду со скоростью всего в полтысячную долю дюйма. То же тело под действием Солнца переместилось бы в первую секунду на $\frac{1}{8}$ дюйма. Действие же притяжения далеких планет и звезд на наш фантастический снаряд — неизмеримо меньше. Правда, полученная снарядом скорость с каждой следующей секундой увеличивается, — но все же пришлось бы ждать целые часы и даже сутки, чтобы приобрести скорость, хоть сколько-нибудь сравнимую с теми гигантскими расстояниями, которые придется преодолевать небесному дирижаблю Уэллса.

Вы видите, что изобретение чудодейственного «кеворита» дало бы нам возможность путешествовать по мировому пространству чересчур медленно. Не менее двух месяцев понадобилось бы, например, для путешествия на Луну; а чтобы достичь Марса, пришлось бы странствовать чуть не год*.

Впрочем, это едва ли могло бы остановить смелых путешественников: великие мореплаватели предпринимали ведь

* Более обстоятельный научный разбор высказанной Уэллсом идеи обнаруживает заключающуюся в ней основную ошибку и выясняет ее теоретическую несостоятельность. Интересующихся позволяю себе отослать к моей книге «Межпланетные путешествия».

путешествия, которые длились целые годы. К тому же про-
вианта можно брать с собою сколько угодно, так как шар,
защищенный непроницаемой для тяготения оболочкой «ке-
ворита», нисколько не становился бы от этого тяжелее. На-
против, вы сейчас убедитесь, что шар становился бы при
этом даже *легче*!

Невесомый груз

Если подробнее рассмотрим действие фантастического
вещества, непроницаемого для тяготения, мы придем к уди-
вительному парадоксу, который в очень наглядной форме под-
черкивает глубокое различие между двумя понятиями: «мас-
са» и «вес».

Допустим, что действительно изобретено вещество, не-
проницаемое для силы притяжения. Вполне понятно, что все
тела, защищенные слоем этого вещества, должны быть не-
весомы, — но еще вопрос, будет ли невесомо само это
вещество. Разве материя, непрозрачная для тепловых лу-
чей, сама не нагревается? Ведь она оттого и не прозрачна
для лучей, что принимает на себя все их тепловое действие.
Возьмем другой пример. Мы знаем ширму, заслоняющую от
магнитных сил, — мягкое железо; компас, защищенный коль-
цом из мягкого железа, не испытывает притяжения со сторо-
ны окружающих железных предметов. Если сделать полый
шар из железа, то предметы внутри него будут недоступны
действию внешних магнитных сил; вы можете поднести этот
шар к сильнейшему магниту — и притяжение внутрь шара
не передастся. Но сам шар будет притягиваться магнитом и,
конечно, увлечет с собой все свое содержимое.

Надо думать поэтому, что и «кеворитная» оболочка шара
не будет невесома; невесомы будут лишь предметы, в ней на-
ходящиеся. И перед нами возникает любопытная физическая
задача: как должна действовать сила тяжести на тело, вну-
тренние части которого невесомы, а оболочка весома? Дать
ответ не трудно: скорость падения такого тела во столько же
раз менее обычной, во сколько раз масса всего тела больше

массы весомой его части. Ведь притягивается только весомая часть (оболочка шара), сила же притяжения должна увлекать *в е с ь* шар, с его невесомым содержимым; поэтому скорость падения должна соответственно уменьшиться*.

Но если шар будет падать медленнее обычного, то при взвешивании он покажет и меньший вес. И вот что поразительнее всего: чем больше груза и пассажиров будет в таком снаряде (т. е. чем больше в нем *невесомой* массы), тем *м е д л е н н е е* он будет падать и, следовательно, тем меньший вес покажет он на весах.

Значит, наш межпланетный *снаряд будет тем легче, чем в нем больше груза!*

Однако эта легкость — совсем особого рода, не похожая на ту, к которой мы привыкли. «Кеворитный» шар, в который положено 100 пудов груза, может показать на весах всего 1 фунт. Но не воображайте, что вы сможете кидать этот шар, словно большой футбольный мяч. Если попробуете его толкнуть во время его невообразимо медленного падения (в 4000 раз медленнее обычного), вы почувствуете, что перед вами все-таки стопудовая масса. Шар опускается с могучей медленностью массивного парового молота. Почему? Потому что «кеворит» может уменьшить только *в е с т е л а*, но не может уменьшить его *массы*. Действие же толчка и вообще силы на тело зависит не от его веса, а именно от массы.

С такого же рода парадоксом мы столкнулись бы и в том случае, если бы перенеслись на какую-нибудь планету, где напряжение тяжести меньше, чем на Земле.

Полчаса на Луне

Если хотите наглядно представить, как чувствовали бы вы себя, очутившись в мире, где тяжесть слабее, чем на Земле, — прочтите следующий отрывок из романа Уэллса «Первые люди на Луне». Рассказ ведется от лица одного из жителей Земли, прибывших на Луну.

* При этом предполагается, что фантастический «кеворит» притягивается, как и все весомые тела, пропорционально массе.

«Я принялся отвинчивать крышку снаряда. Через несколько мгновений круглое тяжелое стекло уже лежало внутри шара. Легкая пушинка снега, кружась, влетела в шар вместе со струей свежего воздуха. Я сел на край отверстия и жадно оглянулся кругом. Не дальше одного метра от моего лица белел девственный лунный снег, на который еще никогда не ступала нога человека.

Кевор достал одеяло, накинул его себе на плечи, высунулся из шара, перекинул через край отверстия ноги, которые оказались на расстоянии всего шести футов от почвы Луны. Краткое колебание, затем короткий прыжок — и он уже стоял снаружи, около шара.

Я видел, как он слегка присел и прыгнул. Меня чрезвычайно поразило его прыжок. Дело в том, что, на мой взгляд, он сразу отлетел от шара сажени на три или на четыре. Он стоял теперь на высокой скале и оживленно жестикулировал. Возможно, что он и кричал что-нибудь, но звук его голоса не долетал до меня.

Однако, черт возьми, как он сумел сделать такой прыжок?! До тех пор я не замечал за ним гимнастических талантов. Мне казалось, что предо мною только что проделали удивительный фокус, который я никак не могу себе объяснить.

Я был очень смущен, но все-таки поспешил тоже вылезти из шара. Когда я встал на ноги, то как раз возле меня оказалась небольшая канавка, наполненная водой от растаявшего снега. Я хотел через нее перепрыгнуть, сделал легкое усилие и... полетел по воздуху!

Я видел, что навстречу мне несется скала, на которой стоит Кевор, а через секунду я сжимал эту скалу в своих объятиях, чувствуя себя во власти невыразимого ужаса.

Я положительно не понимал, что все это значит. Кевор кричал мне каким-то пискливым голосом, что здесь надо быть осторожным.

Только теперь я вспомнил его предупреждения. Масса Луны в семьдесят раз меньше массы земного шара, а радиус Луны в четыре раза меньше радиуса Земли. Благодаря этому мое тело на Луне весило по крайней мере в шесть раз меньше, чем на Земле. Теперь приходилось твердо помнить это обстоятельство.

— Не забывайте, что мы не на Земле! - прокричал мне Кевор.

Я осторожно, как тяжело больной ревматик, выпрямился и стал рядом с Кевором.

Я обратил внимание на странный ярко-розовый свет, внезапно появившийся на одной из серых скал. Свет этот усиливался и постепенно заливал всю скалу.

— Взгляните туда! — воскликнул я.

Ответа не последовало. Я обернулся: Кевора около меня не было...

Одно мгновение я стоял неподвижно, совершенно ошеломленный этим непонятным исчезновением; затем я двинулся к краю площад-



Рис. 44. «Первые люди на Луне». — Прыжок в пять сажень.

ки, на которой мы стояли, чтобы заглянуть вниз. Но в порыве удивления я снова забыл, что нахожусь на Луне. Усилие, которое я сделал для первого шага, подвинуло бы меня на Земле вперед на аршин*, не больше; здесь же я сразу пролетел вперед аршин на шесть... Я почувствовал, что падаю. Но в то время как на Земле падающее тело в первую секунду пролетает около шестнадцати футов, оно на Луне пролетает не более двух-трех футов. Благодаря этому мое падение или, вернее, мой прыжок продолжался довольно долго, пока я, наконец, не очутился на 30 футов ниже площадки, с которой так неосторожно прыгнул. Я летел по воздуху не менее шести секунд** и оказался по колени в снегу, которым была наполнена расщелина.

Я огляделся и возможно громче крикнул:

— Кевор!.. Кевор!..

Но Кевора нигде не было видно.

Я бросился к скале и полез наверх, не переставая отчаянно звать Кевора. Мой голос, несмотря на все мои усилия, звучал слабо.

Наконец, я снова увидел Кевора. Он стоял на выступе скалы, на расстоянии 20—25 аршин от меня, смеялся и жестикулировал. Его голос не долетал до меня, но жестами он приглашал прыгнуть к нему. Я медлил: расстояние казалось мне слишком значительным. Но, с другой стороны, я сообразил, что если этот прыжок удался Кевору, то не может не удался и мне, более сильному, чем он.

Я сделал шаг назад, собрал все свои силы и прыгнул. Мне показалось, что меня подбросила какая-то могучая пружина. Я полетел по воздуху, как птица, и первой моей мыслью было, что я никогда не упаду на твердую почву.

Я сразу понял, что мой прыжок слишком силен, но уже было поздно. Я стрелой пронесся над головой Кевора и полетел прямо в какую-то расщелину, заросшую колючими кустарниками. Я дико вскрикнул, вытянул вперед обе руки и... упал.

Я попал в студенистую массу, которая брызгами разлеталась из-под моего тела. Я видел, как среди колючего кустарника появилось круглое лицо Кевора. Он что-то кричал мне. Я хотел подать ему голос, но не мог. Он кое-как пробрался ко мне сквозь колючки и помог подняться на ноги.

* Аршин — старая русская мера длины, употреблявшаяся до введения метрической системы мер. В России вошла в употребление с XVI века. Первоначально аршин равнялся 27 английским дюймам, при Петре I размер аршина был установлен в 28 дюймов и оставался неизменным. 1 аршин = 16 вершкам = 71,12 см. — *Прим. изд.*

** По-видимому, рассказчику изменяет память: с высоты 30 футов он падал на Луне не 6 секунд, а меньше. Читатели, хотя и не были еще на Луне, могли бы доказать ему, что он летел всего $2\frac{1}{2}$ секунды. — *Я. П.*

— Надо быть осторожнее! — заговорил он, счищая с меня оранжевую массу. — В конце концов мы на Луне сделаемся калеками. Вы слишком далеко прыгаете!

Я стоял молча, едва переводя дыхание. Кевор продолжал читать свои наставления:

— Мы с вами слишком легкомысленны, мы забываем об изменившихся условиях тяжести и слишком напрягаем наши мускулы. Когда вы немного отдохнете и успокоитесь, нам нужно будет поучиться прыгать.

Тщательный осмотр показал, что, кроме незначительных ссадин, мой невольный полет не имел неприятных последствий. По предложению Кевора мы стали искать удобной площадки для следующего прыжка.

Такая площадка нашлась на расстоянии около пяти саженей, при чем нам предстояло перепрыгнуть через небольшую грядку темного кустарника.

Кевор принял на себя роль руководителя и сказал мне:

— Представьте себе, что эта площадка находится вот здесь.

При этом он указал на камень, лежавший на расстоянии не больше четырех футов от моих ног. Этот прыжок мне удался отлично, и я должен сознаться, что почувствовал некоторое злорадство, когда Кевор плохо рассчитал свой прыжок и упал в колючий кустарник.

— Видите, что значит неосторожность! — сказал он, и с этого момента из учителя превратился в моего товарища по изучению искусства движения на Луне.

Мы выбрали еще одну площадку и прыгнули на нее без труда; потом прыгнули обратно, сделали еще несколько прыжков взад и вперед, пока наши мускулы не приспособились к новым условиям. Я не думал, что нам будет так легко приспособиться. Через какие-нибудь тридцать прыжков мы уже могли вполне точно, почти как на Земле, соразмерять свои прыжки с данным расстоянием».

Еще десять минут на Луне

Позволю себе сделать маленькое дополнение к этим сценам, чтобы разъяснить читателям одно любопытное обстоятельство. Вообразите, что, очутившись на Луне, оба героя заспорили о том, действительно ли они стали здесь вшестеро легче, как им не раз случалось читать в книгах. Показание пружинных весов не убедило одного из них: весы, правда, показывали 30 фунтов вместо 180-ти, — но кто же поручится, что они в полной исправности?

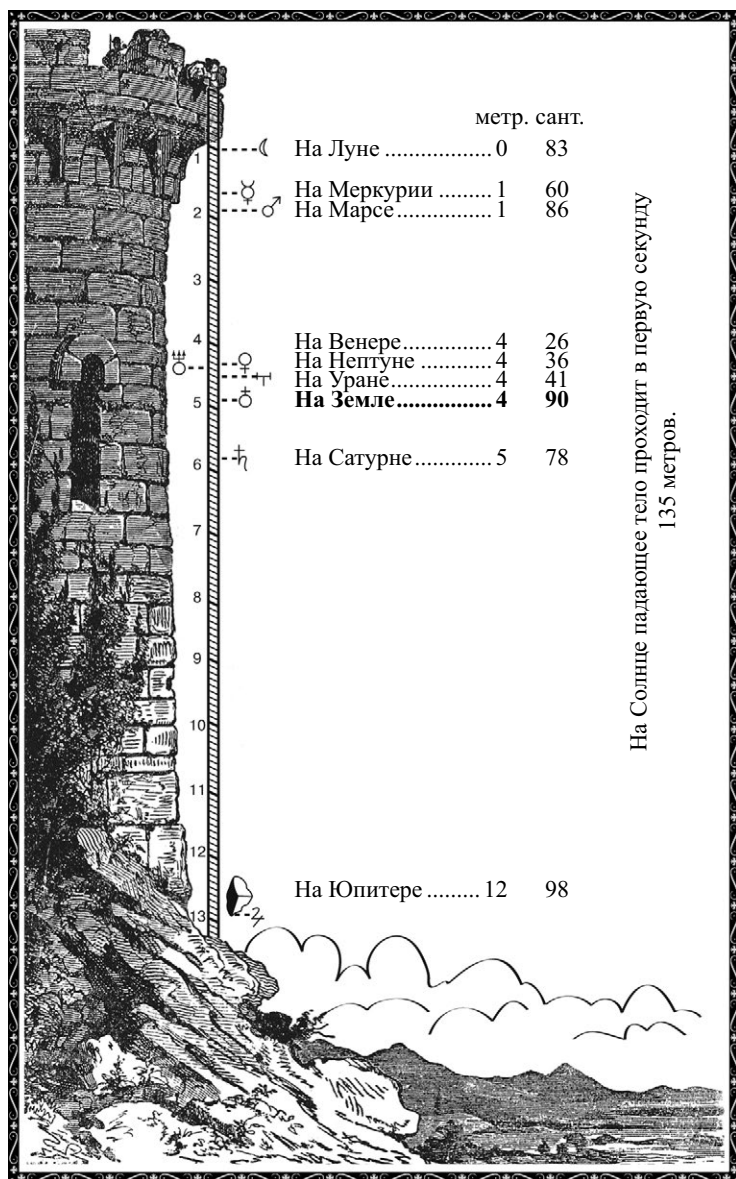


Рис. 45. Какой путь проходит падающее тело в первую секунду падения на разных планетах (в пустоте).

— Если вы сомневаетесь в этом, — говорил его собеседник, — то вот вам неоспоримое доказательство: вы видели — мы все время подпрыгивали на высоту, в 6 раз большую чем на Земле.

— Это-то и подозрительно! — отвечал спорщик. — Ведь если бы мы действительно стали здесь в 6 раз легче, то должны бы прыгать не в 6, а в 36 раз выше.

— Почему? Я не понимаю такого рассуждения.

— Когда на Земле вы бросаете вверх 1-фунтовую и 6-фунтовую гирию, то которой из них сообщаете большую скорость?

— Конечно, 1-фунтовой. В 6 раз бóльшую. Ведь ускорение обратно пропорционально массе.

— Прекрасно. А из формулы $h = v^2/2g$ мы знаем, что высота h поднятия тела, брошенного вверх, пропорциональна к в а д р а т у скорости v . Значит, если бы мы здесь стали в 6 раз легче, то при обычном усилии мускулов должны были бы подпрыгивать на высоту не в 6, а в 36 раз большую!

— Так во сколько же раз, по-вашему, стали мы тут легче?

— Не спешите с заключением. Позвольте мне предложить вам сделать такой опыт: вот 6-фунтовая земная гирия; по-вашему, она здесь превратилась в фунтовую?

— Да. И когда она из моих рук упала прямо мне на ногу, я, к сожалению, почувствовал совершенно такой же удар и такую же боль, как на Земле от 6-фунтовой гири.

— Но заметьте и разницу: на Земле, уронив гирию, вы едва ли успеете отдернуть ногу; здесь же, если бы вы не зевали, вы легко могли бы сделать это — гирия падает гораздо медленнее. А между тем, если бы гирия стала только л е г ч е, то скорость падения ее не должна была бы измениться. Еще Галилей доказал, что и тяжелые и легкие тела падают с одинаковой скоростью. Но возвратимся к опыту, который я хотел предложить вам проделать. Подбросьте эту 6-фунтовую гирию изо всей силы вверх: на какую высоту, по-вашему, она поднимется здесь, на Луне?

— Я думаю, на ту же высоту, на какую при том же усилии поднялась бы на Земле 1-фунтовая гирия.

— Испытайте же... Видите: гирия взлетает здесь очень низко — вшестеро ниже, чем на Земле 1-фунтовая. Если рассуждать по-вашему, то надо будет признать, что тела на Луне вовсе не становятся легче!

— Признаюсь, вы теперь меня совсем спутали. Что же делается с телами на Луне: становятся ли они в 6 раз легче, как показывают пружинные весы, или в 36 раз легче, как доказывают наши прыжки, или нисколько не легче, как следует из вашего опыта? Я в полном недоумении...

Легкость особого рода

Читатель, вероятно, также в недоумении. Поспешим же объяснить причину этих несообразностей.

Она кроется в том, что выражение «легче» для данного случая не применимо в его обычном значении: оно неточно выражает то, что происходит с весомыми телами при перенесении их на Луну или вообще на другую планету.

Рассмотрим вопрос поближе. Мы знаем, что вес (p) тела выражается произведением его массы (m) на ускорение (g) силы тяжести: $p = mg$.

Когда на Земле тело становится легче (т. е. слабее давит на чашку весов), то это происходит в большинстве случаев от уменьшения массы, т. е. множителя m . На Луне же, наоборот, уменьшение веса вызвано изменением другого множителя — g , так как ускорение силы тяжести на поверхности нашего спутника вшестеро меньше, чем на Земле. В результате произведение mg , а следовательно, и вес p уменьшаются в 6 раз. Но нельзя обозначать оба явления одним и тем же выражением «сделаться легче». Строго говоря, на Луне тела становятся не легче, а лишь менее стремительно падают; они «менее падучи», если можно так выразиться. Как бы то ни было, повторяю, нельзя в обоих случаях уменьшения веса, происходящего от столь различных причин, употреблять одно и то же слово «легче». И мы только что видели, к

каким недоразумениям может привести непродуманное употребление слова «легче» для обозначения уменьшения тяжести на Луне*.

Чтобы отчетливее представить себе, в чем тут различие, обратимся к услугам математических формул и вникнем в следующие два равенства:

$$\text{Вес 1-фунтовой гири на Земле} = mg = p.$$

$$\text{Вес 6-фунтовой гири на Луне} = 6m \times g/6 = p.$$

Ясно, что во всех случаях, когда явление зависит только от массы тела, или только от ускорения, или от обоих множителей, но не в одинаковых степенях, — должна сказаться разница между обеими гирями, хотя бы они и весили одинаково на пружинных весах Земли и Луны.

Так, продолжительность (t) падения гири на Луне с высоты h равна

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g/6}} = \sqrt{6} \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}} = \text{приблизительно } 2^{1/2} \times \sqrt{\frac{2h}{g}} \text{ секунд,}$$

т. е. в $2^{1/2}$ раза более, чем на Земле. На Земле гиря с высоты одного метра долетает до пола менее чем в 0,4 секунды, на Луне же падает в $2^{1/2}$ раза дольше, т. е. в целую секунду. В течение этого промежутка легко успеть отдернуть ногу, чтобы падающая гиря не отдала ее. Однако легко убедиться вычислением, что удар 6-фунтовой гири о пол или о ногу на Луне будет такой же, как на Земле от 1-фунтовой гири, ибо живая сила (произведение массы на квадрат скорости) в обоих случаях одинакова.

Сравнительную высоту поднятия на Луне 6-фунтовой гири, брошенной рукою, легко вычислить, зная, что начальная скорость ее в 6 раз меньше, чем для 1-фунтовой гири на Земле.

* Точное подобие того, что происходит с весомыми телами на Луне, нам дает падающая гиря Атвудовой машины: эта гиря делается не «легче» в обычном смысле слова, а лишь падает с меньшей стремительностью.

Высота эта (h) на Земле для 1-фунтовой гири $= \frac{v^2}{2g}$. А на Луне для 6-фунтовой гири $h = \left(\frac{v}{6}\right)^2 : \frac{2g}{6} = \frac{v^2}{2g} : 6$, т. е. в 6 раз меньше, чем на Земле.

В бездонном колодце

О том, что делается в глубоких недрах нашей планеты, ученым известно пока очень мало. Не известно даже, каков земной шар в глубине — твердый или расплавленно-жидкий. Одни полагают, что под твердой корой в сотню верст толщины начинается огненно-жидкая масса; другие считают весь земной шар отвердевшим до самого центра. Решить вопрос трудно: ведь самая глубокая шахта простирается не глубже двух верст, — а диаметр земного шара равен 12.000 верст. Если бы можно было просверлить через всю нашу планету сквозной колодец, прорезающий земной шар по диаметру — тогда все вопросы, конечно, были бы разрешены...

Пока ничего подобного не сделано, но воспользуемся этим 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, ибо дна не существует, — но где же вы остановитесь?

В центре Земли?

Нет. Когда вы долетите до центра, ваше тело будет иметь такую колоссальную скорость (около 8-ми верст), что об остановке в этой точке не может быть и речи. Вы промчитесь далее и, как показывает вычисление, будете нестись, постепенно замедляя движение, пока не поравняетесь с краями противоположного конца колодца. Здесь советую покрепче ухватиться за края — иначе вам предстоит вновь проделать ту же прогулку через весь колодец до другого конца. Если и здесь вам не помогут ухватиться за что-нибудь, вы опять полетите в колодец, и будете так качаться без конца... Механика учит, что при таких условиях (если только, повторяю, пре-

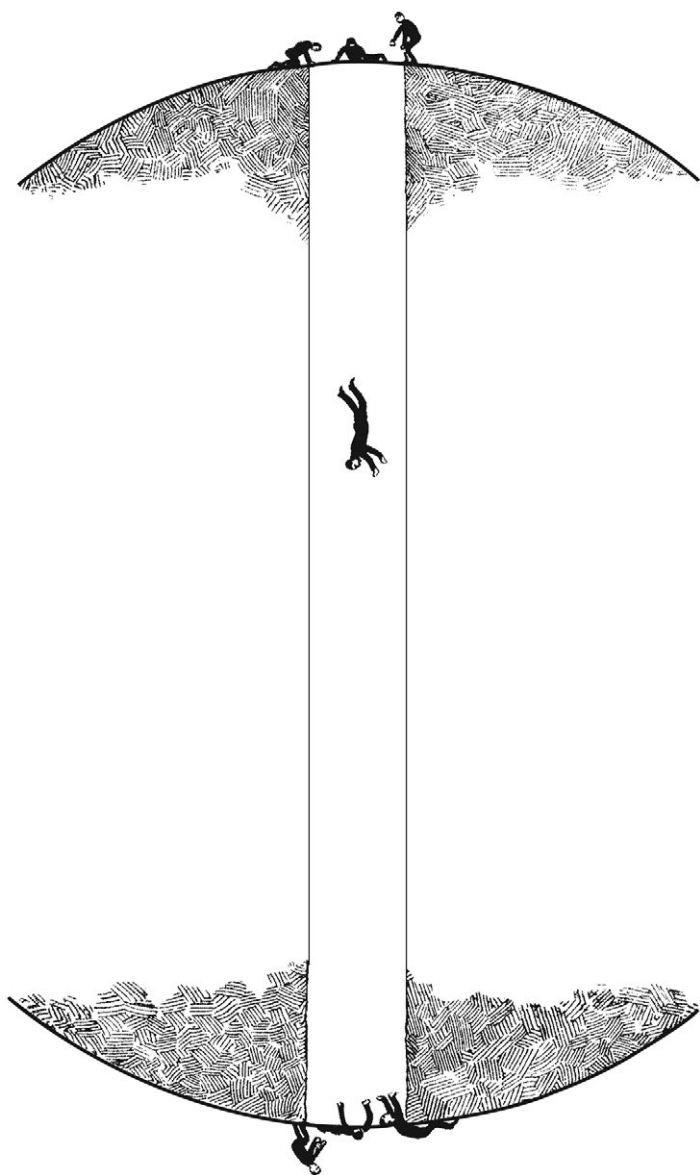


Рис. 46. Падение в бездонный колодец.

небредь трением о воздух в колодце, которое, кстати сказать, должно быть огромно) всякое весомое тело должно качаться туда и назад *вечно*. Полет в один конец должен равняться всего только сорока минутам. Кинувшись в такой бездонный колодец, вы через один час и двадцать минут прилетели бы уже обратно.

Так было бы, если бы бездонный колодец просверлить через полюсы. При ином направлении колодца сказалось бы вращение Земли, которое немного отклоняет падающие тела от вертикальной линии. Вы будете, следовательно, падать не по отвесной, а по наклонной линии, и вскоре ударитесь о боковую стенку колодца. Колодец должен быть шириной в несколько сот верст, если мы хотим, чтобы тела свободно качались в нем туда и обратно (тело, упавшее с поверхности Земли у экватора, пройдет в 215 верстах от центра).

Самокатная подземная дорога

Лет десять тому назад в Петрограде появилась брошюра со странным заглавием: «Самокатная подземная железная дорога между С.-Петербургом и Москвой. Фантастический роман пока в трех главах, да и то неоконченных». Талантливый автор этого неоконченного романа, А. А. Родных, предлагает остроумный проект, с которым интересно познакомиться всякому любителю физических парадоксов.

Проект состоит «ни более ни менее, как в проведении 600-верстного 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 намекает здесь на то, что все наши дороги следуют по дугам, между тем как проектируемый туннель пройдет по прямой линии, по хорде.

Такой туннель, если бы его можно было прорыть, имел бы одно удивительное, почти волшебное свойство, каким не обладает ни одна дорога в мире. Свойство это заключается в том, что любой экипаж в подобном туннеле **д о л ж е н д в и г а т ь**

ся сам собой, без всякой тяги! Вспомним наш бездонный колодец, пробуравливающий земной шар. Петроградско-Московский туннель — тот же колодец, только просверлен он не по диаметру, а по хорде. Правда, при взгляде на рис. 47 может показаться, что туннель прорыт горизонтально и что, следовательно, нет причины поезду катиться по нему в силу тяжести. Но это лишь обман зрения: проведите мысленно радиусы к концам туннеля (направление радиуса есть направление отвеса); вы поймете тогда, что туннель наш прорыт не перпендикулярно к отвесу, т. е. не горизонтально, а наклонно вниз. В таком косом колодце всякое тело должно само качаться под действием тяжести взад и вперед, но будет все время

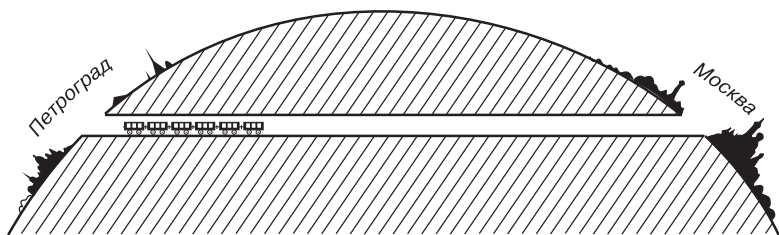


Рис. 47. Самокатная подземная дорога между Петроградом и Москвой. Поезда мчались бы по ней туда и назад собственным весом, без паровозов.

прижиматься ко дну. Если в туннеле устроить рельсы, то железнодорожный вагон будет сам катиться по ним: его 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 — быстрее пушечного ядра! — что с разбега докатится почти до противоположного конца туннеля. Если бы не трение, то не было бы и этого «почти»: поезд без паровоза сам доехал бы из Петрограда в Москву в 40 минут.

То же повторилось бы с любым другим экипажем: дрезиной, каретой, автомобилем и т. д. Это поистине сказочная дорога, которая, сама оставаясь неподвижной, мчит по себе все экипажи с одного конца до другого и при том с невообразимой быстротой!

Миллионы лет назад

Согласно теории известного геолога Зюсса, горы на земном шаре образовались вследствие того, что наша планета, охлаждаясь, уменьшалась в объеме; при этом земная кора сморщивалась, как сморщивается кожа иссохшего яблока. Морщины земной коры и есть горы. Отсюда следует, что некогда — миллионы лет назад — земной шар был больше, нежели теперь. Можно даже вычислить, насколько именно больше. Если мысленно расправить все складчатые горы земного шара, то определится, на сколько поверхность нашей планеты была некогда больше, нежели теперь; а зная разность поверхностей шаров, легко узнать разность радиусов.

Этим путем вычислено, что в древнейшую геологическую эпоху (альгонскую) радиус земного шара был на $\frac{1}{4}$ больше, нежели теперь. Отсюда вытекает неожиданное следствие, что некогда тяжесть на поверхности нашей планеты была гораздо слабее, нежели в настоящее время! Ведь напряжение тяжести быстро уменьшается по мере удаления от центра, — именно пропорционально к в а д р а т у расстояния. Поверхность Земли была тогда в $\frac{5}{4}$ дальше от центра, нежели теперь; следовательно, тяжесть должна была измениться в отношении

$\left(\frac{4}{5}\right)^2 = \frac{16}{25}$, т. е. составляла приблизительно $\frac{2}{3}$ нынешней силы тяжести!

Итак, тяжесть на Земле не всегда была такой, как теперь: миллионы лет тому назад нынешний пуд весил всего 26 фунтов! Тогда реки текли не так быстро, дождь падал медленнее, вулканическая пыль выбрасывалась на бóльшую высоту и

медленнее осаждалась; вода в тонких трубках и скважинах поднималась выше, и т. п.

Животный и растительный мир прежних геологических эпох развивался в условиях меньшей тяжести, нежели теперь; некоторые ученые думают даже, что отчасти вследствие постепенного усиления тяжести вымерли ископаемые исполины.



ГЛАВА ПЯТАЯ

Путешествие в пушечном ядре

В заключение наших бесед о законах движения и силе притяжения разберем всем нам хорошо знакомое фантастическое путешествие на Луну, так занимательно описанное Жюлем Верном в романе «Вокруг Луны». Вы, конечно, помните, что члены пушечного клуба Балтиморы, обреченные на бездельность с окончанием Северо-Американской войны, решили отлить исполинскую пушку, зарядить ее огромным полым ядром и, посадив в него пассажиров, выстрелом отправить это ядро-вагон на Луну.

Фантастична ли эта мысль сама по себе? 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:

«Брошенный камень под действием тяжести отклоняется от прямолинейного пути и падает на землю, описывая кривую линию. Если бросить камень с большей 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. 48) представляет поверхность Земли, C — ее центр, а VD , VE , VF — кривые линии, которые описывает тело, брошенное в горизонтальном

направлении с очень высокой горы со 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 VD , при большей скорости — кривую VE , при еще большей скорости — кривые VF , VG . При еще большей 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 Ньютона была пушка, то ядро, выброшенное пушкой, при известной скорости никогда не упадет на землю, а будет безостановочно кружиться вокруг земного шара. Путем довольно простого расчета не трудно определить, что это наступит при скорости, равной восьми верстам в секунду. Другими словами, ядро, извергаемое пушкой со скоростью восьми верст в секунду, навсегда покидает поверхность земного шара и становится как бы спутником нашей планеты. Центробежная сила, развивающаяся при этом, как раз равна силе земного притяжения. Ядро будет мчаться в 17 раз быстрее, чем какая-либо точка на экваторе, и опишет полный оборот вокруг нашей планеты в 1 час. 23 мин. Если же сообщить ядру большую скорость, то оно будет обращаться около Земли уже не по кругу, а по более или менее вытянутому эллипсу, удаляясь от Земли на огромное расстояние. Наконец, при еще большей начальной скорости ядро навсегда удалится в беспредельное мировое пространство. В механике доказывается, что это должно наступить при начальной скорости в 11 верст.

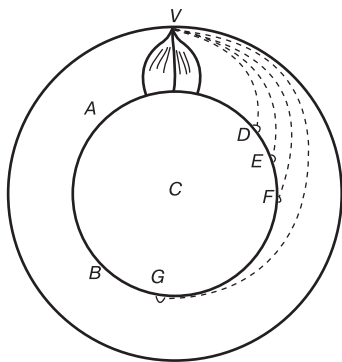


Рис. 48. Как должны падать камни, если бросать их с огромною скоростью в горизонтальном направлении.

Само собою разумеется, что во всех этих рассуждениях имеются в виду ядра, движущиеся в п у с т о м пространстве, а не в воздушной среде.

Итак, если бы не существовало атмосферы, то ничего невозможного не было бы в идее перебросить на Луну какое-либо земное тело. Теперь посмотрим, можно ли осуществить это теми средствами, которые предлагает нам Жюль Верн. Современные пушки сообщают ядрам скорость около версты в первую секунду. Это всего в десять раз меньше той скорости, с какой тело может полететь на Луну. Жюль Верн думал, что, соорудив исполинскую пушку и наполнив ее огромным количеством взрывчатых веществ, легко можно будет посылать ядра на Луну.

Фантастическая пушка

Герои Жюля Верна отливают гигантскую пушку длиною в $\frac{1}{4}$ версты, вертикально врытую в землю. Изготавливается соответственно огромное ядро, которое внутри представляет собою комнатку для пассажиров. Вес этого ядра — 500 пудов. Заряжают пушку обыкновенным хлопчатобумажным порохом — пироксилином, — в количестве 10.000 пудов. В результате взрыва ядро, если верить романисту, приобретает при вылете скорость в 16 верст в секунду, — но вследствие трения о воздух скорость эта уменьшается до 11 верст. Таким образом, очутившись за пределами атмосферы, жюльверново ядро обладает скоростью, вполне достаточною, чтобы полететь на Луну.

Так описывается в романе. Что же говорит об этом физика?

Проект Жюля Верна уязвим совсем не в том пункте, куда обычно направляется сомнение читателя. Правда, артиллеристы утверждают, что даже огромный заряд жюльверновой пушки вовсе не достаточен для сообщения снаряду потребной скорости. Скорость снаряда, конечно, возрастает с увеличением количества взрывчатых веществ, но только до известного предела. Поэтому весьма сомнительно, чтобы ядро

фантастической пушки получило скорость более $1—1\frac{1}{2}$ верст в секунду, вместо ожидаемых шестнадцати.

Но не в том дело. Будем надеяться, что химики когда-нибудь предоставят в наше распоряжение взрывчатое вещество, способное удовлетворить требованиям членов Балтийского пушечного клуба.

Гораздо больше опасений вызывает участь самих пассажиров. Но 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 все время дальнейшего путешествия им уж нечего 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 30-верстная скорость, с какой планета наша мчится вокруг Солнца.

Тысячепудовая шляпа

Самый опасный момент для наших путешественников представляют те несколько десятых долей секунды, в течение которых их каюта-ядро будет двигаться в канале пушки. Ведь в течение этого ничтожно малого промежутка времени скорость, с какою пассажиры будут двигаться в ядре, должна возрасти от нуля до 16 верст! Недаром в романе пассажиры с таким страхом ожидали момента выстрела. И мистер Барбикен был вполне прав, говоря, что момент, когда ядро полетит, будет для пассажиров так же опасен, как если бы они были не внутри ядра, а впереди него. Действительно: в момент выстрела нижняя площадка каюты ударит пассажиров снизу вверх с такой же силой, с какой обрушилось бы ядро на всякое вообще тело, находящееся на его пути. Пассажиры, если верить автору романа, отнеслись к этой опасности чересчур уж легкомысленно, воображая, что отделаются, в худшем случае, сильным приливом крови к голове...

Но увы — дело обстоит гораздо серьезнее. Нам станет ясно это, если произвести несколько довольно несложных расче-

тов. Напомним, что в канале пушки ядро движется ускоренно: скорость ядра растет под постоянным напором газов, образовавшихся при взрыве. В течение ничтожной доли секунды эта скорость возрастает от 0 до 16 верст. Ускорение, необходимое для того, чтобы в столь ничтожное время довести скорость ядра до 16 верст, достигает здесь круглым счетом 600 в е р с т в секунду! (Вычисления приведены далее на стр. 110—111.)

Мы поймем роковое значение этой цифры, если вспомним, что обычное ускорение силы тяжести на земной поверхности равняется всего 5 саженьям. Отсюда следует, что всякий предмет внутри снаряда в момент выстрела оказывал бы на дно ядра давление, которое в 60.000 раз сильнее веса этого предмета! Другими словами: пассажиры почувствуют, что они сделались в несколько десятков тысяч раз т я ж е л е е. И конечно, под действием такой колоссальной тяжести они были бы мгновенно расплющены в тонкий листок. Цилиндр почтенного мистера Барбикена весил бы в момент выстрела не менее тысячи пудов: такой шляпы чересчур достаточно, чтобы раздавить ее владельца.

Правда, в романе Жюль Верна приняты кое-какие меры, чтобы ослабить силу удара: ядро снабжено пружинными буферами и двойным дном с водой, заполняющей пространство между ними. Поэтому продолжительность удара немного растягивается и, следовательно, быстрота нарастания скорости ослабляется. Но при тех грандиозных цифрах, с которыми приходится здесь иметь дело, выгода от этих приспособлений получается очень мизерная. Сила, которая будет придавливать пассажиров к полу, уменьшается всего на сотую долю, — а не все ли равно: быть раздавленным шляпой в т ы с я ч у или в д е в я т ь с о т п у д о в?

Еще один опасный момент

Но это еще не все, что ожидает пассажиров в течение того краткого мига, пока они летят вдоль канала пушки. Если бы каким-нибудь чудом они остались в живых в момент взрыва, — смерть ожидала бы их у выхода из орудия. Вспомним

о сопротивлении воздуха! При обычных условиях мы мало думаем о том, чтобы столь легкая среда, как воздух, могла серьезно мешать движению тела. Но это только потому, что обычные скорости сравнительно невелики. С возрастанием скорости сопротивление воздуха быстро увеличивается. Велосипедисты по собственному опыту знают, какой помехой для них является воздух. Вычислено, что даже при умеренной скорости всего 9 верст в час велосипедист тратит на преодоление сопротивления воздуха около $\frac{1}{7}$ доли энергии; а при 15-верстной скорости на эту работу уходит $\frac{1}{6}$ доля развиваемой им энергии, а при скорости в 20 верст на преодоление воздушного сопротивления идет $\frac{1}{4}$ его энергии! Неудивительно, что при очень быстрой езде велосипедист наклоняется к рулю: он уменьшает этим поверхность своего тела и, следовательно, ослабляет сопротивление воздуха.



Рис. 49. Велосипедист тратит значительную долю своей энергии на то, чтобы преодолеть сопротивление воздуха.

Несомненно, что ядро, покидающее жюль-вернову пушку с шестнадцативерстной скоростью, встретит со стороны воздуха неимоверное сопротивление, почти такое же, как от твердого тела. При втором ударе несчастные пассажиры, конечно, не остались бы в живых: движение ядра мгновенно замедлилось бы, а пассажиры внутри его продолжали бы по инерции двигаться с шестнадцативерстной секундной скоростью. С чудовищной быстротой они ударились бы о потолок своей каюты, испытав почти такое же сотрясение, как и при первом ударе о пол. Ведь даже при умеренной скорости трамвая мы падаем вперед, если неопытный вагоновожатый слишком резко останавливает вагон. А ядро Жюля Верна мчится в пять тысяч раз быстрее трамвая!

Вы видите, каким сложным представляется при свете механики этот красивый проект Жюль Верна, кажущийся на первый взгляд столь легко осуществимым!

Как избежать сотрясения?

Физика дает нам указание на то, как возможно избежать этих опасностей. От сопротивления воздуха можно было бы избавиться, если бы, например, удалось поместить пушку так высоко, чтобы жерло ее находилось уже за пределами плотной части атмосферы.

Но как ослабить роковую быстроту нарастания скорости?

Этого можно достигнуть, если во много раз удлинить канал пушки.

Удлинение, однако, потребуется весьма значительное, если мы хотим, чтобы сила относительной тяжести внутри ядра в момент выстрела равнялась обыкновенной тяжести на земном шаре. Расчет показывает, что для этого нужно было бы изготовить пушку длиною ни мало ни много — в 6.000 верст! Другими словами, жюль-вернова «Колумбиада» должна была бы простирается в глубь земного шара до самого центра его... Тогда пассажиры действительно были бы избавлены от всяких неприятностей: к их обычному весу присоединился бы еще только кажущийся незначительным прибавочный вес вследствие медленного нарастания скорости, и они чувствовали бы, что стали всего вдвое тяжелее.

Надо заметить, впрочем, что человеческий организм способен в течение краткого промежутка времени без всякого вреда для себя переносить увеличение тяжести в несколько раз. Когда мы скатываемся с ледяной горы вниз и здесь быстро меняем направление своего движения, то вес наш в этот краткий миг увеличивается в 10—20 раз, т. е. тело наше прижимается к салазкам в несколько десятков раз сильнее обычного.

Если допустить, что человек может безвредно переносить в течение короткого времени двадцатикратное увеличение своего веса, то достаточно будет отлить пушку всего в триста

верст длиною. Для нас, однако, и это малоутешительно потому, что подобное сооружение лежит за пределами технического достижения.

Физика у к а з ы в а е т и на другое средство ослабить силу удара. Самую хрупкую вещь можно уберечь от поломки при сотрясении, погрузив ее в жидкость равного удельного веса. Если заключить хрупкую вещь в сосуд с жидкостью точно такой же плотности и герметически закупорить его, то подобный сосуд может падать с высоты и вообще испытывать самые сильные сотрясения (конечно, при условии, что сосуд остается целым), — и хрупкая вещь от этого нисколько не страдает. Мы могли бы поэтому осуществить смелую затею жюль-верновых артиллеристов, если бы наполнили внутренность ядра соленой водой, по плотности равной человеческому телу, и погрузили в эту жидкость наших пассажиров — в водолазных шлемах, с запасом воздуха. Спустя секунду после выстрела, когда нарастание скорости прекратится и пассажиры приобретут скорость ядра, они смогут уже выпустить воду и без опасений устроиться в каюте так, как описал Жюль Верн*.

Вот при каких условиях мыслимо осуществление заманчивого проекта Жюля Верна полететь на Луну в пушечном ядре.

Для друзей математики

Среди читателей этой книги, без сомнения, найдутся и такие, которые пожелают сами проверить расчеты, упомянутые выше. Приводим здесь эти несложные вычисления.

* Описывая в романе условия жизни внутри летящего пушечного ядра, Жюль Верн сделал одно существенное упущение, о котором подробно говорится в первой книге «Занимательной физики». Романист не принял в расчет, что во все время перелета предметы внутри ядра будут абсолютно невесомы, так как сила тяжести сообщает одинаковые ускорения и ядру и всем телам в нем (см. также далее статью «Недостающая глава в романе Жюль Верна»). Невесомыми должны быть предметы и внутри того небесного корабля, о котором говорилось в статье «К звездам на ракете».

Для расчетов нам придется пользоваться лишь двумя формулами ускоренного движения, — а именно:

1) Скорость v в конце t -ой 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 формулам определим, например, ускорение движения ядра, когда оно скользило в канале «Колумбиады».

Нам известна из романа длина пушки — 210 метров; это и есть пройденный телом путь S . И мы знаем точно также конечную скорость ядра: $v = 16.000$ метров. Данные эти позволяют нам определить прежде всего величину t — продолжительность движения снаряда в канале орудия (рассматривая это движение как равномерно-ускоренное). В самом деле:

$$v = at = 16000,$$

$$210 = S = \frac{at \cdot t}{2} = \frac{16000 \cdot t}{2} = 8000 \cdot t$$

$$\text{откуда } t = \frac{210}{8000} = \text{около } \frac{1}{40}.$$

Итак, оказывается, что ядро скользило внутри пушки всего $\frac{1}{40}$ секунды!

Подставив $t = \frac{1}{40}$ в формулу $v = at$, имеем:

$$16000 = \frac{a}{40}, \text{ откуда } a = 640000.$$

Значит, ускорение ядра при движении в канале = 640000 метров в секунду, т. е. в 64000 раз больше ускорения силы тяжести!

Какой же длины должна быть пушка, чтобы это ускорение ядра было всего в 20 раз больше ускорения свободно падающего тела (т. е. равнялось 200 метрам)?

Это задача, обратная той, которую мы только что решили. Данные: $a = 200$ метров; $v = 11000$ метров (при отсутствии сопротивления атмосферы такая скорость достаточна).

Из формулы $v = at$ имеем: $11000 = 200 \cdot t$, откуда $t = 55$ секунд.

Из формулы $S = \frac{at^2}{2} = \frac{at \cdot t}{2}$ получаем, что длина пушки должна равняться $\frac{11000 \times 55}{2} = 302500$ метров, т. е. круглым счетом около 300 верст.

Такими простыми вычислениями получены те цифры, которые безжалостно разрушают заманчивые планы героев Жюль Верна.



ГЛАВА ШЕСТАЯ

Свойства жидкостей и газов

Море, в котором нельзя утонуть

Такое море существует в стране, которая известна была человечеству с древнейших времен. Это знаменитое Мертвое море Палестины*. Воды библейского озера-моря необыкновенно солены, — настолько, что в них не может жить ни одно живое существо. Знойный, без дождей климат Палестины вызывает сильное испарение воды с поверхности озера. Но испаряется только чистая вода, все же растворенные соли остаются в озере и увеличивают соленость ее воды. Вот почему вода Мертвого моря содержит не 2 или 3 процента соли, как большинство морей и океанов, а 25 процентов! Иначе говоря: четвертую часть содержимого Мертвого моря составляют соли, растворенные в ее воде.

Густая соленость воды Мертвого моря связана с одной любопытной особенностью ее: она значительно тяжелее обыкновенной морской воды. Утонуть в такой тяжелой жидкости нельзя: человеческое тело легче ее. Вес нашего тела меньше веса равного объема сильно соленой воды, и, следовательно, по закону Архимеда человек не может затонуть в Мертвом море.

Знаменитый юморист Марк Твен, посетивший библейское озеро-море, с комичной обстоятельностью описывает те нео-

* 14 мая 1948 г. на части Палестины провозглашено государство Израиль. — *Прим. изд.*

бычайные 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, при чем бóльшая часть тела будет оставаться над водой. При этом можно совсем поднять голову... Вы можете лежать очень удобно на спине, подняв голову и ноги до колен и опираясь на воду руками. Вы можете усесться на воде, подняв ноги к подбородку и охватив их руками, — но вскоре перевернетесь, так как голова п е р е в е ш и в а е т. Вы



Рис. 50. Человеческое тело не тонет в Мертвом море.

можете встать на голову — и от середины груди до конца ног будете оставаться вне воды; но вы не можете долго сохранять такое положение. Вы не можете плыть на спине, подвигаясь сколько-нибудь заметно, так как ваши ноги торчат из воды и вам приходится отталкиваться только пятками. Если же вы плывете вниз лицом, 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 прилагаемой фотографии вы видите туристку, не без комфорта расположившуюся на поверхности воды Мертвого моря; большой удельный вес густо-соленой воды позволяет ей в такой позе с удобством лежать на воде, защищаясь зонтиком от жгучих лучей палестинского солнца.

Нечто в этом роде приходится испытывать тем больным, которым врачи приписывают принимать соленые ванны. Если соленость воды очень велика — как, например, в Старорусских минеральных водах, — то больному приходится прилагать немалые усилия, чтобы удерживаться на дне ванны. Я слышал, как одна дама, лечившаяся в Старой Руссе, с возмущением жаловалась, что вода ее «положительно выталкивала из ванны». Но, кажется, она склонна была винить в этом не закон Архимеда, а администрацию минеральных вод...

Вечный водяной двигатель

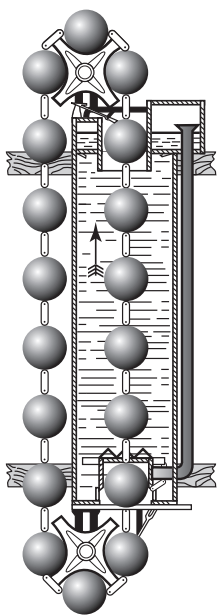


Рис. 51. Правая часть цепи, находящаяся в воде, легче левой. Будет ли цепь двигаться сама собой?

Среди бесчисленных проектов «вечно-го двигателя» было, между прочим, такое «изобретение». Бесконечная цепь из деревянных шаров перекинута через два зубчатых вала так, что часть цепи проходит через бассейн с водой (рис. 51). Дерево в воде всплывает; поэтому правая часть цепи должна быть гораздо легче левой — последняя перетянет. И так как при движении этой цепи шаров левая ее половина всегда будет перетягивать правую, то машина должна безостановочно вращаться сама собою!

Простой и дешевый вечный двигатель.

Вероятно, неведомый изобретатель этого двигателя не пробовал осуществлять его на деле — иначе он убедился бы, что, вопреки его ожиданиям, машина не обнаруживает ни малейшего стремления двигаться.

И если разобраться хорошенько в этой «машине», то легко заранее предвидеть, что никакого движения цепи происходить вовсе не должно.

Шары в воде, действительно, должны, по закону Архимеда, стремиться всплыть вверх с силой, равную разности между их весом и весом такого же объема воды. Но, стремясь подняться, погруженные шары тянут с собою вверх и те шары, которые еще находятся внизу, вне воды. И когда такой новый шар вступает снизу в сосуд, он должен преодолеть давление стоящего над ним столба воды вышиною во всю высоту сосуда. Всплывающие шары, хотя и тянут вверх новый шар, но преодолеть такого давления не могут — ведь сумма объемов всех погруженных шаров меньше объема сплошного цилиндра, опирающегося на самый нижний шар. Неудивительно, что машина остается неподвижной.

Новые Героновы фонтаны

Обычная форма Геронова фонтана, вероятно, всем известна. Впрочем, напомним здесь об устройстве этого любопытного прибора, прежде чем перейду к описанию его новейших видоизменений. Геронов фонтан состоит из 3 сосудов: верхнего — открытого (*a*) и двух шарообразных, *b* и *c*, герметически замкнутых. Сосуды соединены тремя трубками, расположение которых показано на рис. 52. Когда в сосуде *a* есть немного воды, шар *b* наполнен водой, а шар *c* — воздухом, — фонтан начинает действовать: вода переливается по трубке из сосуда *a* в нижний шар *c*, вытесняет из него воздух в шар *b*; под давлением поступающего воздуха вода из *b* устремляется по трубке вверх и бьет фонтаном над сосудом *a*. Когда шар *b* опорожнится, т. е. вся вода из него перейдет в шар *c*, фонтан перестает бить. Струя бьет тем выше, чем больше расстояние между *a* и

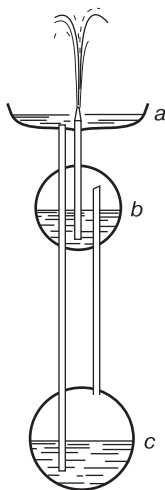


Рис. 52. Обыкновенный Геронов фонтан.

c . Теоретически высота струи над уровнем сосуда b должна в точности равняться разности уровней в сосудах a и c ; но трение о стенки трубок нарушает это равенство.

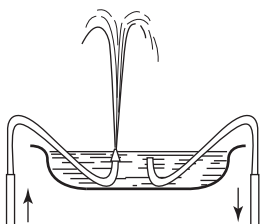


Рис. 53. Упрощенное устройство верхней тарелки Геронова фонтана.

Такова старинная форма Геронова фонтана. Недавно один школьный учитель в Италии, побуждаемый к изобретательности скудной обстановкой своего физического кабинета, упростил устройство Геронова фонтана и придумал такие видоизменения его, который всякий может устроить сам при помощи простейших средств. Вместо шаров он употребляет обыкновенные

аптечные склянки; вместо стеклянных трубок берет резиновые. Верхний сосуд не надо продырявливать: можно просто ввести в него концы трубок, как показано на рис. 53.

В таком видоизменении прибор гораздо удобнее к употреблению: когда вся вода из банки b перельет-

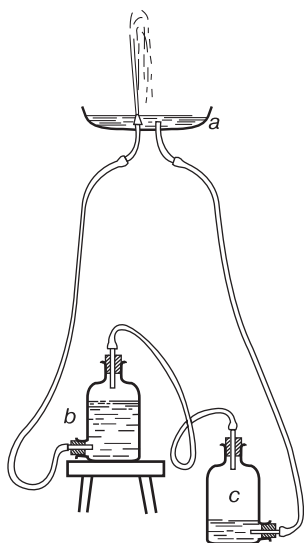


Рис 54. Упрощенный Геронов фонтан из аптечных склянок.

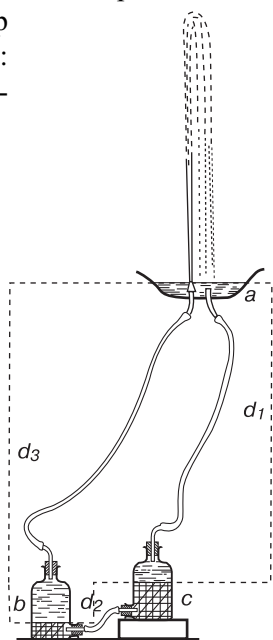


Рис. 55. Налив в сосуды ртуть, можно заставить фонтан бить гораздо выше.

ся в банку c , можно просто переставить банки — опустить 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. 55). Действие прибора понятно: ртуть, переливаясь из банки c в банку b , вытесняет из нее воду, заставляя ее бить фонтаном. Зная, что ртуть в $13\frac{1}{2}$ раз тяжелее воды, мы можем легко вычислить, на какую высоту должна подниматься при этом струя фонтана. Обозначив разности уровней соответственно через d_1 , d_2 и d_3 , имеем для высоты струи выражение:

$$(d_1 \times 1) + (d_2 \times 13\frac{1}{2}) - (d_3 \times 1).$$

Сделав преобразования и приняв во внимание, что $d_3 - d_1 = d_2$, получаем для высоты фонтана величину $12\frac{1}{2} d_2$, т. е. расстояние между уровнями ртути в сосудах, увеличенное в $12\frac{1}{2}$ раз. Трение в трубках несколько уменьшает эту теоретическую высоту. Но во всяком случае она раз в десять больше той, какая достигается без ртути. В обыкновенном фонтане Герона понадобилось бы раздвинуть сосуды на целую сажень и более, чтобы получить струю, бьющую вверх на сажень. В видоизмененном же, как описано, фонтане для достижения того же эффекта достаточно поднять одну банку всего на 4 вершка выше другой. При этом высота чашки a над нижними сосудами (как видно из приведенного расчета) не имеет никакого влияния на высоту струи.

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, во сколько времени он наполняется до краев. Оказывается: ровно в полминуты. Теперь я задаю вам вопрос: во сколько времени опорожнится весь самовар, если оставить кран открытым?

Казалось бы, здесь простая арифметическая задача: один стакан вытекает в $\frac{1}{2}$ минуты, — значит, 30 стаканов выльется в 15 минут.

Но сделайте опыт. Окажется, что самовар опоражнивается не в четверть часа, как вы ожидали, а в полчаса!

В чем же дело? Ведь расчет так прост!

Прост, — но не верен. 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, и потому медленнее; понятно, что второй стакан наполнится в больший срок, чем полминуты; третий вытечет еще ленивее, и т. д.

Скорость истечения всякой жидкости из отверстия в открытом сосуде зависит от высоты столба жидкости, стоящего над отверстием. Торичелли, ученик Галилея, первый указал на эту зависимость и выразил ее формулой:

$$v = \sqrt{2gh},$$

где v — скорость истечения, g — ускорение тяжести, а h — высота уровня жидкости над отверстием.

Если после истечения из самовара 20 стаканов уровень воды в нем (считая до 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 медленно и вяло вытекает вода из крана самовара, который уже почти опорожнен.

На основании этого закона можно доказать, что время, нужное на полное опорожнение сосуда, в два раза больше, чем то время, в течение которого вылился бы такой же объем жидкости при неизменном первоначальном уровне.

Удивительный сосуд

Вы легко можете устроить сосуд, из которого вода вытекала бы все время равномерной струей, несмотря на то, что уровень жидкости в нем понижается. Такой сосуд изображен на рис. 56. Это обыкновенная банка с узким горлом, через пробку которой вдвинута стеклянная трубка. Если вы откроете кран *С* 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.

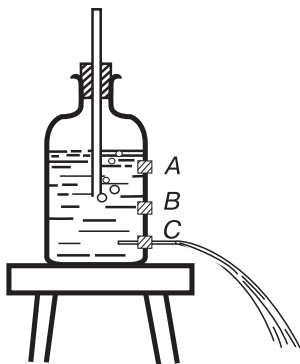


Рис. 56. Устройство сосуда Мариотта.

Отчего это происходит? Следите внимательно за тем, что совершается в сосуде при открытии крана *С*. Прежде всего вода из стеклянной трубки выльется; уровень жидкости внутри нее опустится до конца трубки. При дальнейшем вытекании воды будет опускаться уже уровень воды в сосуде; через стеклянную трубку будет входить наружный воздух; он протиснется пузырьками через воду и соберется над ней в верхней части сосуда. Теперь на всем уровне *В* давление равно атмосферному. Значит, вода из крана *С* вытекает лишь под давлением слоя воды *BC*, потому что давление атмосферы изнутри и снаружи сосуда уравнивается. 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 *В* на уровне конца трубки?

Оказывается, что она вовсе не будет вытекать (разумеется, если отверстие не слишком велико). В самом

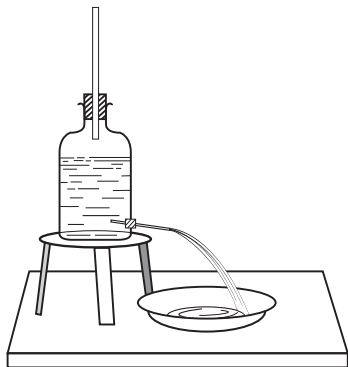


Рис. 57. При выдвинутой трубке струя течет сначала быстро, потом постепенно ослабевает

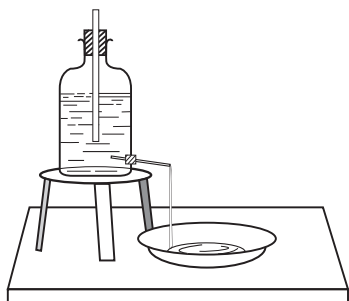


Рис. 58. При глубоко вдвинутой трубке вода течет, хотя и слабой, но неизменной струей.

деле: здесь изнутри и снаружи давление одинаково — равно атмосферному, — и ничто не побуждает воду вытекать.

А если бы вы вынули пробочку *А* выше нижнего конца трубки, то не только вода не вытекала бы из сосуда, но в него бы еще втекал наружный воздух, — так как внутри этой части сосуда давление *м е н ь ш е* атмосферного.

Этот сосуд со столь необычными свойствами был придуман знаменитым физиком Мариоттом и назван по имени этого ученого «сосудом Мариотта».

Человек, который ничего не весил

Быть легким как пух, быть легче воздуха, чтобы свободно летать высоко над землей куда угодно — вот мечта, которая с детства кажется нам заманчивой. Но обыкновенно забывают при этом одно обстоятельство: ведь люди могут свободно двигаться на земле только потому, что они *тяжелее воздуха*. В сущности, мы живем на дне воздушного океана, и если бы почему-либо мы сделались вдруг в 1000 раз легче (т. е. стали бы легче, чем воздух), то неизбежно должны были бы всплыть на поверхность этого океана. Мы поднялись бы вверх, быть может, на несколько верст, пока не достигли бы области, где удельный вес воздуха равен весу нашего тела. Все мечты о

свободном витании над горами и долинами рассыпались бы прахом: освободившись от оков тяжести, мы стали бы пленниками другой силы — атмосферного давления.

Писатель Уэллс в одном из своих юмористических рассказов в весьма наглядной форме показывает, какие неудобства ожидали бы нас при такой перемене.

Один очень полный господин желал во что бы то ни стало избавиться от своей полноты. А у рассказчика будто бы как раз имелся рецепт, полученный от какого-то индусского чародея: рецепт этот обладал способностью облегчать тучных людей от их чрезмерного веса. Толстяк выпросил у автора чудодейственный рецепт, принял лекарство, — и вот какого рода неожиданные сюрпризы поразили рассказчика, когда, придя навестить своего знакомого, он постучал у его дверей.

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

— Войдите.

Я повернул ручку и открыл дверь. Естественно, я ожидал уви-



Рис. 59. «Человек, который ничего не весил».

...Он плавал наверху, как пузырь...

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

Я запер дверь, стал поодаль от Пайкрафта и смотрел на него.

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

— Я рад был бы этому, — заметил он.

— Человеку ваших лет и 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 плавал бы надутый газом пузырь.

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, между тем как картина свалилась на диван. Пайкрафт хлопнулся о потолок, и тогда я догадался, почему все выдающиеся части и углы его тела запачканы мелом. Он снова, с большею осторожностью, попробовал спуститься при помощи камина.

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

Тут я все понял.

— Господи, Пайкрафт! — сказал я. — Ведь вам нужно было лечение от п о л н о т ы, а вы всегда называли это в е с о м... Постойте, я вам помогу, — сказал я, взяв его за руки и дергая вниз.

Он заплесал по комнате, стараясь твердо встать где-нибудь. Это было очень похоже на то, как если бы я в ветреный день держал в руках парус.

— Стол этот, — сказал он, — очень прочен и тяжел. Если бы вам удалось засунуть меня под него...

Я это сделал, и там он шатался, как привязанный воздушный шар. Вдруг он разразился страстным возгласом:

— Боже мой, что мне делать?!

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

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

— Я не могу спать, — пожаловался он.

Это не представляло большого затруднения. Я указал ему, что вполне возможно прикрепить к кровати сетке мягкий тюфяк, привязать к нему все нижние предметы тесьмами и застегивать на боку одеяло и простыню.

Ему поставили в комнату библиотечную лестницу, и все кушанья ставились на библиотечный шкаф. Мы напали также на остроумную выдумку, благодаря которой

Пайкрафт мог спускаться на пол, когда желал: она просто заключалась в том, что «Британская энциклопедия» была поставлена на верхнюю полку открытого шкафа. Пайкрафт сейчас же вытащил пару томов и, держа их в руках, спустился на пол.

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



Рис. 60. «Человек который ничего не весил».
...Он хлопнулся о потолок...

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

— Боже мой, Пайкрафт! — воскликнул я. — Все это совершенно излишне! Свинцовая подкладка под одеждою, и дело сделано!

Пайкрафт чуть не расплакался от радости.

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

Поклажа из воздуха

В середине XVII столетия жители города Магдебурга были свидетелями поразительного зрелища: 16 лошадей из 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 наглядно доказал, что воздух — не «ничто», что он имеет вес и давит со значительною силою на все земные предметы.

Описание знаменитого опыта с «магдебургскими полушариями» имеется во всех учебниках физики. И все же, мне думается, читателю интересно будет узнать, как описан этот опыт самим Герике. Книга с описанием целого ряда его опытов вышла на латинском языке в Амстердаме в 1672 году под длинным заглавием:

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. Вот ее перевод:

«Опыт, доказывающий, что давление воздуха соединяет два полушария так прочно, что их нельзя разнять усилиями 16 лошадей».

«Я заказал два медных полушария a и b (см. гравюру), диаметром в $\frac{3}{4}$ магдебургских локтя*. Но в действительности диаметр их заключал всего $\frac{67}{100}$, 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 H (фиг. IV); с его помощью 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 (D); оно напитано было смесью воска в скипидаре; зажатое между полушариями, оно не пропускало в них воздух. 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 воздуха сдавливало их так крепко, что 16 лошадей 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 ружейного выстрела.

Но стоило поворотом крана открыть свободный доступ воздуху — и оба полушария нетрудно было разнять руками».

Несложное вычисление может объяснить нам, почему нужна такая огромная сила (16 лошадей), чтобы разъединить части пустого шара. Воздух давит с силою около 1 кг на каждый квадратный сантиметр; площадь круга** диаметром в $\frac{3}{4}$ локтя

* Магдебургский локоть — 550 миллиметров.

** Берется площадь круга, а не поверхность полушария потому, что атмосферное давление равно указанной величине лишь при действии на

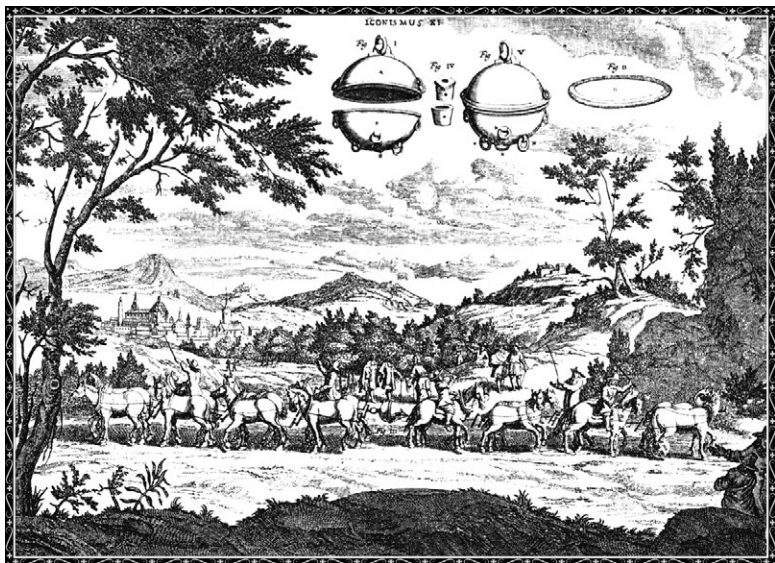


Рис. 61. Опыт с «магдебургскими полушариями». Иллюстрация из сочинения Отто фон Герике.

(37 см) равна 1060 см^2 . Значит, давление атмосферы на каждое полушарие должно превышать 1000 кг (60 пудов). Каждая восьмерка лошадей должна была, следовательно, тянуть с силой 60 пудов, чтобы противодействовать давлению воздуха.

Казалось бы, для 8-ми лошадей это очень небольшой груз: ведь 8 сильных лошадей везут телегу, нагруженную 1000 пудами! Не забывайте, однако, что, двигая 1000-пудовую кладь, лошади преодолевают силу не в 1000 пудов, но гораздо меньшую, именно — силу трения колес о мостовую. А эта сила составляет всего 2—5 процентов, т. е. при 1000-пудовом грузе равна 20—50 пудам (в зависимости от качества мостовой). Следовательно, тяга в 60 пудов соответствует нагрузке телеги в 1200—3000 пудов. Вот какова та воздушная поклажа, везти которую должны были лошади магдебургского бургомистра!

Измерено, что средняя ломовая лошадь тянет воз с усилием всего в 5 пудов (при скорости 4 версты в час). Следовательно,

поверхность под прямым углом; для наклонных поверхностей это давление меньше. В данном случае мы берем *проекцию* сферической поверхности на плоскость, — т. е. площадь большого круга.

для разрыва «магдебургских полушарий» понадобилось бы, при спокойной тяге, не 8, а 12 лошадей с каждой стороны!

Читатель будет, вероятно, изумлен, узнав, что некоторые сочленения нашего тела не распадаются по той же причине, что и «магдебургские полушария».

Наше тазобедренное сочленение представляет собой именно такие «магдебургские полушария». Можно обнажить это сочленение от мышечных и хрящевых связей — и все-таки бедро не выпадет из сочленения: его прижимает атмосферное давление, так как в межсуставном

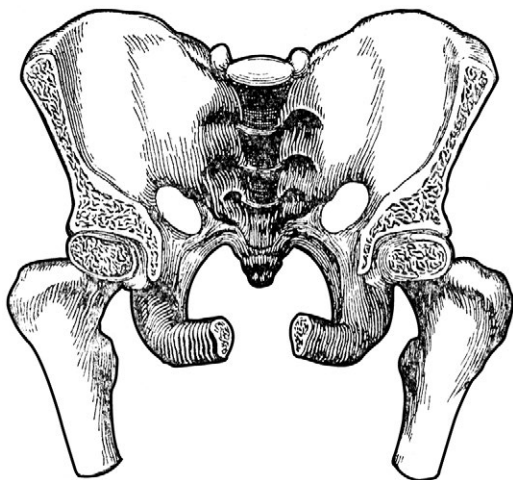


Рис. 62. Кости наших тазобедренных сочленений не распадаются благодаря атмосферному давлению, подобно тому, как сдерживаются «магдебургские полушария».

пространстве воздуха нет. Наоборот, достаточно просверлить канал в тазовой кости, открыв доступ воздуху внутрь сочленения — и кость выпадает, несмотря на то, что все хрящи и мускулы в целости.

«Пустота» оказывается здесь, как видите, более крепкою связью, нежели мускулы и хрящи.

Отчего притягиваются корабли?

Осенью 1912-го года с океанским пароходом О л и м п и к, одним из величайших в мире судов, произошел странный случай. О л и м п и к плыл в открытом море, а почти параллельно ему, на расстоянии 50 саженей, проходил с довольно большой скоростью другой, гораздо меньший пароход — Г а у к. Когда оба судна заняли положение, изображенное на рис. 63,

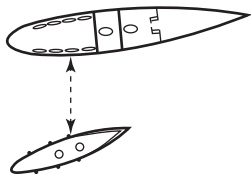


Рис. 63. Положение пароходов «Олимпик» и «Гаук» перед столкновением.

произошло нечто неожиданное: меньшее судно стремительно свернуло со своего пути, словно повинувшись 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 борте Олимпика большую пробоину.

Когда этот странный случай рассматривался в морском суде, виновной стороной был признан капитан гиганта Олимпика, «...так как он, — гласило постановление суда, — не отдал никаких распоряжений уступить дорогу идущему наперерез Гауку». Суд не усмотрел здесь, следовательно, ничего необычного: простая нераспорядительность капитана, не больше. А между тем здесь имело место совершенно непредвиденное обстоятельство — случай взаимного притяжения судов на море.

Такие случаи не раз случались, вероятно, и раньше при параллельном движении двух кораблей. Но пока не строили очень крупных судов, явление это не выражалось с такой силой. Лишь в самые последние годы, когда воды океанов стали бороздить колоссальные морские Левиафаны, явление притяжения судов сделалось гораздо заметнее.

Трагически погибший гигантский пароход Титаник незадолго до гибели также чуть не сделался причиной катастрофы, вызванной этим загадочным притяжением. В гавани Саутгемптона стояли рядом Титаник и пароход Нью-Йорк. Когда Титаник двинулся в путь, Нью-Йорк, стоявший до тех пор совершенно неподвижно, внезапно рванулся с места с такой силой, что оборвал якорную цепь и двинулся прямо на Титаник. Столкновение было неизбежно и окончилось бы трагически для обоих судов, если бы не своевременная помощь буксирных пароходов.

Многочисленные аварии мелких судов, проплывавших в соседстве с большими пассажирскими и военными судами, происходили, вероятно, также вследствие «притяжения кораблей».

Но чем же объясняется это притяжение? Конечно, здесь не может быть и речи о всемирном тяготении по закону Ньютона. Причина совершенно иного рода и объясняется законами

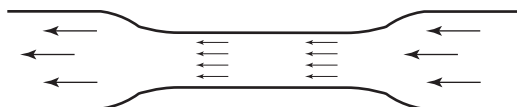


Рис. 64. В узких частях канала вода течет быстрее, но давит на стенки слабее, нежели в широких.

ми 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 называемое «правило Бернулли»).

Зная это, мы без труда поймем, в чем кроется истинная причина притяжения судов. Когда в море 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: вода неподвижна, 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 того?

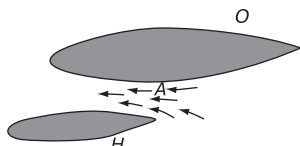


Рис. 65. Течение воды между двумя плывущими пароходами.

Понятно, суда должны, под напором наружной воды, двинуться друг к другу, и естественно, что меньшее судно перемещается стремительнее, между тем

как более массивное остается почти неподвижным. Вот почему притяжение проявляется с особенной силой, когда большой корабль быстро проносится мимо маленького.

Путешествие в недра Земли

Ни один человек не опускался еще в Землю глубже двух верст, — а между тем радиус земного шара равен 6000 верст. До центра Земли остается еще очень долгий путь. Тем не менее, изобретательный Жюль Верн, как вы, конечно, помните, заставил спуститься 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 в странствовании под землей, было, между прочим, быстрое 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 арифметической прогрессии. Напротив, при опускании вниз, ниже обычного уровня, воздух, под давлением лежащих над ним слоев, должен, по тому же закону, становиться все плотнее и плотнее. И подземные путешественники Жюль Верна, конечно, не могли не заметить этого.

Вот какой разговор происходил между дядей-ученым и его племянником на глубине 12 лье* (48 километров) в недрах Земли:

«— Посмотри, что показывает манометр? — спросил дядя.

— Довольно сильное давление.

— Превосходно. Теперь ты видишь, что, спускаясь мало-помалу, мы постепенно привыкаем к сгущенному воздуху и нисколько не страдаем от этого.

— Если не считать боли в ушах.

* Лье (франц. *lieu*) — старинная французская путевая мера: обыкновенная = 4,445 км (4,16 версты); морская = 5,565 км, почтовая = 3,898 км. — *Прим. изд.*

— Это пустяки!

— Хорошо, — отвечал я, решив не противоречить дяде. — Находиться в сгущенном воздухе даже приятно. Вы заметили, как громко раздаются в нем звуки?

— Заметил. В этой атмосфере даже глухой мог бы слышать.

— Но воздух будет приобретать все большую плотность?

— Да. Зато вес будет уменьшаться по мере того, как мы будем спускаться. На поверхности Земли вес значительно больше, чем здесь, а в центре земного шара предметы вовсе не имеют веса.

— Знаю. Однако скажите, не приобретает ли воздух в конце-концов плотности воды?

— Конечно, под давлением в 770 атмосфер.

— А ниже?

— Ниже сгущенность увеличится еще больше.

— Как же мы станем тогда спускаться?

— Набив карманы камнями.

— Ну, дядя, у вас всегда на все есть ответы!

Я не стал более вдаваться в область догадок, потому что, пожалуй, опять придумал бы какое-нибудь новое препятствие, которое рассердило бы дядю.

Было, однако, очевидно, что под давлением в 1000 атмосфер воздух может перейти в твердое состояние, и тогда, предполагая даже, что мы могли бы это вынести, придется все же остановиться. Тут уже никакие умствования не помогут».

Фантазия и математика

Не желает ли читатель проверить 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 мы должны опуститься, чтобы давление атмосферы увеличилось на $\frac{1}{1000}$ долю. Нормальное давление атмосферы равно весу 760-миллиметрового столба ртути. Если бы мы находи-

лись не в воздушной, а в ртутной среде, нам надо было бы опуститься всего на $\frac{760}{1000} = 0,76$ миллиметра, чтобы давление увеличилось на $\frac{1}{1000}$ долю. В воздухе же, конечно, мы должны опуститься для этого гораздо глубже, и именно во столько раз, во сколько раз воздух легче ртути — в 10500 раз. Значит, чтобы давление увеличилось на $\frac{1}{1000}$ долю нормального, нам придется опуститься не на 0,76 мм, как в ртути, а на $0,76 \times 10500$, т. е. почти ровно на 8 метров. Спустившись еще на 8 метров, мы заметим, что это увеличенное давление возрастет еще на $\frac{1}{100}$ своей величины, и т. д. Получается такая таблица:

На уровне земли атм. давление = нормальн. = 760 мм.

На 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 $n \times 8$ метров давление атмосферы больше нормального в $(1,001)^n$ раз. Во столько же раз увеличится и плотность воздуха.

Теперь мы уже легко можем вычислить, как велико было то «довольно сильное давление», которое подземные путешественники Жюль Верна испытывали на глубине 48 километров (48.000 метров). В нашей формуле n равняется $\frac{48000}{8} = 6000$. Остается вычислить $1,001^{6000}$. Умножать 1,001 само на себя 6000 раз — занятие довольно скучное; оно поглотит у нас, вероятно, не менее года времени. Но мы можем обратиться к помощи логарифмов, о которых справедливо сказал один астроном, что они, сокращая труд, удлиняют жизнь вычислителей. Логарифмируя, имеем:

логарифм неизвестного = $6000 \times \lg 1,001 = 6000 \times 0,0004 = 2,4$.

По логарифму 2,4 находим искомое число; оно = 251.

Значит, на глубине 48 километров давление атмосферы будет в 251 раз сильнее нормального, и во столько же раз воздух будет плотнее. Сомнительно поэтому, чтобы наши подземные путники нисколько не страдали, испытывая только «боль в ушах»...

По той же формуле нетрудно вычислить, на какой глубине воздух становится так же плотен, как и вода: это будет при давлении в 770 атмосфер, потому что воздух именно во столько раз легче воды. Чтобы найти глубину, где давление достигнет такой величины, надо решить задачу, обратную той, которую мы решили раньше, т. е. решить уравнение

$$770 = 1,001^y.$$

Неизвестное число y в этом уравнении означает, сколько раз по 8 метров включает та глубина, где давление атмосферы в 770 раз больше нормального. Решив уравнение (при помощи, конечно, логарифмов), получаем: $y = 7000$; следовательно, глубина = 8 метров $\times 7000 = 56$ километров. А так как в момент разговора наши подземные путешественники находились на глубине 48 километров, то им оставалось еще спуститься всего на 8 километров, чтобы достигнуть района, где воздух по плотности равен воде.

Наконец, если вы хотите узнать, на какой глубине давление достигнет 1000 атмосфер, та же формула даст вам ответ: 60 верст. Напрасно, однако, Аксель надеялся, что воздух перейдет здесь в твердое состояние. Не только при давлении в тысячу атмосфер, но даже и при миллионе атмосфер нельзя превратить воздух в твердое состояние, если не охладить его в достаточной степени — именно ниже так называемой «критической температуры». Для кислорода и азота критическая температура лежит очень низко — около m и n у с 200° , и при температуре v y s e этой никаким давлением нельзя превратить воздух в твердое или хотя бы даже в жидкое состояние. Под давлением в 1000 атмосфер воздух, при обыкновенной температуре, становится раза в $1\frac{1}{2}$ плотнее воды, — но не превращается в жидкость. Вязкость его увеличивается, двигаться в таком плотном воздухе будет очень трудно, — но все-таки это не жидкость. И ни при каком давлении, как бы сильно оно ни было, газ не может превратиться в жидкое или в твердое тело, если его не охладят ниже «критической точки».

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

Теплота

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 возжжения светильников и фонарей расширяется, ибо согревается».

Это курьезное рассуждение «Войска Донского отставного урядника» из юмористического рассказа Чехова вызывает улыбку у всякого своею явною несообразностью. Однако те же люди, которые смеются над подобными «учеными» рассуждениями, нередко сами создают теории, ничуть не менее смехотворные. Кому не приходилось слышать или читать о сапоге в бане, который не влезает на разгоряченную ногу потому будто бы, что «нога при нагревании увеличилась в объеме?» Этот знаменитый пример сделался чуть не классическим, — а между тем трудно придумать большую нелепость, чем подобное объяснение.

Прежде всего, надо твердо помнить, что температура человеческого тела в бане нисколько не повышается: наивно думать, будто у всех в бане повышенная температура! Человеческий организм успешно борется с тепловыми влияниями окружающей среды и поддерживает собственную температуру на строго определенной точке.

Но если бы даже температура тела и поднялась на несколько градусов (не больше 5-ти, конечно, ибо при 42° уже на-

ступает смерть), то вызванное этим увеличение объема было бы такое ничтожное, какого 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 увеличиваться всего на какую-нибудь сотую долю сантиметра, если бы нога в бане действительно стала теплее на несколько градусов. Неужели же сапоги шьются с точностью до 0,01 сантиметра?!

Право, Чехов смело мог бы приписать это объяснение своему доморощенному философу! Конечно, факт остается фактом: сапоги трудно надевать после бани. Это так же верно, как и то, что зимою дни короче, чем летом. Но причина вовсе не в тепловом расширении, а в приливе крови, в разбухании наружного покрова, во влажной поверхности кожи и т. п. явлениях, мало относящихся к физике.

Барометр или термометр?

— Барин, сегодня нельзя вам ванны брать, — неожиданно объявляет лакей, хотя ванна вполне готова.

— Почему?

— Опасно. Сунул я в ванну барометр, а он показал бурю! Нельзя.

Со стыдом должен сознаться, что я сам однажды очутился в положении этого анекдотического лакея: купил термометр, воображая, что покупаю недорогой барометр.

Прибор, купленный мной, продается под именем «водяного барометра». Это — закрытый сосуд, до половины налитый водою, над которой находится воздух. От нижней части сосуда ведет трубка, изгибающаяся вверх и имеющая открытый конец. На трубке наклеена бумажка с делениями и надписями:

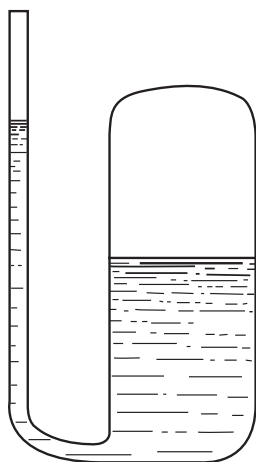


Рис. 66. Будто бы водяной барометр.

«сухо», «ясно», «переменно», «дождь», «буря» и т. п. Уровень воды в такой трубке показывает будто бы давление атмосферы и ожидаемое состояние погоды. Прибор охотно покупается публикой, и большинство покупателей действительно убеждено, что оно приобретает барометр, чувствительный к малейшим изменениям воздушного давления.

Между тем, это вовсе не водяной барометр, а воздушный термометр! Вода в узкой трубке поднимается совсем не вследствие понижения атмосферного давления, а вследствие нагревания воздуха над водой в широком сосуде. Стремясь расшириться при нагревании, воздух давит на воду и, разумеется, поднимает уровень воды в трубке. К температурным изменениям этот прибор в десятки раз чувствительнее, чем к переменам давления воздуха.

Вы можете и сами устроить такой мнимый барометр из обыкновенной бутылки и стеклянной трубки. Бутылку (белого стекла) наполняют до половины водой и вставляют в горлышко стеклянную трубку так, чтобы нижний конец ее почти доходил до дна, а верхний далеко выступал над горлышком. Края горлышка вокруг трубки заливают сургучом, — и «барометр» готов к употреблению: уровень воды в трубке будет постоянно колебаться в связи с переменной погоды. Если угодно, вы можете пользоваться этим самодельным прибором, — но знайте, что, справляясь по нему о давлении атмосферы, вы не слишком далеко будете от того анекдотического лакея, над которым сами только что смеялись.

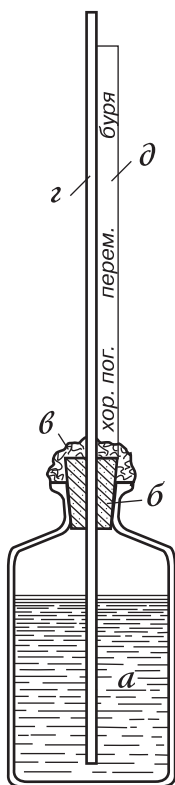


Рис. 67. Самодельный водяной термоскоп, неправильно принимаемый за барометр.
 а — бутылка,
 б — пробка, в — сургуч,
 з — стеклянная трубка,
 д — полоска бумаги с надписями.

Первый термометр в мире, изобретенный Галилеем, устроен был именно таким образом, как наш мнимый барометр;

в нем, вместо ртути, расширился воздух. Подобные термометры тем неудобны, что положение уровня воды в трубке зависит не от одной лишь температуры, а отчасти и от атмосферного давления. Но, конечно, к температурным изменениям прибор этот гораздо чувствительнее, и Галилей был вполне прав, рассматривая его как термометр (вернее, термоскоп). Первый настоящий барометр изобретен учеником Галилея, Торичелли.

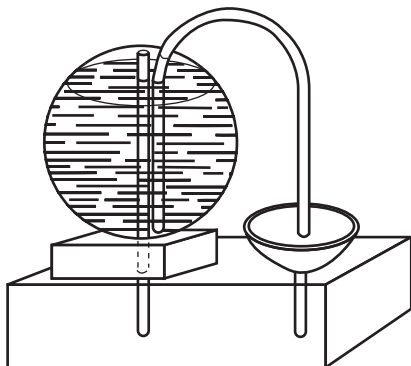


Рис. 68. Термоскоп Герона.

Прибор вроде того же мнимого барометра описывается еще у Герона Александрийского (см. рис. 68). Когда солнечные лучи нагревают шар, воздух в верхней его части, расширяясь, давит на воду и выталкивает ее по трубке наружу; тогда вода начинает капать из конца трубки в воронку. В холодную погоду упругость воздуха в шаре уменьшается, и вода из нижнего ящика устремляется по трубке в шар.

Египетские чудеса

Вот еще два любопытных прибора, описываемые Героном. Их действие основано также на расширении воздуха от нагревания. На рис. 69 вы видите пустотелый металлический жертвенник, а под ним — скрытый в подполье храма механизм, приводящий в движение двери. Когда на жертвен-

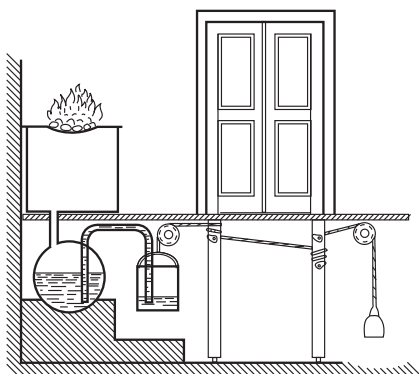


Рис. 69. «Чудо» египетских жрецов: двери храма сами растворяются, едва на жертвеннике запылает пламя. Разгадка «чуда» кроется под полом храма.

нике разводят огонь, воздух внутри жертвенника, расширяясь от нагревания, давит на воду в котле, скрытом под полом; из котла вода переходит по трубке в соседний сосуд и приводит здесь в действие механизм, вращающий двери. Изумленные зрители, ничего не подозревающие о скрытой под полом установке, видят перед собой чудо: как только на жертвеннике за-

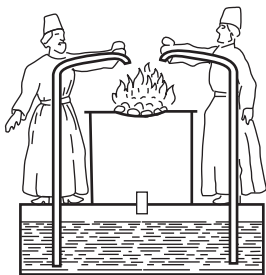


Рис. 70. Стоит зажечь жертвенный огонь — и фигурки жрецов сами будут непрерывно подливать масло из резервуара, скрытого под жертвенником.

пылает огонь, двери храма растворяются словно сами собою...

Другое мнимое чудо египетских жрецов изображено на рис. 70. Когда на жертвеннике запылает пламя, воздух выдавит масло из нижнего резервуара в трубки, скрытые внутри фигур жрецов; и тогда масло чудесным образом само подливается в огонь... Но стоит жрецу, заведующему этим жертвенником, незаметно вынуть пробку из крышки резервуара, чтобы прекратить излияние масла (потому что избыток воздуха будет выходить через отверстие): это практиковалось, вероятно, тогда, когда приношение молящихся было, на взгляд жреца, слишком мизерно.

Часы, которые не надо заводить

Такого рода часы были изобретены несколько лет тому назад и представляют собою чрезвычайно любопытный механизм. С первого взгляда кажется, что видишь пред собой удачную попытку создать пресловутый «вечный двигатель», над которым тщетно ломали себе голову многие поколения неудачников-изобретателей. Однако описываемые часы имеют с «вечными двигателями» только внешнее сходство. Они не творят энергии «из ничего», а имеют внешний источник силы, — правда, довольно своеобразный.

Механизм самозаводящихся часов изображен на рис. 71. Главная часть его — стержни Z_1 и Z_2 , сделанные из металла с большим коэффициентом расширения. Стержень Z_1 упирает-

последние, ртуть заставляет это колесо вращаться; при этом приходит в движение цепь KK , охватывающая колёса K_1 (на общем вале W_2 с большим колесом) и K_2 ; последнее колесо закручивает заводную пружину часов. Что же делается с ртутью, вылившеюся 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 сам собой, не останавливаясь, до тех пор, пока будут удлиняться или укорачиваться стержни Z_1 и Z_2 . Следовательно, для того, чтобы часы заводились, 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 все время медленно закручивается пружина часов.

Можно ли назвать эти часы «вечным двигателем» в том смысле, как это обыкновенно понимают? Конечно, нет. Правда, часы будут идти неопределенно долго, пока не износится их механизм, — но источником их энергии служит теплота окружающего воздуха; работа теплового расширения накапливается этими часами по маленьким порциям, чтобы непрерывно расходовать ее на движение часовых стрелок. Это не вечный, — а «даровой» двигатель, так как не требует забот и расходов на поддержание своей работы. Первоисточником его энергии является, конечно, теплота Солнца, согревающего Землю.

Физика на балу

Когда дамы на балу обмахиваются веерами, им, конечно, становится прохладнее. Казалось бы, что занятие это вполне невинное и что кавалеры могут быть только признательны дамам за охлаждение воздуха в зале.

Но 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 нагретый близ лица слой воздуха лишь весьма медленно поднимается вверх (как более легкий) и так же медленно сменяется ненагретым воздухом. Когда же мы веером смахиваем с лица теплую воздушную маску, то лицо соприкасается все с новыми и новыми порциями ненагретого

воздуха и непрерывно отдает ему свою теплоту. Вот почему мы при этом ощущаем прохладу.

Итак, при обмахивании веером дамы 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. Другими словами: работа вееров способствует скорейшему нагреванию воздуха во всей зале.

Значит, с точки зрения физики, следовало бы протестовать против дамских вееров, так как, доставляя временное облегчение обладательницам веера, они увеличивают общую температуру в бальной зале.

Греет ли вуаль?

Вот еще одна задача из физики обыденной жизни. Дамы утверждают, что вуаль греет и что без вуали 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 — одно «воображение».

Однако, если вспомните сказанное выше, вы отнесетесь к этому утверждению более доверчиво. Как бы крупны ни были ячейки вуали, воздух проходит через такую ткань все же с некоторым замедлением. Тот слой воздуха, который непосредственно прилегает к лицу и, нагревшись, является как бы теплой воздушной маской, — этот слой при наличии вуали не так быстро сдувается ветром, как при отсутствии ее. Поэтому нет основания не верить дамам, что при небольшом морозе и слабом ветре лицо во время ходьбы меньше зябнет в вуали, чем без нее.

Отчего при ветре холоднее?

Всякий знает, что в тихую погоду мороз переносится нами гораздо легче, чем при ветре. Но не все отчетливо представляют себе причину этого явления. Холод при ветре — явление субъективное: он ощущается лишь живыми существами; тер-

мометр, например, не опускается ниже, когда его обдувает ветер. Ощущение резкого холода в ветряную морозную погоду объясняется прежде всего тем, что от нашего 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 большая масса воздуха успевает в течение каждой минуты придти в соприкосновение с нашей кожей, и, следовательно, тем большее количество тепла ежеминутно отнимается от нашего тела. Этого одного уже было бы достаточно, чтобы вызвать ощущение холода.

Но есть и еще причина. Кожа наша всегда испаряет влагу даже в холодном воздухе. Для испарения требуется теплота, которая отнимается от нашего тела и 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 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, заимствуемой у тела.

Так физика объясняет тот простой житейский факт, что на ветре всегда холоднее, чем в тихую погоду.

Горячее дыхание пустыни

«Значит, и в знойной местности ветер должен приносить прохладу, — скажет, пожалуй, читатель. — Почему же путешественники говорят о горячем дыхании пустыни?»

Кажущееся противоречие объясняется тем, что в тропическом климате воздух бывает теплее, чем наше тело. Неудивительно, что там при ветре людям становится не прохладнее, а жарче. Там теплота передается уже не от тела воздуху, а обратно — воздух нагревает человеческое тело. Поэтому, чем большая масса воздуха успеет в течение минуты 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 самим видеть таких кувшинов, то, вероятно, вы слышали или читали о них. Эти сосуды из необожженной глины обладают тою любопытною особенностью, что налитая в них вода становится прохладнее, чем окружающие предметы. Кувшины эти в большом распространении у южных народов и носят различные названия: в Испании — «алкарасса», в Египте — «гоулах» и т. д.

Секрет охлаждающего действия этих кувшинов очень прост: жидкость просачивается через толщу глиняных стенок наружу и здесь медленно испаряется, отнимая при этом теплоту («скрытую теплоту испарения») от сосуда и заключенной в нем жидкости.

Ошибочно думать, однако, что жидкость в таких сосудах охлаждается до очень низкой температуры — как нередко приходится читать в описаниях путешествий по южным странам. Степень охлаждения не может быть велика. Зависит она от разных 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 неприятному ощущению холода, которое случается испытывать в мокром платье даже в теплый, но ветреный день. В общем, понижение температуры в охлаждающих кувшинах, как показали наблюдения, не превышает 5 градусов Цельсия. В знойный южный день, когда термометр показывает подчас 33°, вода в охлаждающем кувшине имеет температуру горячей ванны, 28°. Охлаждение, как видим, практически бесполез-

ное. Но зато кувшин хорошо сохраняет х о л о д н у ю в о д у; для этой цели их преимущественно и употребляют.

Мы можем попытаться вычислить степень охлаждения воды в «алькарассах». Пусть у нас имеется кувшин, вмещающий 5 литров (т. е. приблизительно 5 бутылок) воды; допустим, что пятидесятая доля этой воды испарилась. Для испарения 1 литра воды (1 килограмма) требуется при температуре знойного дня (33°) около 580 калорий тепла. У нас испарилось $\frac{1}{10}$ килограмма; следовательно, понадобилось 58 калорий. Если бы вся эта теплота заимствовалась только от той воды, которая находится в кувшине, то температура последней понизилась бы на $\frac{58}{5}$, т. е. почти на 12 градусов. Но, конечно, это не так: большая часть тепла, потребного для испарения, отнимается от стенок самого кувшина и от окружающего его воздуха; с другой стороны, рядом с охлаждением воды в кувшине все время происходит и нагревание ее теплым воздухом, прилегающим к кувшину. Поэтому охлаждение едва достигает и половины полученной нами цифры.

Другое дело, если сосуд с самого начала наполнен был холодной водой, добытой, например, из подземного ключа: тогда нагревание происходит крайне медленно, и вода долго сохраняет свою низкую температуру.

Трудно сказать, когда кувшин охлаждается больше, — на солнце или в тени. На солнце ускоряется испарение, но вместе с тем усиливается и приток тепла. Всего выгоднее, вероятно, держать охлаждающие кувшины в тени на слабом ветре.

Какую жару мы способны переносить?

Человек гораздо выносливее по отношению к жаре, чем обыкновенно думают: он способен переносить в южных странах температуру почти вдвое выше той, которую мы, в нашем умеренном поясе, считаем едва переносимой. Летом в Средней Австралии довольно обычна температура 46 градусов в тени и 60 на солнце; там наблюдались даже температуры в 55 градусов в тени и 67 на солнце (по Цельсию). При переезде через Красное море и Персидский залив термометр на кора-

блях очень часто показывает 50—60 градусов, несмотря даже на непрерывную вентиляцию.

Два английских ученых производили опыты для определения высшей температуры, какую может выдержать человеческий организм. Они запирали друг друга в особо устроенную печь и постепенно поднимали в ней температуру. Оказалось, что при весьма постепенном нагревании печи их организм мог в сухом воздухе выдержать почти температуру кипения (100 градусов), а иногда даже еще более высокую!

Такая выносливость объясняется возрастающим выделением пота: испарение пота поглощает значительное количество тепла из того слоя воздуха, который непосредственно прилегает к коже, и тем в достаточной мере понижает его температуру. Единственное необходимое условие состоит в том, чтобы тело не соприкасалось непосредственно с источником тепла.

Задача о ледяных сосульках

Задумывались ли вы над тем, как образуются ледяные сосульки, которые мы так часто видим свешивающимися с крыш?

Вы скажете, что здесь не над чем и задумываться: сосульки — это, очевидно, вода, стекавшая с крыш и замерзшая в таком виде.

Прекрасно, но в какую погоду они образовались — в оттепель или в мороз?

Если в оттепель, то как же могла замерзнуть вода при температуре выше нуля?

Если в мороз, то откуда же могла взяться вода, стекающая с крыши?

Задача не так проста, как казалось вам 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.

Получается как будто абсурд — а между тем так на самом деле и есть: снег на склоне крыши тает, потому что солнеч-

ные лучи нагревают его выше нуля, а под застрехой стекающие капли воды замерзают, потому что здесь температура ниже нуля.

Представьте себе такую картину. Стоит ясный день; мороз всего только в 1—2 градуса. Солнце светит ярко, но все же его косые лучи не нагревают земли настолько, чтобы снег мог таять; температура воздуха, как мы сказали, немного ниже нуля. Но на склоне крыши, обращенном к солнцу, нагревание идет более успешно: солнечные лучи падают на крышу не так косо, как на землю, а под углом, более близким к прямому. Но известно, что освещение и нагревание лучей тем больше, чем больший угол составляют лучи с плоскостью падения. (Действие лучей пропорционально синусу этого угла; для случая, изображенного на рис. 72, снег на крыше получает тепла на 40% больше, нежели равная пло-

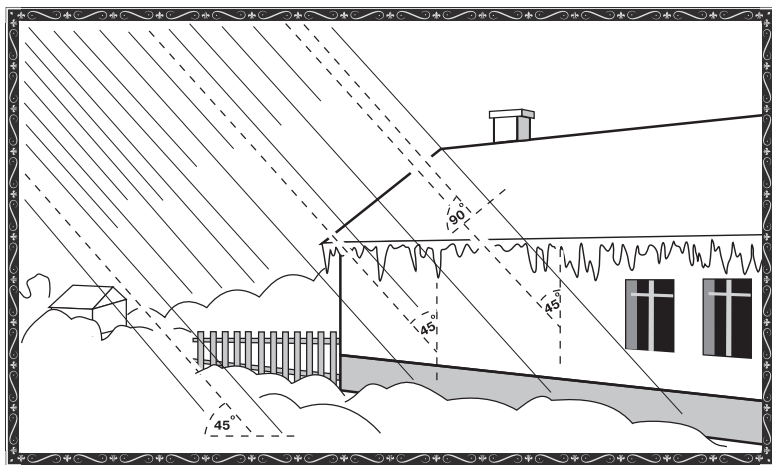


Рис. 72. Одна из загадок зимнего сезона.

В слабый мороз, при солнечном сиянии, с крыш каплет вода, между тем как на земле снег не тает. Разгадка кроется в том, что лучи падают на наклонную крышу под углом, близким к прямому, между тем как на землю (и стены) они падают под острым углом (например в 45°).

щадь снега на горизонтальной поверхности, ибо синус 90° в 1,4 раза больше синуса 45° .) Вот почему снег на скате крыши нагревается сильнее и начинает таять. Оттаявшая вода стекает вниз, скопляется у застрех, каплями свисает с края крыши.

Но здесь, под крышей, температура *ниже* нуля — и капля замерзает. На замерзшую каплю натекает следующая, также замерзающая; затем третья капля и т. д.; постепенно образуется маленький ледяной бугорок. В следующий раз, при такой же погоде, эти ледяные наплывы еще вырастут, — пока не образуются длинные и толстые сосульки.

Итак, вот о чем говорят нам ледяные сосульки: они доказывают, что в одно и то же время могут существовать как бы две погоды: мороз — под крышей и оттепель — на скате крыши. Причина — различное нагревательное действие солнечных лучей в зависимости от угла падения. Та же самая причина вызывает на наших глазах и более грандиозные явления: вспомните, что все различие в климатических поясах и временах года обусловлено, в сущности, ничем иным, как изменением угла падения солнечных лучей. Солнце одинаково далеко от нас зимой и летом; оно всегда одинаково удалено от полюсов и экватора (различие в расстоянии настолько ничтожно, что не может здесь иметь значения). Но наклон солнечных лучей к поверхности земли близ экватора меньше, чем у полюсов; и летом этот угол больше, чем зимой. Этого достаточно, чтобы вызвать столь важные различия в температуре и в жизни всей природы.

Выражаясь фигурально, мы могли бы сказать, что на скате освещенной солнцем крыши — тропики, а под застрехой — полярная область; снег тает в «тропиках» и замерзает, попав в «полярную область».

Для чего служит ламповое стекло?

Мы и не подозреваем, какой долгий путь прошло наше обыкновенное ламповое стекло, прежде чем дошло до его современного вида. В течение длинного ряда тысячелетий люди пользовались пламенем для освещения, не прибегая к услугам стекла. Понадобился гений Леонардо да Винчи, чтобы сделать это важное усовершенствование лампы. Но Леонардо окружил пламя не стеклянной, а жестяной трубкой, и прошло еще почти три века, прежде чем додумались до замены жестя-

ной трубы прозрачным стеклянным цилиндром. Как видите, ламповое стекло — довольно солидное изобретение, над которым работали целые поколения.

Каково же назначение лампового стекла?

Едва ли у всех готов правильный ответ на столь простой и естественный вопрос. Защищать пламя от ветра — это лишь второстепенная роль стекла. Главное же действие его в увеличении яркости пламени, в ускорении процесса горения. Роль стекла та же, что и печной трубы: оно усиливает приток воздуха к пламени, усиливает «тягу».

Разберемся в этом поближе. Столб воздуха, находящийся внутри стекла, нагревается гораздо быстрее, нежели воздух, окружающий лампу. Нагревшись и сделавшись поэтому легче, воздух поднимается вверх, а на его место поступает снизу, через отверстия в горелке, ненагретый тяжелый воздух. Таким образом, устанавливается постоянное течение воздуха снизу вверх, течение, непрерывно отводящее продукты горения и приносящее свежий воздух. Чем выше стекло, тем больше разница в весе нагретого и ненагретого столба воздуха — тем энергичнее происходит приток свежего воздуха, а следовательно, ускоряется и горение.

Высокие фабричные трубы играют ту же роль, что и ламповые стекла: благодаря им к топке машины в течение минуты притекает гораздо больше свежего воздуха, нежели при низких трубах.

Отчего пламя не гаснет само собой?

Если вдуматься хорошенько в процесс горения, то невольно возникает вопрос: отчего всякое пламя не гаснет само собой? В самом деле: продуктами горения являются, как известно, углекислый газ и водяной пар — вещества не горючие и не способные поддерживать горения. 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, расширяясь от нагревания, *становятся легче*. Лишь благодаря этому нагретые продукты горения не остаются на месте своего образования, в непосредственном соседстве с пламенем, но немедленно же поднимаются вверх, заменяясь 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. Я уверен, что вы, сами того не подозревая, нередко пользуетесь этим, чтобы загасить огонь в лампе. Вспомните, как вы задуваете керосиновую лампу: вы дуете в нее *сверху*. Вы гоните вниз, к пламени, негорючие продукты его горения, — и оно гаснет, лишенное свободного доступа воздуха.

Недостающая глава в романе Жюль Верна

Жюль Верн подробно поведал нам о том, как проводили время трое смельчаков внутри ядра, мчащегося на Луну. Но он не рассказал о том, как Мишель Ардан исполнял обязанности повара в этой необычайной обстановке. Вероятно, автор романа полагал, чтостряпня внутри летящего ядра не представляет ничего такого, что заслуживало бы описания. Но он ошибся: дело в том, что внутри летящего ядра все предметы *становятся невесомыми*. Жюль Верн упустил это из виду. А согласитесь, чтостряпня в невесомой кухне — сюжет, вполне достойный пера романиста, и надо только пожалеть, что талантливый автор «Путешествия на Луну» не уделил ему своего внимания. Попытаюсь, как умею, восполнить эту недостающую главу в романе, чтобы дать читателю некоторое представление о том, насколько эффектно могла бы вылиться она из-под пера самого Жюль Верна.

При чтении этой главы 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, — заявил Мишель Ардан своим спутникам по межпланетному путешествию. — Из того, что мы потеряли свой вес в этом пушечном ядре, 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 существовавших на свете!

И не дожидаясь ответа товарищей, француз принялся за стряпню. Завтрак решено было начать с бульона из распущенных в теплой воде таблеток Либиха.

— Наша бутылка с водой притворяется пустой, — ворчал про себя Ардан, возясь с раскупоркой большой бутылки. — Не проведешь меня: я ведь знаю, отчего ты такая легкая... Так, пробка вынута. Извольте же, драгоценнейшая, излить в кастрюлю свое невесомое содержимое!

Но сколько ни наклонял он бутылки, оттуда не выливалось ни капли.

— Не трудись, милый Ардан, — явился ему на выручку Николь. — Пойми, что в нашем ядре, где нет тяжести, вода не может *литься*. Ты должен ее *вытолкать* из бутылки, как если бы это был густой, тягучий сироп.

Не долго думая, Ардан ударил ладонью по дну опрокинутой бутылки. Тотчас же у горлышка раздулся совершенно круглый водяной шар, величиной с кулак.

— Что это 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,

* Подробное доказательство приведено в первой книге «Занимательной физики».

что ведь только под влиянием тяжести жидкости принимают форму сосудов, льются в виде струй и т. д. Здесь же тяжести нет, жидкость предоставлена своим внутренним молекулярным силам и должна принять форму шара, как масло в знаменитом опыте Плато.

— Мне нет никакого дела до этого Плато с его опытами! Я должен вскипятить воду для бульона, и, клянусь, никакие молекулярные силы не остановят меня! — запальчиво воскликнул француз.

Он яростно принялся «выколачивать» воду над парящей в воздухе кастрюлей, — но, по-видимому, все было в заговоре против него. Большие водяные шары, достигнув кастрюли, быстро расползались по ее дну. Этим дело не кончалось: вода с внутренних стенок переходила на наружные, растекалась по ним — и вскоре вся кастрюля оказалась окутанной толстым водяным слоем. Кипятить воду в таком виде не было никакой возможности.

— Вот любопытный опыт, доказывающий, как велика сила сцепления, — спокойно объяснял взбешенному Ардану невозмутимый Николь. — Ты не волнуйся: ведь это — обыкновенное смачивание жидкостями твердых тел; только в данном случае тяжесть не мешает развиваться этому явлению с полной силой.

— И очень жаль, что не мешает, — возражал Ардан. — Смачивание ли 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 варить 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 самым тонким слоем жира. Обмажь свою кастрюлю снаружи жиром, и ты удержишь воду внутри нее.

— Bravo! Вот это я называю истинною ученостью, — обрадовался Ардан, приводя совет в исполнение.

— Но должен предупредить тебя, — добавил Барбикен, — что если ты смажешь также и *внутреннюю* часть кастрюли, то вода примет в кастрюле форму большой капли. Боюсь, что в таком виде тебе не удастся довести воду до кипения: вспомни знаменитый опыт с водой в сфероидальном состоянии, когда вода остается жидкой на докрасна раскаленной пластинке.

Но Ардан уже не слушал: он весь был поглощен нагреванием воды на пламени газовой горелки.

Положительно все складывалось против желания Ардана. Газовая горелка — и та загапризничала: погорев полминуты тусклым пламенем, она потухла 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 средств заставить это проклятое пламя гореть так, как ему полагается по законам вашей физики и по уставам газовых компаний? — зывал 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, все они разорились бы, если бы не было тяжести. При горении, как ты знаешь, образуются углекислота, водяной пар — словом, негорючие газы; обыкновенно эти продукты горения не остаются возле самого пламени: как теплые и, следовательно, более легкие, они поднимаются выше, а на место их притекает свежий воздух. Но здесь у нас нет тяжести — поэтому продукты горения остаются на месте своего возникновения, окружают пламя слоем негорючих газов и преграждают доступ свежему воздуху. Оттого-то пламя здесь так тускло 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 ко-

манд: всякий пожар потухал бы сам собой, так сказать, задышался бы в собственном дыхании?

— Совершенно верно. А пока, чтобы помочь горю, зажги еще раз горелку и давай обдувать пламя. Нам, я надеюсь, удастся отогнать облегающие его газы и заставить его гореть «по-земному».

Так и сделали. Ардан снова зажег горелку и опять принялся за стряпню, не без злорадства следя за тем, как Николь с Барбикеном поочередно обдували и изо всех сил обмахивали пламя, чтобы непрерывно удалять от него продукты горения. В глубине души француз считал своих ученых друзей и их науку виновниками «всей этой кутерьмы».

— Вы, господа, — тараторил Ардан, — в некотором роде исполняете обязанности фабричной трубы, поддерживая тягу. Мне очень жаль вас, ученые друзья мои, но если мы хотим иметь горячий завтрак, придется подчиниться велениям законов вашей физики.

Однако прошло четверть часа, полчаса, час, — а вода в кастрюле и не думала закипать.

— Неужели пламя вместе с весом потеряло и свой жар? — удивлялся Ардан. — Я, кажется, никогда не дождусь, чтобы вода закипела.

— Дождешься, милый Ардан, мы с Николем ручаемся за это. Но тебе придется вооружиться терпением. Видишь ли, обыкновенная, в е с о м а я вода нагревается быстро только потому, что в ней происходит перемешивание слоев: нагретые нижние слои, как более легкие, поднимаются вверх; вместо них опускаются холодные верхние — и в результате вся жидкость быстро принимает высокую температуру. Случалось ли тебе когда-нибудь нагревать воду не снизу, а сверху? Тогда перемешивания слоев не происходит, потому что верхние, нагретые слои остаются на месте. Теплопроводность же воды ничтожна, и верхние слои можно даже довести до кипения, в то время как в нижних будут лежать куски нерастаявшего льда. В нашем мире без тяжести безразлично, откуда ни на-

гревать воду: круговорота в кастрюле возникать не может, и вода должна нагреваться очень медленно...

Не легко 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 только можно употребить это выражение там, где не было ни «верха», ни «низа».

Странную картину представлял и самый обед в этом мире, лишенном тяжести. Дружья висели в воздухе в весьма разнообразных позах, не лишенных, впрочем, живописности, и по минутно 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 сферической форме. Ардану понадобилось все искусство жонглера, чтобы вновь поймать и удержать в кастрюле бульон, с таким трудом сваренный.

Попытка пользоваться ложками осталась безрезультатной: бульон смачивал всю ложку до самых пальцев и висел на ней сплошной пеленой. Обмазали ложки жиром, чтобы предупредить смачивание, но и от этого дело не стало лучше: бульон превращался на ложке в шарик, и не было никакой возможности благополучно донести эту невесомую пилюлю до рта.

В конце концов, догадались сделать трубки из восковой бумаги и с помощью их пили бульон, всасывая его в рот.

Таким же образом приходилось нашим друзьям пить воду, вино и вообще всякие жидкости в этом своеобразном мире, лишенном тяжести.

Как тушат огонь при помощи огня

Вы слышали, вероятно, что лучшее, а порою 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 погасают, словно пожрав друг друга.

Описание того, как пользуются этим приемом тушения огня при пожаре американских степей, вы, конечно, читали у Купера в его романе «Прерия». Можно ли забыть тот драматический момент, когда старик-траппер* спас от ужасной смерти путников, застигнутых в степи пожаром? Вот это место из «Прерии»:

«Старик внезапно принял решительный вид.

— Настало время действовать, — проговорил он.

— Вы слишком поздно пришли в себя, жалкий старик! — крикнул Миддлтон. — Огонь в расстоянии четверти мили от нас, и ветер несет его к нам с ужасающей быстротой!

— Вот как! Огонь! Не очень-то я боюсь огня. Ну, молодцы, полно! Приложите-ка руки к этой короткой, 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 трава еще окружала путников высоким, опасным кольцом, и, взяв пригоршню самой сухой травы, положил ее на полку ружья и поджег. Легко воспламеняющееся вещество вспыхнуло сразу. Тогда старик бросил пылавшую траву в вы-

* Траппер — охотник на пушных зверей в Северной Америке. — *Прим. изд.*

сокую 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 быстро сразит огонь.

— Но неужели это не опасно? — воскликнул удивленный Миддлтон. — Не приближаете ли вы к нам врага, вместо того, чтоб отдалить 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 более рискованным, 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. Пользоваться встречным огнем для тушения пожара должен лишь человек очень опытный, иначе бедствие может только усилиться.

Вы поймете, какая сноровка нужна для этого, если зададите себе вопрос: почему огонь, зажженный траппером, побежал по направлению к пожарищу, а не в обратном направлении? Ведь ветер дул со стороны пожарища, гоня огонь прямо на путников. Казалось бы, пожар, причиненный траппером, должен был направиться не навстречу огненному морю, а да-

лее по степи. Если бы так случилось, путники оказались бы окруженными огненным кольцом и неминуемо погибли бы.

В чем же секрет траппера?

В знании простого физического закона. Ветер действительно дул по направлению от горящей степи к путникам, но впереди, вблизи огня должно было существовать обратное течение воздуха, навстречу пламени. В самом

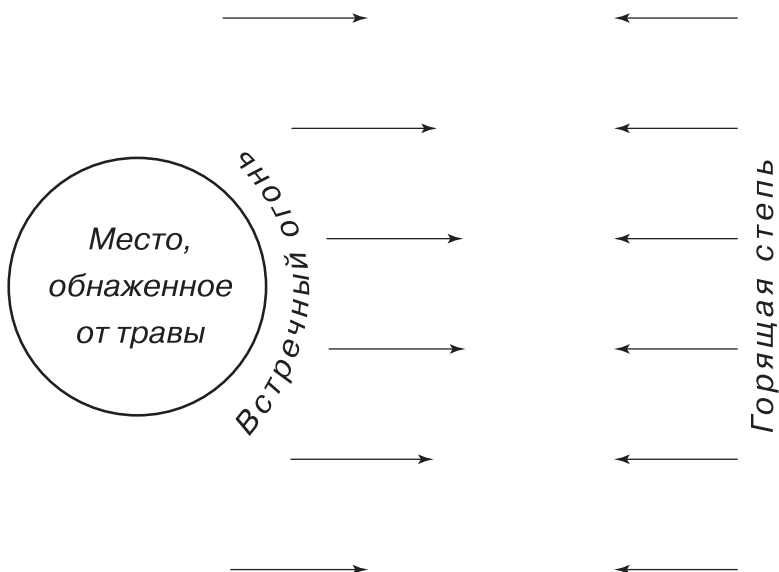


Рис. 73. Тушение степного пожара огнем. (К роману Купера «Прерия».)

деле: воздух, нагреваясь над морем огня, становится легче и поднимается вверх, а вместо него притекает со всех сторон свежий, еще не нагретый воздух со степи, не затронутой пламенем. Вблизи границы огня устанавливается поэтому тяга воздуха навстречу пламени. Зажечь встречный огонь необходимо именно в тот момент, когда пожар приблизится достаточно, чтобы ощутилась тяга воздуха. Вот почему траппер, житель прерий, не спешил приниматься за дело раньше времени, а спокойно ждал нужного момента. Стоило поджечь траву одной секундой ранее, когда еще не установи-

лась встречная тяга — и огонь распространился бы в обратном направлении, сделав положение людей безвыходным. Но и промедление могло быть для них не менее роковым — огонь подошел бы чересчур близко.

Всегда ли кипяток горяч?

Бравый ординарец Бен-Зуф — с которым читатель, без сомнения, давно познакомился по роману Жюль Верна «Гектор Сервадак», — был глубоко 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 офицером Сервадаком, на... комету! Это капризное светило, столкнувшись с Землей, отрезало от нашей планеты как раз тот участок, где находились оба героя, и унесло его 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 для своего барина.

«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, я советую тебе продержат яйца в кипятке четверть часа.

— Но они будут крутые!

— Нет, дружище, они будут еле сварены.

Причиной этого явления было, очевидно, уменьшение высоты атмосферного слоя. 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 имеет место на горах, высота которых достигает 1100 метров. И, если бы у капитана был барометр, он указал бы ему это уменьшение воздушного слоя».

Наблюдение наших героев мы не смеем подвергать сомнению: раз они утверждают, что вода кипела при 66 градусах, мы обязаны принять это как факт. Но весьма сомнительно, чтобы они могли чувствовать себя вполне хорошо в той разреженной атмосфере, в которой они находились.

Автор «Гектора Сервадака» хочет уверить нас, что «подобное же явление имеет место на горах, высота которых достигает 1100 метров». Однако это не так: на высоте 1100 метров вода кипит не при 66°, а при 94°. Чтобы получить кипяток при 66°, надо забраться в десять раз выше, — на целую версту выше самой высокой горы: лишь на высоте 11.000 метров вода кипит при 66°. Давление атмосферы при этом равно 190 миллиметрам ртутного столба — ровно вчетверо меньше нормального. В воздухе, разреженном до такой степени, почти невозможно дышать! Мы знаем, что воздухоплаватели, достигавшие такой высоты, лишались сознания от недостатка воздуха, — а между тем Сервадак и его ординарец чувствуют себя сравнительно сносно... Хорошо, что у Сервадака под рукой не оказалось барометра: иначе Жюлю Верну пришлось бы заставить этот инструмент показывать совсем не ту цифру, которую он должен был показать согласно законам физики (640 мм вместо 190 мм).

Если бы наши герои попали не на воображаемую комету, а, например, на Марс, где атмосферное давление не превышает 60 миллиметров, им пришлось бы пить еще менее горячий ки-

пяток — всего в 44 градуса! Чтобы получить на Марсе стакан настоящего горячего чаю, они должны были бы прибегнуть к услугам Папинова котла*, в котором искусственно поддерживается повышенное давление.

* Папен (Papin) Дени (22.08.1647, Шитне, близ г. Блуа, — 1714, по др. данным, 1712, Лондон) — французский физик, член Лондонского королевского общества (1680). В 1680 Папен сообщил об изобретении им парового котла с предохранительным клапаном (Папинов котёл). — *Прим. изд.*

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

Магнетизм. Электричество

«Любящий камень»

Такое поэтическое название дали китайцы естественному магниту. «Любящий камень» (т ш у - ш и), — говорят китайцы, — притягивает к себе железо, как нежная мать привлекает к себе своих детей». Замечательно, что у французов, — народа, живущего на противоположном конце Старого Света, — мы опять встречаем то же название для магнита: французское слово «*aimant*» означает и «магнит» и «любящий».

Сила этой «любви» у естественных магнитов весьма незначительна, и потому очень наивно звучит греческое название магнита — «Геркулесов камень». Если обитатели древней Эллады так поражались столь умеренной силой притяжения естественного магнита, то что сказали бы они, увидев на современном железоделательном заводе магниты, поднимающие огромные глыбы в 400 пудов весом! Правда, это не

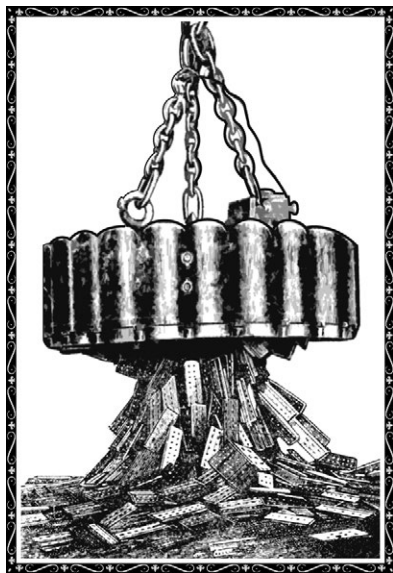


Рис. 74. Электромагнитный подъемный кран, переносящий железные плиты.

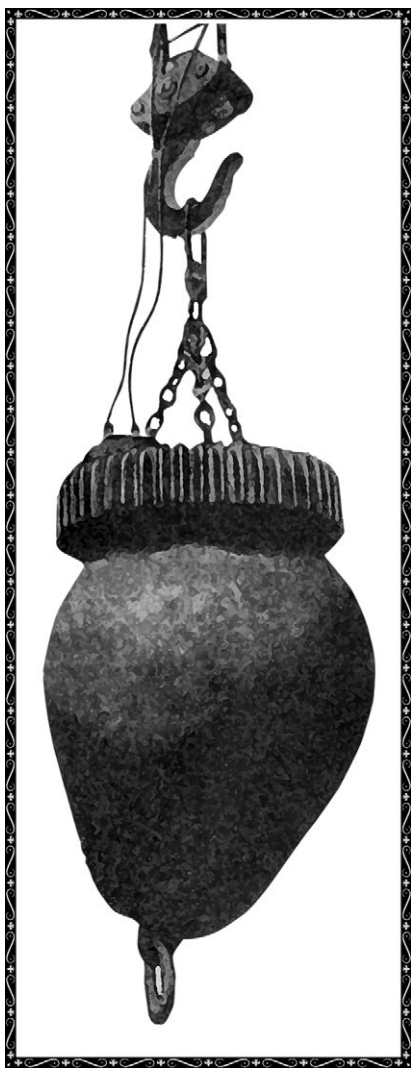


Рис. 75. Железная глыба весом в 400 пудов, удерживаемая электромагнитом.

естественные магниты, а «электромагниты», т. е. железные стержни, намагниченные электрическим током, проходящим по окружающей обмотке. Но здесь действует та же сила природы — магнетизм, которая проявляется и в естественном магните.

Могучие электромагниты оказывают при подъеме и перемещении железных масс неоценимые услуги на сталелитейных и т. п. заводах. Массивные железные глыбы или огромные части машин в сотни пудов весом с удобством переносятся этими магнитными подъемными кранами без помощи цепей. Точно так же переносят они, без всяких ящиков и упаковки, листовое железо, проволоки, гвозди, железные обломки и т. п. материалы, для переноски которых иным способом понадобилось бы немало хлопот.

Еще удобнее было бы переносить при помощи

магнитов раскаленные железные болванки или плиты, — не правда ли, читатель? Но, к сожалению, это невозможно по той простой причине, что раскаленное железо

не намагничивается. Магнит, нагретый до красного каления, навсегда утрачивает свои магнитные свойства. Если вам не жаль 10-тикопеечного магнита, бросьте его в печь, на горячие уголья. Через несколько минут вы вынете из печи уже не магнит, а простое железо.

Наподобие Магометова гроба

Любопытный случай наблюдался однажды при работе с электромагнитным подъемным краном. Один из рабочих заметил, что электромагнит притянул к себе тяжелый железный шар с короткой цепью, которая мешала шару вплотную приблизиться к магниту. Получилась необычайная картина: цепь, торчащая отвесно вверх! Сила магнита оказалась так велика, что цепь сохраняла свое вертикальное положение, даже когда на ней повис рабочий! Оказавшийся поблизости фотограф поспешил запечатлеть на пластинке столь интересный момент, и мы приводим здесь эту

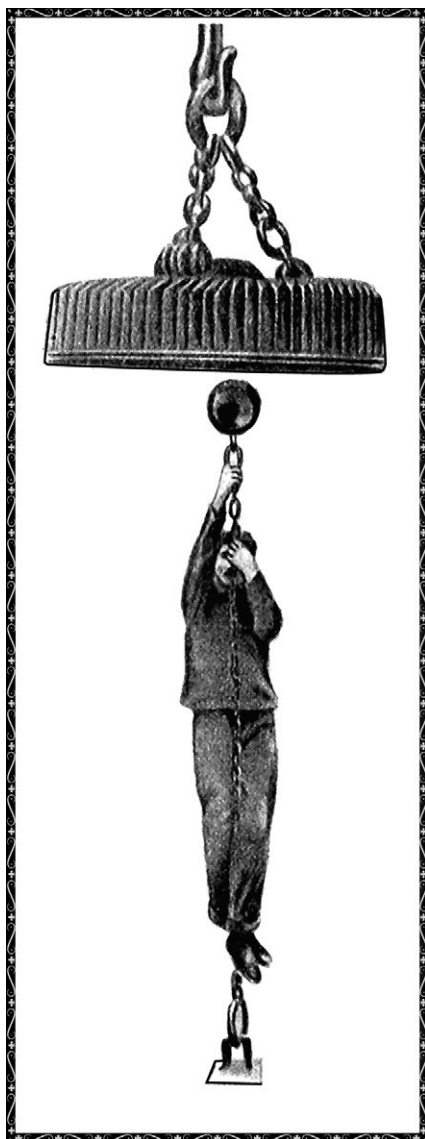


Рис 76. Железная цепь, торчащая вверх.

фотографию человека, висящего в воздухе, наподобие легендарного Магометова гроба.

Кстати, о Магометовом гробе. Правоверные мусульмане убеждены, что гроб с останками великого пророка покоится в воздухе, вися в усыпальнице между полом и потолком без всякой опоры.

Возможно ли это?

Многие воображают, что это вполне возможно, если допустить, что гроб Магомета железный и что в потолке скрыт сильнейший магнит, который и уравнивает силу тяжести. Но такое объяснение несостоятельно; если бы подобное равновесие даже и было достигнуто на один момент, то малейшего толчка, малейшего дуновения воздуха было бы достаточно, чтобы его нарушить, — и тогда гроб либо упал бы на пол, либо притянулся бы к потолку. Удержать его неподвижно при подобных условиях практически так же невозможно, как невозможно поставить конус на его вершину, хотя теоретически последнее вполне допустимо.

Но если подобное равновесие недостижимо для неподвижного тела, то оно вполне мыслимо для движущегося. На этой мысли основан замечательный проект электромагнитной железной дороги без трения, предложенный недавно известным русским физиком, профессором Б. П. Вейнбергом. Если даже этот проект не будет никогда осуществлен, он все же настолько поучителен и остроумен, что познакомиться с ним полезно всякому, интересующемуся физикой.

Движение без трения

В железной дороге, которую предлагает устроить проф. Б. П. Вейнберг, вагоны будут совершенно невесомы; их вес уничтожается электромагнитным притяжением. Вы не удивитесь поэтому, если узнаете, что, согласно проекту, вагоны не катятся по рельсам, не плавают по 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 все это следующим образом. Вагоны должны двигаться внутри широкой трубы, из которой выкачан воздух, чтобы стенки вагонов не терлись об него. Трение о дно уничтожается тем, что вагоны двигаются, не касаясь стенок трубы, поддерживаемые в пустоте силою электромагнитов. С этою 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 в потолок, ибо его влечет вниз сила тяжести; едва он готов коснуться пола, его подхватывает притяжение следующего электромагнита... Так, все время подхватываемый электромагнитами, вагон мчится по волнистой линии, без трения, без толчков, в пустоте, как планета в мировом пространстве (рис. 77).

Что же представляют собой сами вагоны? Это — сигарообразные цилиндры, высотой немногим больше человеческого роста, длиной около двух саженей. 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 ослабляется — они мчатся по инерции, пока их не задержит соленоид станции назначения.

Скорость движения вагонов теоретически может быть как угодно велика — тысяча или хоть десять тысяч верст в час. Изобретатель остановился пока на сравнительно скромной цифре около 720 верст. Но и такая скорость перенесет нас из Петрограда в Москву в 45 минут, а в 10—11 часов промчит поперек всего Старого Света, от Финляндии до Великого океана.

Проект профессора Б. П. Вейнберга, как мы его описали, представлен в его наиболее совершенном виде. Но он может быть осуществлен и в упрощенном виде,

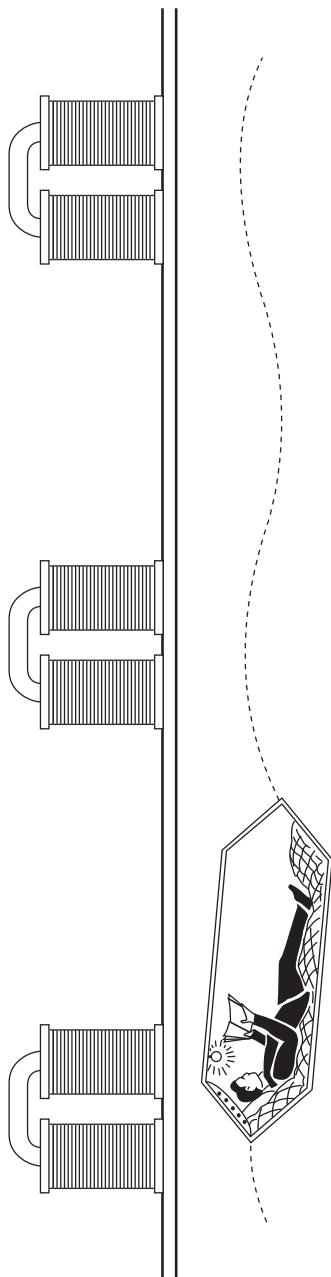


Рис. 77. Экипаж, движущийся без трения. — Проект профессора Б. П. Вейнберга.
(Пунктиром обозначен путь вагона.)

не утрачивая при этом существенных выгод. Мы можем, например, поступиться требованием абсолютной пустоты и заставить вагоны двигаться в воздушной среде. Это значительно удешевит путь, не слишком уменьшив проектированную скорость передвижения. Мы можем, далее, усилив электромагниты, заставить вагоны катиться по потолку трубы, причем трение уменьшится до крайности; можем также, наоборот, ослабив магниты, заставить облегченные вагоны мчаться по дну трубы с самым ничтожным трением. Конечно, мы не получим тогда полностью всех выгод проекта, но значительную часть их мы все же получим.

Сражение марсиан с землянами

Естествоиспытатель древнего Рима, Плиний, передает пространенный 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 к этой скале на своем корабле. 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 — например, гора Благодать у нас на Урале, — но сила притяжения их чрезвычайно мала, почти ничтожна. А таких гор или скал, о каких писал Плиний, на земном шаре никогда не существовало.

Научный романист Курт Лассвиц воспользовался, однако, идеей этой легенды, чтобы придумать грозное военное оружие, к которому прибегают в его романе «На двух планетах» 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 землянами:

«С оглушительным криком «ура» блестящие ряды всадников неудержимо ринулись вперед. Это было потрясающее мгновение! Леденящий ужас охватил всех, кто был случайным зрителем этого происшествия. И казалось, будто самоотверженная решимость войска понудила, наконец, могущественного неприятеля (т. е. марсиан) к уступке, так как между его воздушными кораблями возникло какое-то новое движение. Они поднялись на воздух, словно собираясь уступить дорогу. Одновременно с этим, однако, сверху опустилась какая-то темная, широко раскинувшаяся масса, теперь только появившаяся над полем. Подобно широко развивающемуся покрывалу, масса эта, со всех сторон окруженная воздушными кораблями, быстро развернулась над полем. Вот, наконец, первый ряд всадников попал в район ее действия — и тотчас же вслед за этим странная машина распростерлась над всем полком. Действие, произведенное ею, было так неожиданно и так чудовищно, что, двинувшаяся навстречу полку, толпа принцев и генералов остановилась, как вкопанная. С поля донесся пронзительный вопль ужаса. Ни один конь не удержался на ногах, лошади и всадники каким-то чудовищным спутанным клубком валялись на земле, а воздух был наполнен густою тучею копий, сабель и карабинов, с громом и треском летевшей вверх к притягивающей их машине, к которой они и пристали. Машина скользнула немного в сторону и сбросила свою железную жатву на землю. Еще два раза возвращалась машина и словно скосила все находящееся на поле оружие. Не нашлось ни одной руки, которая оказалась бы в силах удержать саблю или копье; а в тех случаях, когда всадник не выпускал оружия, машина поднимала на воздух и его самого вместе с лошадыю. Лошадиные подковы тоже были унесены на воздух, и вследствие этого все лошади попадали наземь.

Машина эта была новым могущественным изобретением марсиан: это был снаряд для обезоруживания людей, с непреодолимою силою притягивавший к себе все, выделанное из железа и стали. Это было магнитное поле колоссальной силы

и громадного протяжения. С помощью этого витающего в воздухе магнита марсиане вырывали из рук своих противников оружие, не причиняя им никакого вреда, кроме некоторых неизбежных при этом ушибов.

В то время как конница пыталась хоть сколько-нибудь оправиться и прийти в порядок, воздушный магнит понесся уже далее и приблизился к пехоте. Тщетно солдаты напрягали все свои силы, тщетно старались обеими руками удерживать свои ружья, — непреодолимая сила вырвала их из рук, а многие, все-таки не выпускавшие их, сами были увлечены на воздух, чтобы затем тяжело рухнуть на землю. В несколько минут первый гвардейский полк был обезоружен. Машина понеслась далее вдогонку за марширующими в городе полками, готовя для них ту же участь. Самое сильное войско должно было в короткое время сделаться совершенно неспособным к борьбе. Подобная же судьба постигла и артиллерийские орудия».

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, но веществом, непроницаемым для магнитных сил, является... железо, — то самое железо, которое так легко намагничивается! Внутри кольца из железа стрелка компаса не отклоняется магнитом, помещенным вне кольца.

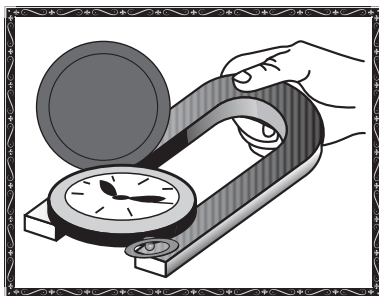


Рис. 78. Опасный опыт с часами.

Железным футляром можно защитить от действия магнитных сил стальной механизм карманных часов. Если вы положите золотые часы на полюсы сильного подковообразного магнита, то все стальные части механизма намагнитятся, и часы остановятся. Удалив магнит, вы не вернете часы к прежнему состоянию: стальные части механизма останутся все же намагниченными, и часы потребуют самой радикальной починки, замены многих частей механизма новыми. Поэтому с золотыми часами лучше не делать подобного опыта — он обойдется чересчур дорого.

Но 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 открытым полюсам сильнейшей динамо — верность их хода не пострадает ни в малейшей степени. Для электротехников такие дешевые железные часы являются идеальнейшими, тогда как золотые или серебряные скоро приходят в негодность от постоянной близости электромагнитов.

Магнитный вечный двигатель

В истории попыток изобрести «вечный двигатель» магнит сыграл не последнюю роль. Неудачники-изобретатели старались на разные лады использовать магнит, чтобы устроить механизм, который вечно двигался бы сам собой. Вот один из проектов подобного «механизма», предложенный в XVII веке неким Джоном Вилькенсом, епископом в Честере, много занимавшимся неразрешимой проблемой «вечного двигателя».

На колонке помещается намагниченный железный шар *A*. К ней же прислонены два наклонных желоба, один под другим, причем верхний имеет небольшое отверстие в верхней части, а нижний изогнут. Если, — рассуждал изобретатель, — на верхний желоб положить небольшой железный шарик *B*, то вследствие притяжения магнита *A* шарик покатится вверх; однако, дойдя до отверстия, он провалится в нижний желоб, покатится по нему вниз, избежит по закруглению этого жело-

ба и попадет на верхний желоб; отсюда он, притягиваемый магнитом, снова покатится вверх, снова провалится через отверстие, снова покатится вниз и опять очутится на верхнем желобе, чтобы начать движение сызнова. Таким образом, шарик безостановочно будет бегать взад и вперед, осуществляя «вечное движение».

В чем абсурдность этого «изобретения»?

Указать его не трудно, и епископ, вероятно, сам заметил бы свой промах, если бы попытался осуществить изобретение на деле. Но и простым рассуждением можно доказать нелепость этого «вечного двигателя». В самом деле: если намагниченный шар на колонке в состоянии притянуть к себе шарик с конца желоба, то он тем более в состоянии будет воспрепятствовать его падению через отверстие; и наоборот, если намагниченный шар не в состоянии противодействовать падению шарика в близлежащее отверстие, то и подавно не в состоянии будет притянуть его к себе издалека. «Вечного движения» здесь, очевидно, быть не может.

Как ни очевидна нелепость подобного проекта, он впоследствии много раз вновь всплывал во всевозможных видоизменениях. И любопытно, что один из подобного рода проектов

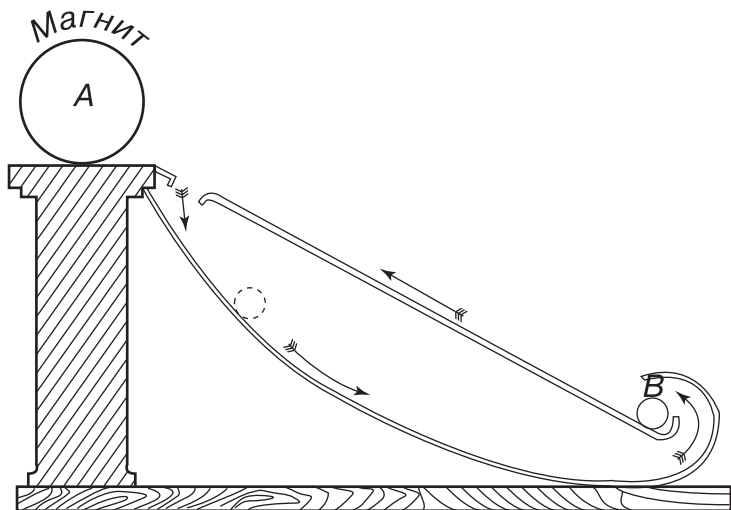


Рис. 79. Воображаемый «вечный двигатель» епископа Вилькенса.

был даже, говорят, патентован в Германии в 1878 году, т. е. тридцать лет спустя после провозглашения Робертом Мейером закона сохранения энергии! Хитроумный изобретатель так усложнил и 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 все же было патентовано. Оно состояло в том, что под действием притяжения целого ряда магнитов приводился в «безостановочное» качание маятник, который и двигал весь механизм... 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 силу.

Еще одна заманчивая надежда

Вот еще одна идея магнитного вечного двигателя, высказанная совсем недавно (в 1912 г.) русским инженером В. В. Рюминым—Старшим. Автор идеи опубликовал ее в форме небольшого рассказа («Судьба Русского Богатыря»), который приведен здесь в отрывках.

Изобретатель — он назван в рассказе Петровым — так объяснял своим друзьям сущность задуманного им двигателя:

«Я хочу рассказать, как я пришел к постройке моего дарового источника энергии. Я заведовал электрической станцией завода. Шесть тысяч сил паровых двигателей я обращал в ток и посылал его по своему громадному заводу, где он и светил, и плавил, и двигал машины. Раз как-то заупрямилась у меня небольшая динамо. Возился я с ней долго и наконец нашел причину ее каприза. При ремонте мой монтер взял не тот материал, который обычно шел на дело, и машина по временам переставала работать оттого, что пропадало магнитное поле, несмотря на вращение машины. Я нашел материал, непрозрачный для магнетизма! До сих пор магнит действовал на

железо, несмотря ни на какие преграды, а я нашел вещество, не пропускающее магнитных сил.

Теперь смотрите на мою модель. Два сильных магнита, — все равно, электромагниты или постоянные, естественные или стальные, — помещены друг против друга. Железный якорь, без всякой обмотки, в форме спиц колеса вращается между ними. Но когда я его заставляю вращаться, он непременно остановится от притяжения его магнитом. Притяжение заставляет его вращаться к магнитам, но оно же и останавливает его. А теперь — смотрите: когда спица начала двигаться к магниту, я между полюсом и концом спицы ставлю мою ширмочку. Магнит дал толчок, но когда спица притянулась к нему, он уже ее не задерживает, и она проходит мимо; убираю ширмочку — и следующая спица подтягивается; опять ширма — и так без конца».

Такова идея вечного двигателя. Через некоторое время изобретатель соорудил будто бы настоящую вечно-движущуюся машину, получившую название Русского Богатыря.

«Прошло около полугода — и петербуржцы были взволнованы газетными заметками о появившейся на Неве лодке с двигателем, не требующим ни бензина, ни зарядки аккумуляторов, а между тем свободно развивающего до 10 сил.

Затем с таким же двигателем показался на улицах города автомобиль; полетел и аэроплан»...

Автор рассказа в радужных красках рисует нам будущность проектируемого им двигателя.

«Значение такого двигателя поистине громадно. Раз сделанная затрата на его приобретение обеспечивала для владельца почти даровое получение механической энергии, а, стало быть, — и всех видов энергии: света, тепла, электричества. Паровые машины упразднились, морские суда получали возможность плавать бесконечно долго. Добыча каменного угля как источника энергии становилась ненужной, и уголь шел только для получения из него химических продуктов. Земледелие получало такую дешевую силу, что можно было

орошать поля из самых дальних рек и озер. Передвижение и транспорт грузов удешевлялся до невероятия.

Словом, не было стороны жизни, которую не затронуло бы широкое распространение нового двигателя.

Петрова забросали предложениями. Составилась солидная компания для постройки двигателей. Но в самый разгар устройства завода Петров заболел тифом. Сначала это не вызвало никаких затруднений, но материал ширм был известен только больному, скоро впавшему в бред и затем умершему.

Блестящие надежды отдельных лиц и всего человечества сразу разбились. Остался только верный путь к решению задачи».

Еще одно разочарование

Вечный двигатель, с идеей которого мы только что познакомились, по-видимому, не похож на ребяческие выдумки прежних искателей магнитного «perpetuum mobile». Между этим проектом и, например, двигателем честерского епископа огромная разница. Там ошибка сразу бросается в глаза, а здесь весь ход рассуждения как-будто правилен. Найдите только вещество, абсолютно непроницаемое для магнитных сил — и многовековая проблема вечного двигателя будет разрешена вами.

Так ли это? Действительно ли указанным путем может быть разрешена задача изобретения вечного двигателя, а следовательно, упраздняется и закон сохранения энергии? Ведь здесь перед нами не только «даровой» двигатель, использующий неистощимые запасы разлитой в природе энергии, а настоящий «вечный двигатель», творящий энергию из ничего! Может ли это быть?

А если нет, то в чем же ошибка?

Ошибка кроется в предположении, будто бы для перемещения непроницаемой ширмы не потребуется никакой силы, будто работа, затрачиваемая на движение ширмы взад и вперед, ничтожна в сравнении с работой, развиваемой двигателем. А между тем здесь-то именно и кроется вся ошибка в ходе мыс-

лей изобретателя! Впрочем, непроницаемую для магнетизма «ширму» нет вовсе нужды искать и изобретать — мы уже говорили о том, что мягкое железо почти не пропускает сквозь себя магнитных сил и может с успехом служить такой ширмой. Попробуйте, однако, двигать железную пластинку взад и вперед близ полюса сильного магнита, — вы убедитесь, что это вовсе не делается без затраты энергии! Если бы мы, пользуясь такой железной «ширмой», соорудили двигатель типа фантастического «Русского Богатыря», то должны были бы тратить на движение ширмы ровно столько же работы, сколько получали бы от самой машины. Никакого выигрыша сил не получалось бы. Так будет и с «ширмами» из всякого другого вещества, — если таковое удастся когда-нибудь найти. Ведь роль ширмы состоит не в том, что она уничтожает силу, а в том, что она целиком принимает действие силы на себя, не пропуская ее далее; а при этом условии передвижение ширмы требует такой затраты энергии, которая в точности должна равняться ее выигрышу в другой части машины.

Вы видите, что этот путь разрешения задачи «вечного двигателя» столь же обманчив, как и всякие другие фантастические способы добывать энергию без затрат ее в какой-либо другой форме.

Почти вечное движение

Для строгого математика выражение «почти вечное» не представляет ничего заманчивого. Движение может быть либо вечным, либо не вечным; «почти вечное» значит, в сущности, *«не вечное»*. Но для практической жизни это не так. В Новой Зеландии, говорят, никто по закону не может купить участка земли в вечное владение, а только в аренду на 999 лет, после чего земля становится собственностью государства. Но разве «арендатор» такого участка не считает его своей *вечной* собственностью?

Многие, вероятно, были бы вполне удовлетворены, если бы получили в свое распоряжение не совсем вечный двига-

тель, а «почти вечный», способный двигаться хотя бы, например, тысячу лет. Жизнь человека коротка, и тысячелетие для нас все равно что вечность. Люди практического склада наверное сочли бы, что проблема вечного двигателя решена и больше не над чем ломать голову.

Таких людей я могу обрадовать сообщением, что 1000-летний двигатель уже изобретен и всякий может, при известной затрате средств, иметь у себя маленькое подобие вечного движения. Патент на это изобретение никем не взят, и секрета он никакого не представляет.

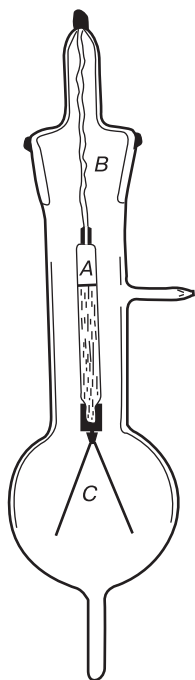


Рис. 80. Радиевые часы «с заводом» на 1000 лет.

Устройство этого прибора, придуманного профессором Стреттом и обычно называемого «радиевыми часами», весьма несложно. Внутри стеклянной банки, из которой выкачан воздух, подвешена на кварцевой нити *B* (непроводящей 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, называемые α , β и γ . В данном случае важнейшую роль играют легко проходящие через стекло β -лучи, которые состоят из огромного множества отрицательно назлектризованных 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 холодные листочки и заставляет их раздвигаться. Раздвинувшись, листочки прикасаются к стенкам трубки, теряют здесь свой заряд (в соответствующих местах стенок приклеены полоски фольги, по которым электричество уходит) и вновь смыкаются. Вскоре накапливается новый заряд, листочки вновь расхо-

дятся, опять отдают заряд стенкам и смыкаются, чтобы снова 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.

А долго ли радий испускает свои лучи? Нам известен срок, в течение которого истощается способность радия высылать лучи: срок этот равен приблизительно 3000 годам. Но уже через 1500 лет эта способность радия ослабнет вдвое. Поэтому радиевые часы будут идти безостановочно не менее 1000 лет, лишь постепенно замедляя свои колебания вследствие ослабления электрического заряда. Если бы во времена Рюрика устроены были такие радиевые часы, то они действовали бы еще и в наше время!

Можно ли использовать этот «почти вечный 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 в десятки тысяч раз дороже золота, то согласимся, что вечный двигатель подобного рода оказался бы чересчур разорительным. Это не лишает «радиевые часы» права считаться наибольшим приближением к вечному движению, какое только было придумано до сих пор.

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 сразу застывшей. Лошади останавливаются в напряженных позах, держа ноги в воздухе; экипажи — также неподвижны; отчетливо видна каждая спица колеса...

Причина этой кажущейся неподвижности заключается в невообразимо ничтожной продолжительности молнии. Молния, как и всякая электрическая искра, длится чрезвычайно малый промежуток времени — настолько малый, что его даже нельзя измерить нашими обычными средствами. При помощи косвенных приемов удалось, однако, установить, что молния



Рис. 81. Фотографический снимок молнии.

длится всего несколько миллионных долей секунды! За столь ничтожный промежуток времени ничто не успевает переместиться заметным для глаза образом. Неудивительно поэтому, что улица, полная разнообразных движений, представляется нам при свете молнии совершенно неподвижной: ведь мы наблюдаем ее менее одной стотысячной доли секунды! Каждая спица в колесах быстро мчащегося автомобиля успевает переместиться лишь на ничтожную долю миллиметра; а для глаза это все равно что полная неподвижность.

Сколько стóбит молния?

В наши дни, когда электрическая энергия превратилась в товар, который отмеряют 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. Напряжение электрического тока при грозовом разряде определяется в 50 миллионов вольт. Сила тока исчисляется в 10.000 ампер. Мы знаем, что работа тока в ваттах определяется произведением напряжения и силы; перемножив 50 миллионов на 10.000, получаем для молнии расход энергии в 500.000.000.000 ватт.

Видя такое огромное число, вы, конечно, ожидаете, что денежная «стоимость» молнии определится колоссальной цифрой.

На самом деле, однако, стоимость оказывается поистине мизерной для столь грозного явления природы. Зависит это от невообразимо-ничтожной продолжительности молнии. Общества электрического освещения исчисляют стоимость энергии по числу ватт-часов, т. е. для расчета умножают число ватт на число часов горения ламп; за тысячу ватт-часов берут в Петрограде, например, 32 коп. Сделаем же подобное вычисление для молнии, продолжительность которой не более $\frac{1}{500.000}$ секунды. Мы получим для стоимости грозового разряда:

$$\frac{500.000.000.000 \times 32}{500.000 \times 1.000 \times 60 \times 60} = \text{около } 10 \text{ коп.}!$$

Вот поистине поразительный результат, которого едва ли кто-либо мог ожидать: стоимость молнии, по таксе современных электрических компаний, не превышает гривенника! За каких-нибудь 2—3 рубля можно было бы устроить самую эффектную грозу... разумеется, если бы только мы могли располагать динамо-машиной в 50 миллионов вольт. Это очень существенное «если».

Электрический фонтан

Устроить дома небольшой фонтан очень легко из обыкновенной каучуковой трубки, один конец которой погружают в ведро, поставленное на возвышении, или надевают на водопроводный кран. Выпускное отверстие трубки должно быть очень мало для того, чтобы фонтан разбивался тонкими струй-

ками; всего проще достигнуть этого, вставив в свободный конец трубки кусочек карандаша, из которого выдавлен графит. Для удобства обращения с фонтаном этот свободный конец укрепляют в перевернутой воронке, как показано на рис. 82.

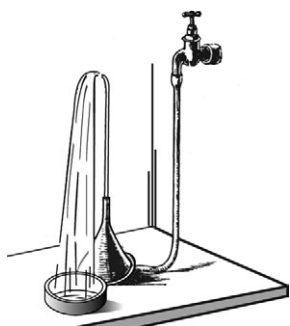


Рис. 82. Грозовой ливень в миниатюре.

Пустив такой фонтан, высотой в аршин или немного менее, и направив струю вертикально вверх, приблизьте к нему натертую сукном палочку сургуча или каучуковый гребень. Вы тотчас увидите довольно неожиданную вещь: отдельные струйки ниспадающей части фонтана сливаются в одну сплошную струю, которая с заметным шумом ударяет о дно подставленной тарелки. Шум этот напоминает характер-

ный шум грозового ливня. 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 своим волшебным жезлом.

Объяснение столь неожиданного действия электрического заряда на фонтан довольно сложно. Оно основано на том, что наэлектризованная жидкость стремится увеличить свою поверхность. Легко заметить это, если наэлектризовать мыльный пузырь: он при этом немного раздувается, т. е. общая поверхность его пленки увеличивается. Следствием же является уменьшение того, что физики называют «поверхностным натяжением» жидкости.

Теперь вам понятно будет приведенное далее объяснение «электрического фонтана», которое заимствовано из курса электричества профессора Густава Ми, выдающегося современного физика:

«Рассматривая водяную струю, выходящую из маленького отверстия (фонтан), мы можем заметить, что она начинается в виде длинного, гладкого цилиндрического водяного столба,

который на некоторой высоте сначала становится негладким (появляются перехваты), а затем распадается на капли. Причиной, вызывающей образование перехватов и раздробление на капли, является поверхностное натяжение. Если осторожно приблизим к водяной струе натертую эбонитовую палочку, то струя в силу индукции заряжается; под влиянием заряда поверхностное натяжение ее уменьшается. Водяной столб при этом становится сплошным на гораздо большем протяжении, чем раньше, и распадается позже, когда перехваты струи становятся особенно сильными, на небольшое число сравнительно крупных капель».

Действие электричества на водяную струю вы можете обнаружить и проще: достаточно приблизить проведенный по волосам каучуковый гребень к тонкой струе воды, вытекающей из водопроводного крана: струя становится сплошной и заметно искривляется по направлению к гребню, резко отклонившись в сторону (рис. 83).

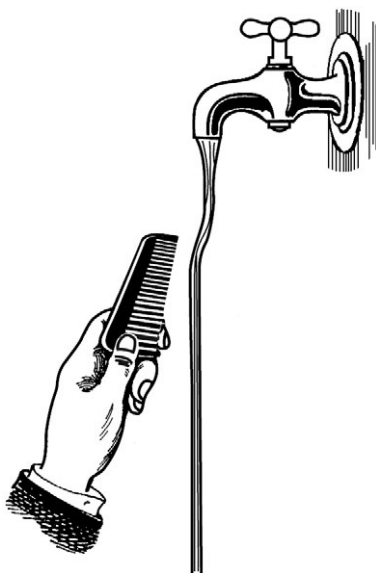


Рис. 83. Струя воды отклоняется под действием наэлектризованного гребня.

Волшебные струи

Опыт с фонтаном можно несколько видоизменить, обставив его следующим образом:

На горлышки двух обыкновенных бутылок насаживают каучуковые колпачки с небольшими отверстиями, наполняют бутылки чистой, профильтрованной водой и наклоняют так, чтобы выходящие из них струи сталкивались под острым углом. При этом струи не только не соединяются, как можно

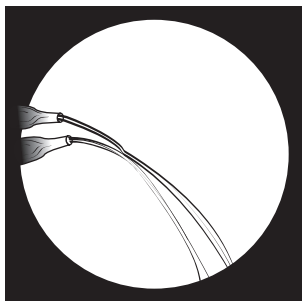


Рис. 84. Разъединенные струи воды.

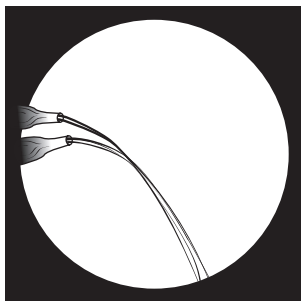


Рис. 85. Слияние наэлектризованных струй.

было ожидать, а напротив — отталкиваются друг от друга. Но стоит только на некотором расстоянии поместить натертый сургуч, чтобы обе струи сразу же слились.

Для получения столь заметного эффекта достаточно самого слабого заряда электричества. Чувствительность струи поразительна: она отвечает на приближение сургучной палочки даже тогда, когда на ней сохраняются ничтожные следы электричества. Отсюда следует, между прочим, что водяной струей можно пользоваться в качестве электроскопа.

Любопытен отзыв об этих опытах современного английского физика Бойса:

«Они до такой степени необычайны, что неосторожный человек, который решился бы показать их несколько сот лет тому назад, подвергся бы самой сильной опасности быть сожженным на костре».



ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

Свет и зрение

Невидимый человек

Вы помните, конечно, «шапку-невидимку» наших народных сказок, которая обладала свойством делать человека, надевшего ее, совершенно невидимым. Наука открыла рентгеновы лучи, с помощью которых мы словно видим сквозь непрозрачные тела; техника изобрела «ковер-самолет» — аэроплан — и много других поистине сказочных вещей. Но «шапка-невидимка» еще никем не изобретена.

Мыслимо ли изобрести что-либо подобное? Не находится ли это в противоречии с законами природы?

В романе «Невидимый» английский писатель Уэллс хочет убедить нас, что возможность стать невидимым вполне осуществима. Его герой (автор романа представляет нам его, как «самого гениального физика, какого когда-либо видел мир») открыл способ делать человеческое тело невидимым, и вот как излагает он знакомому врачу основания своего фантастического 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 остальные простые лучи. Если бы ящик не поглощал никакой доли света, а отражал бы 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. Стекланный ящик блеснул бы меньше, был бы не так отчетливо виден, как бриллиантовый, потому что в нем было бы меньше отражений и меньше преломлений. Понимаете? С известных точек вы ясно видели бы сквозь него. Некоторые сорта стекла были бы больше видимы, чем другие: хрустальный ящик блеснул

бы сильнее ящика из обыкновенного оконного стекла. Ящик из очень тонкого обыкновенного стекла при дурном освещении даже трудно было бы различить, потому что он не поглощал бы почти никаких лучей, а отражение и преломление были бы также очень слабы. 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 и вообще не подвергается почти никакому воздействию. Стекло становится столь же невидимыми, как струя углекислоты или водорода в воздухе, — и по той же самой причине.

— Да, — сказал Кемп, — все это очень просто и в наше время известно всякому школьнику.

— А вот и еще факт, также известный всякому 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 куска стекла только две грани; а в порошке свет отражается и преломляется каждой пылинкой, через которую проходит, — и сквозь порошок его проникает очень мало.

Но если белое толченное стекло положить в воду, — оно сразу исчезает. Толченное 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 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 говорить врач, естественник! Как все забывается, боже мой! Неужели за десять лет вы успели совсем забыть физику? Бумага, например, состоит из прозрачных волоконцев; она бела и непроницаема только потому, почему бел и непроницаем стеклянный порошок. Намажьте 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 ваты, волокна полотна, волокна шерсти, волокна дерева, кости, мясо, 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 немного делает нас видимыми друг другу! По большей части фибры живого человека не менее прозрачны, чем вода».

Основываясь на этом, герой романа открыл способ делать прозрачными все ткани человеческого организма и даже его красящие вещества (пигменты). Он с успехом применил свое открытие к собственному телу. Опыт удался блестяще — изобретатель стал совершенно невидим!

О дальнейшей судьбе этого невидимого человека мы сейчас узнаем.

Могущество невидимого

Автор романа «Невидимый» с необыкновенным остроумием и последовательностью доказывает, что человек, сделавшись прозрачным и невидимым, приобретает, благодаря этому, почти безграничное могущество. Такой человек 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 в и д и м ы м людям неизбежную тяжкую карю, невидимый человек держит в страхе и 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 уstraшенному населению своего города с приказами такого, например, содержания:

«Город отныне уже не под властью королевы! Скажите это вашему полковнику, полиции и всем: он под моею 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 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 удастся запуганному населению справиться с невидимым врагом, мечтавшим сделаться его властелином.

В романе все предусмотрено и обдумано автором с такою тщательностью, что невольно поддаешься безупречной 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 «Невидимого». Это вопрос о том —

Может ли невидимый видеть?

Если бы Уэллс задал себе этот вопрос, прежде чем написать свой роман, изумительная история «Невидимого» никогда не была бы написана...

В самом деле: здесь разрушается вся иллюзия могущества невидимого человека. *Невидимый должен быть слеп!*

Непреложные законы оптики учат, что иначе и быть не может. Отчего герой романа невидим? Оттого, что все части его тела — в том числе и глаза — сделались прозрачными, и показатель их преломления равен показателю преломления воздуха.

Вспомним, в чем состоит роль глаза: его хрусталик, стекловидная влага и другие части преломляют лучи света так, что на сетчатой оболочке получается изображение внешних

предметов. Но если преломляемость глаза и воздуха совершенно одинаковы, то тем самым устраняется единственная причина, вызывающая преломление: переходя из одной среды в другую, *равной преломляемости*, лучи света не меняют своего направления, а потому не могут и собираться в одну точку. Световые лучи должны проходить через глаза невидимого человека совершенно беспрепятственно, не преломляясь и не задерживаясь в них (в виду отсутствия пигмента), — следовательно, они не могут вызывать в его сознании никакого образа.

Итак, *невидимый человек сам ничего не может видеть!* Все его преимущества оказываются для него бесполезными. Вместо могущественнейшего из смертных, герой Уэллса превратился бы в беспомощного калеку, который даже не смог бы собирать милостыни, потому что никто бы его не заметил...

Человеческий глаз под водой

Вообразите, что вам дана возможность оставаться под водой сколько угодно времени и что вы можете при этом держать глаза открытыми. Могли ли бы вы видеть что-нибудь при таких условиях?

Вопрос кажется странным: ведь вода прозрачна, и, следовательно, казалось бы, ничто не может мешать нам видеть под водой так же хорошо, как и в воздухе. Однако это неверно.

Вспомните о слепоте «невидимого человека»! Он ведь тоже находится в прозрачной среде — и все-таки не в состоянии видеть, потому что показатели преломления его хрусталика и воздуха одинаковы. Под водой мы находимся приблизительно в тех же условиях, как и Уэллсов «невидимый человек» в воздухе. Обратимся к цифрам: дело станет яснее. Показатель преломления воды = 1,34. А каковы показатели преломления прозрачных средин человеческого глаза? Вот они:

Роговой оболочки и стекловидного тела	1,34
Хрусталика	1,43
Водянистой влаги	1,34

Вы видите, что преломляющая способность хрусталика всего на $\frac{1}{10}$ сильнее, чем у воды, а у остальных частей нашего глаза она *одинакова* с преломляемостью воды. Поэтому под водой в глазу человека фокус лучей получается далеко позади сетчатой оболочки, и, следовательно, на самой сетчатке изображение должно вырисовываться настолько смутно, что различить что-либо почти невозможно. Можно отличить только свет от темноты.

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 мир предстанет пред вами в неясных, туманных образах.

А может ли человек под водой помочь своему зрению, пользуясь сильно преломляющими стеклами?

Может, — но обыкновенные стекла, употребляемые для очков, мало пригодны здесь: показатель преломления простого стекла 1,4 — т. е. лишь весьма немногим больше, чем у воды (1,34); такие очки будут очень слабо преломлять под водой. Нужны стекла особого сорта, отличающиеся чрезвычайно сильной преломляемостью (так называемый «тяжелый флинтглас» имеет показатель преломления почти равный 2-м). С такими очками мы могли бы, пожалуй, более или менее отчетливо видеть кое-что под водой.

Для вас теперь, вероятно, станет вполне понятным, почему у рыб хрусталик имеет чрезвычайно выпуклую форму (он шарообразен) 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 костюмах, видеть что-либо под водой, если наши глаза в воде почти не преломляют лучей света? Ведь водолазные шлемы всегда снабжаются плоскими, а не вы-

пуклыми стеклами... Далее, — как могли пассажиры жюльверного «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 водолажном же шлеме или в каюте подводной лодки наш глаз *отделен от воды слоем воздуха* (и стекла). Это 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 *плоское* стекло под прямым углом, лучи выходят из стекла, не меняя направления; но далее, при переходе из воздуха в глаз, лучи, конечно, преломляются — и глаз наш при этих условиях действует совершенно так же, как и на суше. В этом и кроется разгадка смутившего нас противоречия.

Новые Робинзоны

Без сомнения, вы читали, как герои романа Жюль Верна «Таинственный остров», заброшенные на необитаемую землю, добыли огонь без спичек и огнива. Робинзону явилась на помощь молния, зажегшая дерево, — новым же Робинсонам Жюль Верна помогла находчивость инженера Смита и твердое знание им законов оптики. Он нашел простой и верный способ добыть огонь почти непосредственно от солнца. 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 до того был изумлен, что даже позабыл спросить инженера, каким путем он заставил работать солнце.

— Значит, у вас было зажигательное стекло, мистер Смит? — спросил 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, предварительно наполнив водою, — и таким образом получилась настоящая зажигательная чечевица*, с помощью которой, сосредоточив солнечные лучи на сухом мхе, инженер добыл огонь».

Я думаю, читатель пожелает узнать, зачем заполнять водою пространство между часовыми стеклами: разве пустая (т. е. наполненная воздухом) двояковыпуклая чечевица не есть зажигательное стекло?

В том-то и дело, что нет. Обыкновенное часовое стекло ограничено двумя параллельными (вернее — концентрическими) поверхностями — наружной и внутренней; а мы знаем из физики, что луч света, проходя через среду, ограниченную параллельными поверхностями, не изменяет своего направления. Проходя затем через второе часовое стекло, лучи опять-таки не уклоняются от первоначального направления и, следовательно, не собираются в фокусе. Необходимо, значит, заполнить пространство между стеклами каким-нибудь прозрачным веществом — безразлично каким, только бы оно сильнее преломляло лучи, нежели воздух. Так и поступил жюль-верновский инженер.

Обыкновенный графин с водой, если он 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. Огромные бутылки с водой, которые, по старинному обычаю, украшают обыкновенно витрины аптек, бывали иногда причиной настоящих катастроф, вызывая взрыв легковоспламеняющихся веществ.

Впрочем, в последнее время, ради предосторожности, в аптечных витринах стали помещать сосуды иной формы —

* Чечевица (физ.) — оптическое стекло, то же, что и линза. — *Прим. изд.*

плоские и при том с граненым узором; такой сосуд не собирает солнечных лучей в одну точку и потому безопасен в пожарном отношении.

Необыкновенная причина пожара

Как неожиданны и странны бывают подчас причины пожаров, показывает следующий крайне любопытный рассказ очевидца*.

«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.

— А вот, 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 в роде 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-

* М. Е. Жданко. Сообщение было напечатано в 1912 году в журнале «Природа и люди».

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 отвратительные, неровные, а в хатах масса 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 заметим, 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 одного или полутора аршина.

Как добыть огонь с помощью льда?

Лед, если он достаточно прозрачен, может послужить материалом для двояковыпуклой линзы, а следовательно, и для добывания огня; при этом, преломляя тепловые лучи, лед 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 водою, то вполне возможно сделать это и с помощью чечевицы из льда.

Такая ледяная чечевица сослужила хорошую службу в жюль-верновом «Путешествии капитана Гаттераса». Доктор Клаубонни именно таким образом зажег костер, когда путники потеряли огниво и очутились без огня при страшном морозе в 48 градусов.

«— Это большая неприятность, — сказал Гаттерас доктору.

— Да, — отвечал тот.

— У нас нет даже подозрительной 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.

— Придется утолить голод сырой медвежатиной, — заметил Гаттерас.

— Да, — задумчиво проговорил доктор, — в крайнем случае. Но отчего бы нам не...

— Что вы задумали? — любопытно спросил Гаттерас.

— Мне пришла в голову мысль...

— Мысль? — воскликнул боцман. — Если вы что-нибудь придумали, значит, мы спасены.

— Бог знает, еще как удастся, — колебался доктор.

— Что же вы придумали? — спросил Гаттерас.

— У нас нет чечевицы, но мы ее сделаем.

— Как? — поинтересовался боцман.

— Отшлифуем из куска льда.

— Неужели вы полагаете...

— Отчего бы и нет? Ведь нужно только, чтобы лучи сходились в одной точке и образовали фокус, а для этой цели лед может заменить нам лучший хрусталь. Только я предпочел бы кусочек пресноводного льда, он крепче и прозрачнее.

— Вот эта ледяная глыба, — указал Джонсон на льдину шагах в ста от путешественников, — судя по цвету, есть как раз то, что вам надо.

— Правда. Возьмите-ка, Джонсон, 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 он отделал его ножом, наконец, отшлифовал просто рукою. Получилась прозрачная чечевица, словно она была не из льда, а из лучшего хрусталя.

Солнце было довольно яркое. Доктор подверг ледяную чечевицу действию его лучей и направил их на трут. Через несколько часов трут загорелся».

Рассказ Жюль Верна — не фантазия: опыты зажигания дерева при помощи ледяной чечевицы неоднократно производились с полным успехом. Конечно, трудновато изготовить про-

зрачную ледяную чечевицу с помощью таких примитивных средств, как топор, нож и «просто рука» (при 48-градусном морозе!), — но все же возможно.

Если пожелаете проделать этот опыт, не забывайте, что он удастся лишь в ясный день и на открытом воздухе: оконное стекло задерживает тепловые лучи.

«Зеленый луч»

«Наблюдали 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 воды и затем исчезает? Вероятно, да. Но заметили ли вы явление, которое происходит как раз в то мгновение, когда лучезарное светило бросает свой последний луч, если при этом небо освобождается от облачной мути и бывает совершенно чисто? Быть может, нет. Если так, то при первом случае — а он бывает очень редко, — когда вам удастся сделать подобное наблюдение, в ваш глаз ударит не красный луч, а зеленый, особенного дивного зеленого цвета, такого, какой ни один художник не может получить на своей палитре, какого сама природа не воспроизводит ни в разнообразных оттенках растительности, ни в цвете самых прозрачных морей. Если в раю существует зеленый цвет, то, конечно, он не может быть иного оттенка, как именно такого, — истинного зеленого цвета надежды».

Такого рода заметка в одной английской газете привела в восторженное состояние молодую героиню известного романа Жюль Верна «Зеленый луч» и побудила ее предпринять целый ряд путешествий с единственной целью — увидеть зеленый луч собственными глазами. Мы знаем из романа, что юной шотландке так и не пришлось увидеть этого любопытного явления природы. Но зеленый луч, тем не менее, существует. Это вовсе не миф, — хотя с ним и связано много легендарного. Нет, «зеленый луч» — явление, которым может восхищаться всякий любитель природы, если будет искать его с должным терпением.

Почему появляется «зеленый луч»?

Вы легко поймете причину этого явления, если вспомните, в каком виде представляются нам предметы, когда мы смотрим на них через стеклянную призму. Прodelайте этот опыт: держите призму у глаза горизонтально, одним из ребер вверх, и рассматривайте через нее листок бумаги на стене. Вы увидите, что бумажный листок, во-первых, приподнялся выше своего истинного положения, а во-вторых, имеет синюю кайму сверху и желто-красную внизу. Первое зависит от преломления, второе от *светорассеяния*, т. е. от свойства призмы неодинаково преломлять лучи разного цвета. Синие лучи преломляются сильнее прочих, — поэтому мы видим сверху синюю кайму; красные лучи преломляются слабее всех других — и мы видим внизу красную кайму*.

По отношению к нашему глазу земная атмосфера — это как бы огромная воздушная призма, обращенная своим основанием вниз. Когда мы смотрим на солнце, то видим его словно через призму. Диск его также получает сверху сине-зеленую кайму, внизу — красно-желтую. Если солнце стоит выше го-

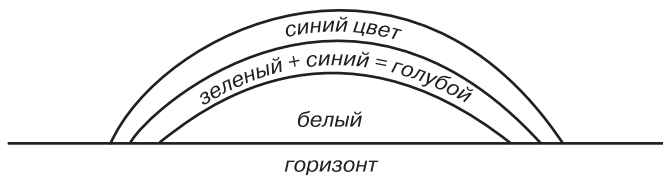


Рис. 86. Цветная кайма у верхнего края заходящего Солнца.

ризонта, свет диска своею яркостью затмевает цветные каемки, и потому мы не замечаем их. Но в моменты восхода и захода солнца, когда почти весь диск вместе с нижней красной каймой скрыт под горизонтом, мы можем видеть синюю кайму. Кайма эта двойная: выше расположен синий цвет, ниже — голубой, получающийся от смешения синих и зеленых лучей. Когда воздух у горизонта совершенно чист и прозрачен (это

* Призма разлагает белый свет, исходящий от бумаги, на все цвета спектра, давая множество изображений разного цвета, расположенных в порядке преломляемости. Но все эти изображения, налагаясь одно на другое, дают белый цвет; тольковерху и внизу остается по неприкрытой каемке.

бывает очень и очень редко), мы видим синюю кайму — «синий луч». Но чаще синие лучи поглощаются атмосферой — тогда остается только зеленая кайма, и мы видим «зеленый луч». Наконец, еще чаще поглощаются атмосферой и синие и зеленые лучи — тогда никакой каемки не видно: солнце закатывается, как багровый шар.

Как искать «зеленый луч»?

Итак, чтобы увидеть «зеленый луч», нужно наблюдать солнце в момент заката или восхода при очень чистом небе и благоприятных атмосферных условиях. В южных странах небо прозрачнее, чем у нас, но солнце там в момент восхода и захода движется быстрее, чем в наших широтах, так как круче опускается под горизонт (у нас оно движется более косвенно); понятно, что синяя кайма исчезает там быстрее, чем в наших широтах. У тропиков явление «зеленого луча» длится не более полусекунды. На широте Петрограда «зеленый луч» можно наблюдать весной и осенью в течение целой секунды, а летом и зимой — до $1\frac{1}{2}$ секунд. Чем далее к северу, тем все дольше и дольше может длиться это редкое явление. Близ полярного круга, где солнце в моменты летнего и зимнего солнцестояния в полночь и полдень скользит краем вдоль горизонта, «зеленый луч» можно видеть даже в течение нескольких минут.

При желании полюбоваться им поезжайте к 9-му июня в Торнео (пограничный город Финляндии и Швеции) или в город Мезень, Архангельской губернии, и внимательно следите здесь около полуночи за движением солнца. Если погода будет благоприятствовать вам, вы будете вознаграждены за свои хлопоты редким зрелищем «зеленого луча» поразительной чистоты и дивной красоты.

Астроном Пулковской обсерватории Г. А. Тихов, — из статьи которого* заимствованы приводимые здесь указания, — дает такой совет искателям «зеленого луча»:

«Если окажется, что солнце не совсем прячется за горизонтом, то нужно быстро удаляться к югу; если же солнце

* «Зеленый луч», журнал «Природа» (Москва), 1913 г., март.

опустится слишком глубоко, то надо быстро двигаться к северу, — и тогда, при благоприятных атмосферных условиях, можно вдоволь налюбоваться "зеленым лучом".

Если же быстрого движения осуществить нельзя, то лучше расположиться верст на 10—20 южнее указанной широты, и тогда "зеленый луч" будет виден два раза с небольшим перерывом, а именно — во время заката солнца и во время восхода. Но даже если поместиться и немного севернее указанной широты, то достаточно подождать несколько дней, чтобы солнце приблизилось слегка к небесному экватору, и тогда можно будет видеть длительный "зеленый луч".

Тот же исследователь приводит некоторые приметы относительно видимости зеленого луча: «Если солнце имеет при закате красный цвет, и на него легко смотреть простым глазом, то можно с уверенностью сказать, что "зеленого луча" не будет. Наоборот, если солнце мало изменило свой обычный беловато-желтый цвет и заходит очень ярким, 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».

«Красный луч»

Когда солнце у горизонта, можно видеть не только «зеленый луч», — мыслимо наблюдать также и «красный луч», т. е. ту красную полосу, которая окаймляет солнечный диск с



горизонт

Рис. 87. Цветная кайма у нижнего края заходящего Солнца.

нижней стороны. Но как достичь того, чтобы блеск всего диска не поглощал этого «красного луча»?

Астроном Г. А. Тихов считает это возможным при такой обстановке:

«При восходе солнца небо близ горизонта совершенно ясно, а очень близко от него тучи с резким и темным нижним краем, каковы бывают грозовые тучи. Скрываясь при поднятии за эту тучу, солнце в последний момент дало бы явление "красного луча". То же явление, но в обратном порядке, произошло бы, если бы солнце вышло, близко к закату, из-за резкого края тучи. Первым лучом был бы красный, который затем перешел бы в желтый и, в завершение, в белый. Наконец, можно представить себе регулярные наблюдения "красного луча" в следующих условиях. Наблюдатель располагается на таком расстоянии от большого моста, триумфальной арки, сквозной колоннады с кровлей и т. п., чтобы верхняя горизонтальная часть этой постройки могла совершенно закрыть солнце, находящееся близ горизонта, но так, чтобы между нижним краем ее и горизонтом было видно еще небо. Тогда вечером, в момент выхода солнца из-под постройки, можно увидеть "красный луч". Если же наблюдение производится утром, при поднятии солнца, то при скрывании его за эту постройку последним лучом будет красный».

Искусство рассматривать фотографии

Нехитрое, казалось бы, дело: взять снимок в руки, поднести к глазам и смотреть на него. Однако не только публика, но даже и большинство фотографов — профессионалов и любителей, — обыкновенно рассматривает снимки *совсем не так, как надо*. Можно без преувеличения сказать, что людей, умеющих правильно *взглянуть* на фотографию, гораздо меньше, чем умеющих ее *изготовить*. Вот уже три четверти века, как стало известно искусство фотографии. Снимки успели сделаться обыкновеннейшими предметами нашего повседневного обихода, — и тем не менее странно сказать:

большинство людей не знает, как, собственно, следует рассматривать фотографические снимки!

Для того, чтобы фотографический снимок при рассмотрении давал впечатление глубины и натуральности, необходимо правильно поместить его относительно нашего глаза. Все охотно признают это для снимков стереоскопических, но мало кто знает, что то же условие должно быть выполнено также для обыкновенных фотографий.

По своему устройству фотографическая камера — это большой глаз; то, что рисуется на его матовом стекле, зависит от расстояния между объективом и снимаемыми предметами. Фотографический аппарат закрепляет на пластинке тот перспективный вид, который представился бы нашему глазу (*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 *на надлежащем расстоянии от глаза*.

Когда полезно смотреть одним глазом?

Совсем не так трудно понять, что, рассматривая снимок двумя глазами, мы непременно должны увидеть перед собой *плоскую картину*, а не изображение, имеющее *глубину*. Это с необходимостью вытекает из особенностей нашего зрения. Когда мы смотрим на какой-нибудь телесный предмет, на сетчатках наших глаз получаются *неодинаковые* изображения: правый глаз видит не совсем то самое, что рисуется левому (рис. 88). Неодинаковость изображений и есть, в сущности, главная причина того, что предметы представляются нам телесными: наше сознание сливает оба неодинаковых впечатления в один *рельефный* образ (на этом, как известно, основано устройство стереоскопа). Иное

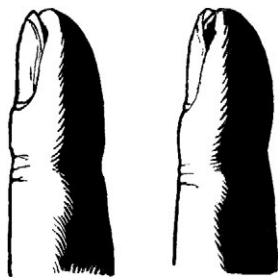


Рис. 88. Палец рисуется неодинаково для правого и левого глаза.

дело — когда перед нами *плоский* предмет, например поверхность стены: тогда оба глаза получают вполне тождественные впечатления; эта одинаковость и является для сознания признаком плоскостного протяжения предмета.

Теперь ясно, какую грубую ошибку делаем мы тем, что рассматриваем фотографии *двумя* глазами: ведь этим мы сами навязываем своему сознанию нежелательное убеждение, что перед ним именно плоская картина, без всякой перспективы! Когда мы предлагаем обоим глазам снимок, предназначенный только для одного, мы словно нарочно сами себе мешаем видеть то, что должна дать нам фотография; вся иллюзия, в таком совершенстве создаваемая фотографической камерой, разрушается этим комическим промахом.

Как часто мы браним фотографии за то, что они безжизненны и плоски, — а между тем мы виноваты в этом сами, так как не умеем на них правильно взглянуть!

На каком расстоянии надо держать фотографию?

Столь же важно и второе правило, — держать снимок на надлежащем расстоянии от глаза; в противном случае нарушается правильная перспектива.

Каково же должно быть это расстояние?

Без сомнения, всем ясно, что для получения надлежащего впечатления надо рассматривать снимок под тем же углом зре-

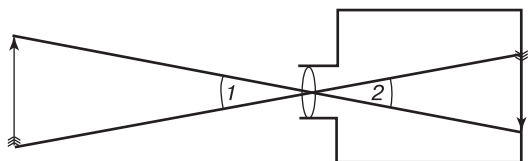


Рис 89. В фотографическом аппарате угол (1) равен углу (2), т. е. предмет и его изображение видны из объектива под одинаковыми углами.

ния, под каким объектив аппарата «видел» снимаемые предметы. Отсюда следует, что надо приблизить снимок к глазу на расстояние, которое во столько же раз меньше расстояния предмета от объектива, во сколько раз изображение предмета

меньше натуральной величины. Расстояние это приблизительно равно фокусной длине объектива (или глубине камеры, т. е. расстоянию от центра диафрагмы до матового стекла*.

Если примем во внимание, что в большинстве любительских аппаратов фокусное расстояние равно 12—15 сантиметрам, то поймем, что мы никогда не рассматриваем таких снимков на требуемом расстоянии от глаза: расстояние ясного зрения для нормального глаза почти вдвое более указанного (25 сантиметров).

Только близорукие люди, с коротким расстоянием ясного зрения, могут доставить себе удовольствие любоваться тем эффектом, который дает обыкновенный снимок при правильном рассматривании (одним глазом). Держа фотографию на расстоянии 12—15 см от глаза, они видят перед собой не плоскую картину, а рельефный образ, в котором передний план отчетливо отделяется от заднего, почти как в стереоскопе.

Теперь читатель, надеюсь, согласится, что в большинстве случаев мы только по собственному неведению не получаем от фотографических снимков в полной мере того удовольствия, какое они могут нам доставить, и часто напрасно жалуемся на их безжизненность. Все дело в том, что мы не помещаем своего глаза в надлежащем пункте относительно снимка и смотрим двумя глазами на изображение, предназначенное только для *одного*.

Странное действие увеличительного стекла

Близорукие люди, как мы только что объяснили, легко могут обыкновенные фотографии видеть рельефными. Но как же быть остальным людям, с нормальными или дальнозоркими глазами? Они не могут придвигать изображений очень близко к глазу, — но ничто не мешает им прибегать к увеличительным стеклам. Смотря на снимок через чечевицу с увеличением в два раза, такие люди легко могут поставить себя в положение близорукого, т. е. отчетливо, не напрягая глаз, видеть, как плоская фотография приобретает рельефность и

* Для камер с так называемым «телеобъективом» это правило неприменимо.

глубину. Разница между получаемым при этом впечатлением и тем, что мы видим, глядя на фотографии двумя глазами с полуаршинного расстояния — огромна. Такой способ рассматривать обыкновенные фотографии почти заменяет эффекты стереоскопа.

Теперь становится понятно, почему фотографии приобретают рельефность, если смотреть на них одним глазом в увеличительное стекло. Факт этот общеизвестен, но правильное объяснение его приходится слышать довольно редко, даже от специалистов. Один из критиков первой книги «Занимательной физики» писал мне по этому поводу следующее:

«Во втором издании рассмотрите вопрос: отчего в обыкновенную лупу фотография кажется рельефной? Это в особенности интересно потому, что все сложное объяснение стереоскопа не выдерживает критики. Попробуйте смотреть в стереоскоп одним глазом: рельефность сохраняется, вопреки теории».

Надеюсь, читателям теперь вполне ясно, что теория стереоскопа нисколько не колеблется этим фактом.

На том же принципе основан и любопытный эффект так называемых «панорам», продающихся в игрушечных магазинах. В этих маленьких приборах обыкновенный снимок ландшафта или группы рассматривается через увеличительное стекло одним глазом. Этого уже достаточно для получения довольно полного рельефа; но 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 дальним.

Увеличенные фотографии

Теперь естественно возникает вопрос: нельзя ли изготовлять фотографии так, чтобы нормальный глаз мог правильно рассматривать их, не прибегая к стеклам? Оказывается, это вполне возможно; для этого необходимо только пользоваться камерами с длиннофокусными объективами.

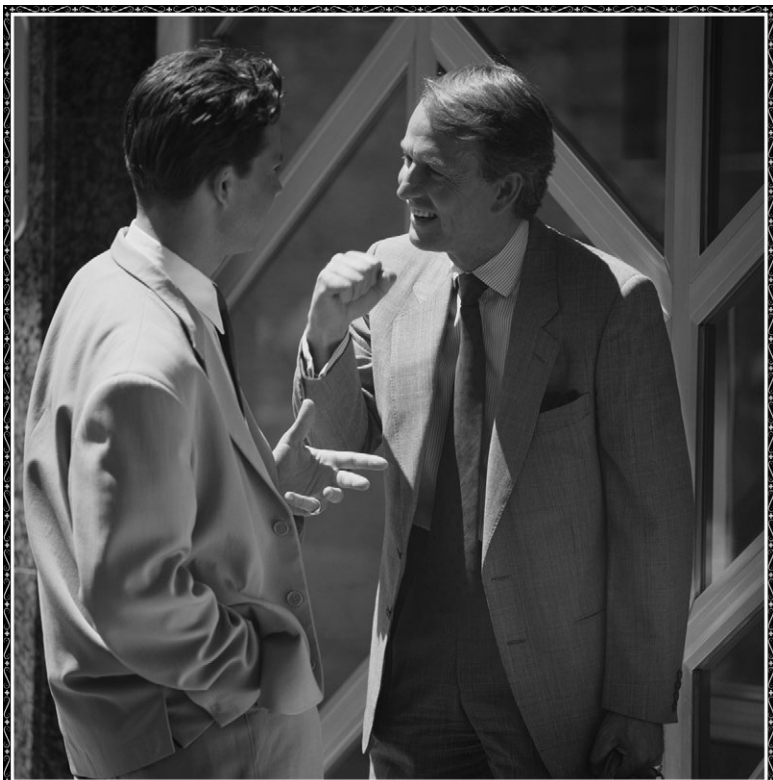


Рис. 90. Этот снимок приобретает рельефность, если смотреть на него с небольшого расстояния одним глазом.

После всего сказанного вполне понятно, что снимок, полученный при помощи объектива с 25—30-сантиметровым фокусным расстоянием, можно рассматривать (одним глазом) на обычном расстоянии — он покажется достаточно рельефным.

Более того: можно получать и такие снимки, которые при рассматривании даже двумя глазами не будут казаться плоскими. Сейчас объясним, как это достигается.

Мы уже говорили выше, что когда оба глаза получают от какого-либо предмета два тождественных изображения, то сознание сливает их в одну плоскую картину. Но эта склонность быстро ослабевает с увеличением расстояния. Практика пока-

зывает, что фотографии, 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 советуем и другой способ — увеличить снимок, полученный обыкновенным аппаратом. Дело в том, что при таком увеличении соответственно увеличивается и «перспективное расстояние». Если фотографию, снятую 15-сантиметровым объективом, увеличить в 4 или $4\frac{1}{2}$ раза, то этого уже достаточно для получения желаемого эффекта: увеличенную фотографию можно рассматривать обоими глазами с расстояния 60—70 сантиметров (1 аршина). Некоторая неясность снимка не мешает впечатлению, так как она с большого расстояния незаметна. В смысле же рельефности снимок несомненно выигрывает.

Секрет «стереопана» и «пластоскопа»

Те «стереопаны» — или, как их иногда неуклюже называют, — «зеркалупы», которые продаются в оптических магазинах, представляют собою приборы, основанные на том же принципе. Фотография помещается так, что мы видим ее увеличенное отражение в вогнутом зеркале. Иллюзия рельефности, возникающая при этом, объясняется просто увеличением «перспективного расстояния» данного снимка. Фотографию, увеличенную в «стереопане», можно рассматривать и *двумя глазами*: она не утрачивает рельефности. По той же причине приобретают телесность снимки, рассматриваемые *двумя* глазами через большую двояковыпуклую чечевицу (такие приборы, «пластоскопы», часто можно видеть у оптиков). В обоих случаях увеличение снимка доводит «перспективное расстояние» до тех размеров, при которых возможно непосредственно рассматривать фотографию обоими глазами без ущерба для рельефности впечатления.

Рельефность картин кинематографа

Многие заметили, вероятно, что изображения на полотне кинематографа также нередко отличаются довольно заметной рельефностью. Причина опять-таки в том, что мы имеем



Рис. 91. Этот снимок становится рельефным при долгом рассматривании одним глазом с близкого расстояния.

здесь перед собой сильно увеличенные фотографии. Если, например, снимки на ленте получались при фокусном расстоянии в 10 сантиметров, а картины на полотне увеличиваются в 100 раз, то расстояние, при котором получается правильная перспектива, также увеличивается в 100 раз и равняется $10 \times 100 = 1000$ сантиметрам, или 5 саженьям. При выборе места в кинематографах полезно руководиться этим соображением. Содержатели кинотеатров хорошо знают это и соответственно назначают цены местам: дальние места дороже передних.

Совет читателям иллюстрированных журналов

Воспроизведения фотографий в книгах и журналах («авто-типии») имеют, конечно, те же свойства, что и оригинальные снимки: они тоже становятся рельефнее, если рассматривать

их одним глазом и с надлежащего расстояния. Если читатель применит этот прием хотя бы к приложенным здесь рисункам (90, 91 и 92), он убедится в справедливости сказанного. Тут намеренно выбраны снимки с разными сюжетами и различными фокусными расстояниями. Найти надлежащее расстояние для рассматривания — нетрудно. Закрыв один глаз, держите иллюстрацию на вытянутой руке так, чтобы плоскость ее встречала луч зрения под прямым углом, а ваш открытый глаз приходился против середины снимка. Теперь постепенно приближайте снимок, не переставая всматриваться в него: вы легко уловите тот момент, когда он приобретет наибольшую рельефность.

Многие снимки, неотчетливые и плоские при обычном рассматривании, приобретают глубину и ясность, если смотреть на них описанным способом. Нередко при таком рассматривании становятся заметны блеск воды и другие чисто стереоскопические эффекты.

Но здесь полезно иметь в виду одно обстоятельство. Если фотографии 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 рельефности. Причина, после всего сказанного, должна быть понятна: с уменьшением фотографии уменьшается правильное «перспективное расстояние», которое обыкновенно и без того чересчур мало. Читателям (а еще более — издателям) иллюстрированных журналов полезно всегда иметь в виду это обстоятельство.

То, что мы сказали о фотографиях, применимо до известной степени и к картинам, созданным рукой художника: их также следует рассматривать всегда с надлежащего расстояния. Только при этом условии вы ощутите перспективу, и картина покажется вам не плоской, а глубокой и рельефной. Полезно при этом смотреть одним, а не двумя глазами, особенно на картины небольших размеров. Любопытно, что уменьшенные снимки с больших картин дают нередко более полную иллю-

зию рельефности, нежели оригиналы; вы поймете, отчего это происходит, если вспомните, что для уменьшенных снимков сокращается и расстояние, с которого следует рассматривать изображение.



Рис. 92. Держите этот снимок, хорошо осветив его, так, чтобы глаз ваш приходился против его середины, на близком расстоянии (другой глаз закройте). Снимок приобретет заметную рельефность.

Зрение тремя глазами

Тремя глазами? Не обмолвка ли это? Мыслимо ли смотреть тремя глазами?

Можно играть на рояле в четыре руки: недостающую пару рук мы как бы занимаем у другого, — но возможно ли видеть чужим глазом?

Вы сейчас убедитесь, что никакой обмолвки в приведенном заглавии нет. Мы будем говорить *именно о зрении тремя глазами*.

Мы уже знаем, что предметы кажутся нам рельефными от того, что в обоих глазах наших рисуются не вполне одинаковые изображения от одного предмета; эти два нетождественных впечатления сливаются в нашем сознании в один телесный образ. Если бы мы обладали *тремя* глазами, то рельефность видимых предметов, вероятно, еще более усилилась бы, так как образ их сливался бы из трех неодинаковых впечатлений, соответствующих трем различным точкам зрения.

Такова теория. Что же показывает опыт?

Не в нашей власти, конечно, дать человеку третий глаз, — но мы можем все-таки поставить опыт так, чтобы сознание получало одновременно *три* впечатления, соответствующие как бы трем глазам. Достигается это довольно простым путем. С одного предмета делается три снимка, отвечающих трем разным точкам, как бы трем глазам. Затем два из этих снимков заставляют, быстро чередуясь, действовать на один глаз наблюдателя: при быстром чередовании впечатления их сливаются в один сложный рельефный образ. К этому образу присоединяется еще и третье впечатление — от другого глаза, который смотрит на третий снимок. При таких условиях мы, хотя и смотрим всего двумя глазами, но впечатление получаем совершенно такое же, как если бы смотрели *тремя* глазами.

Человеческое искусство здесь осуществило то, что нам казалось совершенно невозможным: оно словно наделило нас третьим глазом!

Легко понять, что на том же принципе вполне возможно устроить стереоскоп для одноглазого человека, — разумеется, только в том случае, если это лицо не одноглазо от рождения: иначе не получится слияния двух изображений в один телесный образ; для такого слияния необходим известный навык.

Усовершенствование кинематографа

Сейчас мы узнали, что можно устроить стереоскоп для одноглазого. Теоретически рассуждая, на том же принципе вполне мыслимо устроить и стереоскопический кинематограф. В самом деле, подумайте, что произойдет, если на

полотне, чередуясь, будут появляться изображения, предназначенные то для правого, то для левого глаза (причем изображения эти сняты, конечно, стереоскопической камерой). Нетрудно предвидеть, что оба рода изображений при быстрой смене должны сливаться в сознании зрителя и давать один *рельефный* образ.

Вот идея стереоскопического кинематографа. В теории она очень проста, но осуществить ее практически, вероятно, трудно — иначе всюду давно уже показывались бы «стереокинемы».

Без сомнения, многие из читателей этой книги замечали в кинематографах, что картины подчас отличаются поразительной рельефностью. Возможно, что, кроме той причины, о которой мы говорили выше на стр. 205, здесь играет роль именно только что отмеченное обстоятельство. Дело вот в чем. При съемке кинематографических сцен все время вращают барабан с лентой, чтобы фильм двигался в камере. Если вращение происходит неплавно, то аппарат при этом слегка дрожит, колеблется — и объектив камеры все время слегка перемещается направо и налево. Что же получается на ленте? На ней запечатлеваются изображения, соответствующие не одному, а *двум* точкам зрения, — т. е. на ней будут чередоваться снимки, полученные словно бы не от обыкновенной, а от стереоскопической камеры (камеры с двумя объективами): одни снимки отвечают правому, другие — левому глазу. Когда же потом показывают такую ленту в театре, то зритель сливает оба быстро чередующихся ряда изображений — и перед ним вырастает стереоскопический образ.

Конечно, рельефность в таких снимках весьма слабо выражена, так как колебания аппарата очень невелики и, следовательно, разница между снимками ничтожна. Но вот задача для техников кинематографии: то, что здесь осуществилось лишь случайно и в несовершенном виде, устроить намеренно и в более резкой степени. Если техники справятся с этой задачей — вопрос о стереоскопическом кинематографе будет решен.

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, вероятно, этому не поверите. Возможно ли, в самом деле, чтобы мы всю жизнь не замечали такого крупного недостатка нашего зрения? А между тем, подобный пробел в нашем зрении существует, и вот простой опыт, могущий убедить вас в этом.

Держите рис. 93 на расстоянии одного фута 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 вами участка, и обе окружности вправо и влево от него будут отчетливо видны!

Этот опыт, впервые произведенный в 1668 г. (в ином виде) знаменитым физиком Мариоттом, очень забавлял придворных Людовика XIV.

Мариотт проделывал этот опыт так: помещал двух вельмож на расстоянии сажени 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 «слепое пятно» есть то место сетчатой оболочки, где зрительный нерв вступает в глазное яблоко и еще не разделяется на мелкие разветвления, снабженные элементами, чувствительными к свету.

Правда, мы не замечаем черной дыры в поле нашего зрения, — но происходит это вследствие долговременной привычки. Наше воображение невольно заполняет этот пробел различными подробностями окружающего фона; так, на рис. 93 мы, не видя пятна, мысленно продолжаем линии обеих окружностей; мы убеждены даже, будто ясно видим то место, в котором они пересекаются.

Если вы носите очки, то легко можете проделать такой опыт: наклейте кусочек бумаги на стекло очков (только не в самой середине, а сбоку). В первые дни бумажка будет мешать вам смотреть; но пройдет одна неделя, другая — и вы

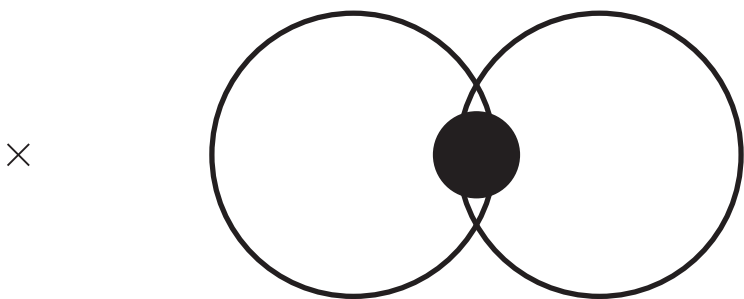


Рис. 93. Как убедиться, что в нашем глазу есть «слепое пятно». — На расстоянии 10 дюймов смотрите правым глазом на крестик, закрывши левый глаз: черный кружок пропадает.

до такой степени привыкнете к ней, что даже перестанете ее замечать. Точно так же, в силу долговременной привычки, не замечаем мы слепого пятна нашего глаза.

Не думайте, что слепое пятно нашего поля зрения совсем незначительно. Как вы уже знаете, оно достаточно велико, чтобы в нем могла исчезнуть довольно крупная деталь чертежа, или даже вся голова вашего визави. Когда вы смотрите (одним глазом) на дом, находящийся на расстоянии десяти сажен от вас, то благодаря слепому пятну вы не видите довольно обширной части его фасада, имеющей в поперечнике более сажени. А на фоне звездного неба остается невидимым для нашего глаза пространство, равное по площади 120 полным лунам!

Какой величины вам 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 серебряный рубль или апельсин. А одному мальчику, говорят, Луна всегда казалась «величиной с круглый стол на двенадцать персон».

Откуда такая разница в представлениях?

Она зависит от различия в бессознательной оценке расстояния. Человек, видящий Луну величиною с апельсин, представляет ее себе гораздо *дальше*, нежели те, кому она кажется величиной с тарелку. Тот мальчик, который сравнивал Луну со столом, помещал ее, надо думать, очень недалеко — где-

нибудь за крышей соседнего дома...

На ошибочной оценке расстояний основано немало иллюзий зрения. Я хорошо помню один оптический обман, который я испытал в раннем детстве, «в те дни, когда мне были новы все впечатления 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 пигмеями! Таких крошечных коров я с тех пор ни разу более не видел



Рис. 94. Фигура господина, идущего впереди, кажется гораздо длиннее, чем силуэт мальчика. Смерьте оба силуэта — и вы убедитесь, что обе фигуры одинаковы по длине!

и, конечно, никогда не увижу... Очень поучителен также рассказ Эдгара По о том, как он принял букашку, ползущую по оконному стеклу, за невиданное чудовище, шагающее в далеком лесу, на краю горизонта.

Сходными причинами объясняется иллюзия рис. 94. Глядя на него, мы готовы утверждать, что господин, идущий впереди, «нарисован» исполином — чуть не вдвое выше мальчика. Но измерьте обе фигурки — они строго равны! Мы поддаемся здесь обману только потому, что привыкли видеть далекие предметы уменьшенными; поэтому фигуры на заднем плане картины должны изображаться мельче передних, чтобы казаться одинаковой с ними величины.

Видимые размеры светил

Астрономы определяют видимый размер светил величиною того угла, под которым мы их видим. «Угловой величиной» светила они называют тот угол, который составляют две прямые, проведенные к глазу от крайних точек небесного тела (рис. 95). Углы же, как известно, измеряются градусами, минутами и секундами. На вопрос о видимой величине лунного диска астроном не скажет, что она равна апельсину или тарелке, а ответит, что она равна приблизительно половине градуса: это значит, что прямые линии, проведенные от краев лунного диска к нашему глазу, составляют угол в полградуса. Такое определение видимых размеров тел есть единственно правильное, не дающее повода ни к каким недоразумениям.

Геометрия учит, что предмет, удаленный от глаза на расстояние, в 57 раз большее его размеров, должен представляться наблюдателю под углом в 1 градус. Так, например,

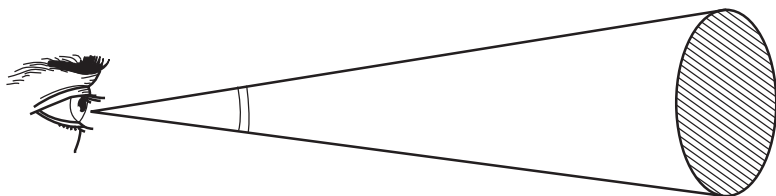


Рис. 95. Что такое «угловая величина» предмета.

апельсин в вершок диаметром будет иметь угловую величину в один градус, если его держать от глаза на расстоянии 57 вершков. На вдвое бóльшем расстоянии он представится нам вдвое менее, именно — под углом в $1\frac{1}{2}$ градуса, т. е. такой же величины, какой мы видим Луну. Итак, если угодно, вы можете сказать, что Луна кажется вам величиной с апельсин, но при условии, что этот апельсин удален от глаза на 114 вершков (более 7 аршин). Если желаете сравнить видимую величину Луны с тарелкой, вам придется отодвинуть эту тарелку сажень на 12. Большинство людей не хочет верить, что Луна представляется им такой маленькой, — но попробуйте поместить копеечную монету (полвершка) на таком расстоянии от глаза, которое в 114 раз больше ее диаметра, т. е. на $3\frac{1}{2}$ аршина: монета как раз покроет Луну. Если бы вам предложили нарисовать на бумаге кружок, изображающий диск Луны, видимый простым глазом, задача показалась бы вам неопределенной; кружок может быть и большим и маленьким, смотря по тому, как далеко он отодвинут от глаза. Но условия сразу определятся, если мы остановимся на том расстоянии, на котором обыкновенно держим книги, чертежи и т. п., — на расстоянии ясного зрения. Это расстояние равно для нормального глаза 25-ти сантиметрам (около десяти дюймов).

Итак, вычислим, какой величины должен быть кружок, хотя бы на полях этой книги, чтобы видимый размер его равнялся лунному диску. Расчет прост: надо разделить расстояние 25 сантиметров на 114. Получим в результате довольно незначительную величину — всего 2,2 миллиметра! Прямо не верится, что Луна (а также равное ей по *видимым* размерам Солнце) кажется нам под таким небольшим углом!

Если бы, придерживаясь этого масштаба, мы пожелали изобразить на бумаге созвездие Большой Медведицы, то получили бы фигуру, представленную на рис. 96. Глядя на нее с расстояния ясного зрения, мы видим созвездие именно таким, каким оно рисуется нам на небесном своде. Это, так сказать, — карта Б. Медведицы в натуральном угловом

масштабе. Если вам хорошо знакомо зрительное впечатление от этого созвездия, — не фигура только, а именно наглядное зрительное впечатление, — то, всматриваясь в приложенную карту, вы словно вновь переживете это непосредственное впечатление. Зная угловые расстояния между главными звездами всех созвездий (они приводятся в астрономических календарях и т. п. справочных изданиях), вы можете начертить себе в «натуральном масштабе» целый астрономический атлас. Для этого достаточно запастись миллиметровой бумагой и считать на ней каждые 4,4 миллиметра за градус (площади кружков, изображающих звезды, надо чертить сообразно их 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 можем различать предмет, как пространственное тело (под меньшим углом всякий предмет кажется нам точкой).

Вот угловые величины планет в секундах; против каждой планеты показаны две цифры — первая соответствует наименьшему расстоянию светила от Земли, вторая — наибольшему:



Рис. 96. Большая Медведица, какой мы видим ее на небе. (Держать на расстоянии 10 дюймов.)

Меркурий	13 — 4½	} секунд дуг
Венера	65 — 9½	
Марс	26 — 3½	
Юпитер.....	51 — 31	
Сатурн	20 — 15	
Кольцо Сатурна	48 — 35	

Начертить эти величины в «натуральном масштабе» на бумаге нет возможности: даже целая угловая *минута*, т. е. 60 секунд, отвечает, на расстоянии ясного зрения, лишь 0,07 миллиметра — величине, не различимой для простого глаза. Поэтому изобразим планетные диски такими, какими они кажутся в телескоп, увеличивающий в 100 раз. На рис. 97 вы видите таблицу кажущихся размеров планет при таком увеличении. Нижняя дуга изображает край лунного (или солнечного) диска, видимого в телескоп со 100-кратным увеличением. Над ним *Меркурий* при его наименьшем, среднем и наибольшем удалении от Земли. Еще выше — *Венера* в разных фазах; в ближайшем к нам положении эта планета совершенно не видна, так как обращена к Земле своею неосвещенною половиною; 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 следует *Марс*. Налево вы видите его в наибольшем приближении к Земле; таким показывает его нам труба со 100-кратным увеличением. Что можно различить на таком маленьком диске? Вообразите себе этот кружок увеличенным в 10 раз, — и вы получите представление о том, что видит астроном, изучающий Марс 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 «морей» этого мира? Неудивительно, что показания одних наблюдателей резко расходятся с показаниями других, и одни считают оптической иллюзией то, что отчетливо видят другие...

Великан Юпитер со своими спутниками занимает очень видное место в нашей таблице: его диск значительно больше диска всех прочих планет, исключая Венеру, а четыре главнейших спутника раскинуты по длинной ли-



Рис. 97. Если держать этот чертеж на расстоянии 10 дюймов от глаз, то планетные диски, начерченные на нем, представятся нам по величине такими, какими планеты видны в телескоп с увеличением в *сто* раз.

нии, равной почти половине лунного диска. Здесь Юпитер изображен в наибольшем приближении к Земле. Наконец, С а т у р н со своими кольцами и самую крупную из его лун также представляет собой довольно заметный объект в моменты наибольшей близости к нам. Но, конечно, большая *видимая* величина зависит здесь от огромных *истинных* размеров Юпитера и Сатурна, так что на поверхности этих планет остаются неразличимыми для нас несравненно более крупные детали, чем на Марсе.

Зрительные самообманы

Мы часто говорим об «обмане зрения», «обмане слуха» — но эти выражения неправильны. Обманов чувств не существует. Философ Кант очень метко сказал по этому поводу: «Чувства не обманывают нас, — не потому, что они всегда правильно судят, а потому, что они вовсе не судят».

Кто же, в действительности, обманывает нас при так называемых «обманах» чувств? Разумеется, тот, кто в данном случае судит, т. е. мы сами, наше собственное сознание. Действительно, большая часть обманов зрения зависит исключительно от того, что мы не только *видим*, но и бессознательно *рассуждаем*, при чем невольно самих себя вводим в заблуждение. Возьмем общеизвестный пример оптической иллюзии: фигура *A* (рис. 98) кажется выше и уже, нежели фигура *B*, хотя и та и другая ограничены строго одинаковыми квадратами. Причина кроется в том, что оценка *высоты* фигуры *A* получа-



Рис. 98. Что выше — *A* или *B*?

ется у нас, как результат бессознательного сложения отдельных промежутков, и потому кажется нам больше, чем равная ей *ширина* той же фигуры. Напротив, на фигуре *B*, в силу того же бессознательного рассуждения, *ширина* кажется больше *высоты*.

Иллюзия, полезная для портных

Если вы пожелаете применить только что описанную иллюзию зрения к более крупным фигурам, которых глаз не может охватить сразу, то ожидания ваши не оправдаются. В са-

мом деле, низкий, полный человек в костюме с поперечными полосами будет казаться не тоньше, а, напротив, еще шире. И, наоборот, надев костюм с продольными полосами и складками, полные особы могут до некоторой степени скрадывать свою полноту. Эта иллюзия основана на том, что, рассматривая такой костюм, мы невольно следуем глазами вдоль полос; усилие наших глазных мускулов при этом заставляет нас бессознательно преувеличивать размеры предмета в направлении полос: мы ведь привыкли связывать с усилием двигательных 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, следовательно, не утомляются.

Что больше?

Какой овал на рис. 99 больше: нижний или внутренний верхний? Трудно отделаться от мысли, что нижний больше верхнего. Между тем, *оба овала равны*, и только присутствие наружного овала создает иллюзию, будто заключенный в нем овал меньше нижнего. Иллюзия усиливается и тем, что вся фигура представляется нам не плоской, а телесной — в виде ведра, что ли: овалы невольно превращаются нами в перспективно сжатые круги, а боковые прямые линии — в стенки ведра.

Всего разительнее выступает та же особенность нашего зрения на рис. 100. Между сторонами угла начерчены два одинаковых кружка, — но глаз не признает их равенства: вы ясно видите, что левый кружок, ближайший к вершине, крупнее правого. Вы можете поворачивать чертеж во все стороны — иллюзия остается. Чем угол острее, тем обман зрения резче.

Мы, по-видимому, вообще склонны преувеличивать размеры фигур, заключенных между расходящимися прямыми,

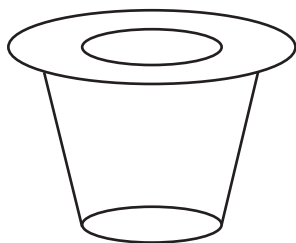


Рис. 99. Какой овал больше: нижний или внутренний верхний?

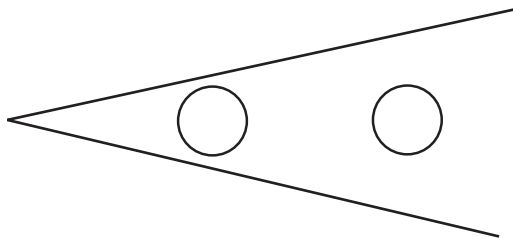


Рис. 100. Какой кружок больше — правый или левый?

близко к вершине угла. Подобно тому, как на рис. 100 кажется больше тот кружок, который ближе придвинут к вершине угла, так и на рис. 101 расстояние между точками X и Y кажется больше, нежели между точками M и N . Присутствие третьей прямой, исходящей из той же вершины, еще более усиливает иллюзию.

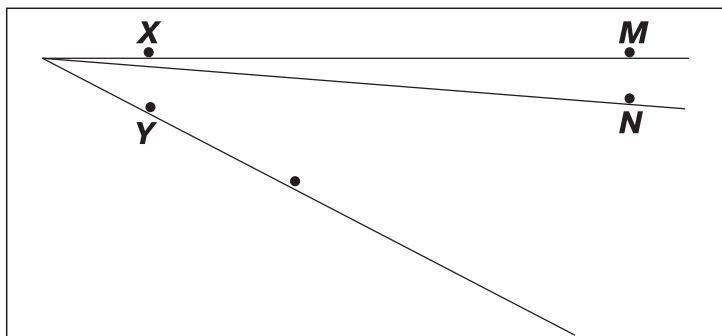


Рис.101. Что больше: расстояние между X и Y или расстояние между M и N ?

Некоторые предполагают, что известная иллюзия увеличения светил близ горизонта представляет собою обман зрения именно такого рода. Когда мы рассматриваем Луну, Солнце или какое-нибудь созвездие, стоящее близ горизонта, то они кажутся нам вдвинутыми в двугранный угол, одною стороною которого является поверхность Земли, а другою — наклоненная над нею часть небесного свода. На основании предыдущего понятно, что светило, помещенное таким образом, должно казаться нам крупнее, чем тогда, когда оно близ зенита. Это новое объяснение является чуть ли не десятой попыткой объ-

яснить знаменитую «астрономическую иллюзию», известную еще со времен Птолемея.

Сила воображения

Большинство обманов зрения, как мы уже указывали, зависит от того, что мы не только смотрим, но и бессознательно рассуждаем при этом. «Мы смотрим не глазами, а мозгом», — говорят физиологи. И вы охотно согласитесь с этим, когда познакомитесь с иллюзиями, где воображение смотрящего *сознательно* участвует в процессе видения.

Остановимся хотя бы на рис. 102.

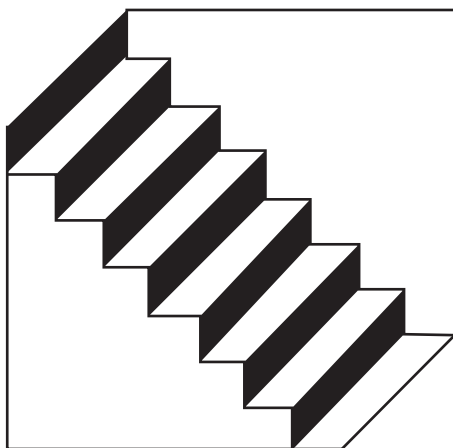


Рис. 102. Что вы видите здесь: лестницу, нишу или «гармонику»? Это зависит от вашего желания и от силы воображения.

Если вы станете показывать его знакомым, то получите от них 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, согнутую «гармоникой» и протянутую по диагонали на светлом поле квадрата.

И, как ни странно, все три ответа будут верны! Вы можете и сами увидеть все названные вещи, если, смотря на рисунок, направите свой взгляд различным образом. А именно: попро-

буйте, рассматривая этот чертеж, прежде всего направить взор на левую часть рисунка — вы увидите лестницу. Далее,

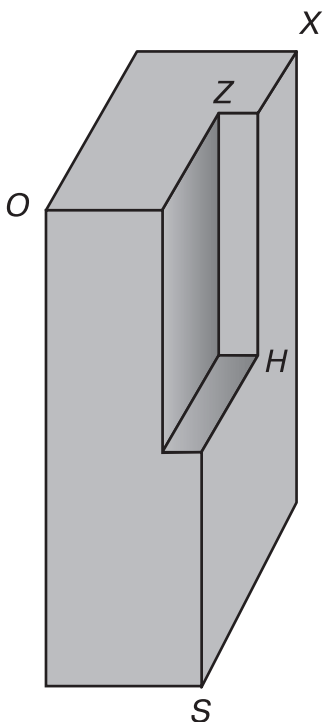


Рис. 103. Что такое ZH ? Выступ ли это на брус (вроде шипа), или же это вырезанное в брус углубление? Или, быть может, это обрубок, лежащий в углу деревянной коробки? Ваше воображение может заставить вас увидеть поперечно и то, и другое, и третье.

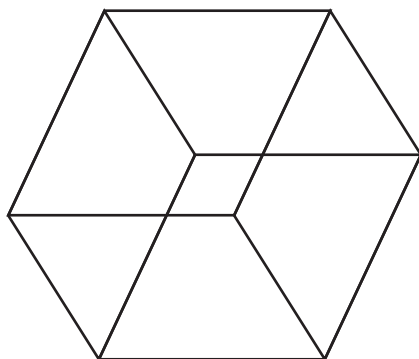


Рис. 104. Этот проволочный куб вы можете видеть обращенным к вам то тою, то иною стороною, в зависимости от вашего желания.

если взгляд ваш будет скользить по рисунку справа налево, — вы увидите нишу. Наконец, если взгляд ваш скользнет по чертежу по направлению его диагонали, от нижнего правого края к верхнему левому — вы увидите сложенную «гармоникой» бумажную полоску.

Впрочем, при продолжительном рассматривании рисунка ваше внимание утомится, и вы попеременно будете видеть то одно,

то другое, то третье, уже независимо от вашего желания. Фигуры 103 и 104 отличаются теми же особенностями.

Еще иллюзия зрения

Но далеко не все иллюзии зрения мы в состоянии объяснить. Часто и догадаться нельзя, какого рода умозаключения

бессознательно совершаются в нашем уме и обуславливают тот или иной обман зрения. Почему, например, квадрат, поставленный косо, представляется нам крупнее того же квадрата (рис. 105),

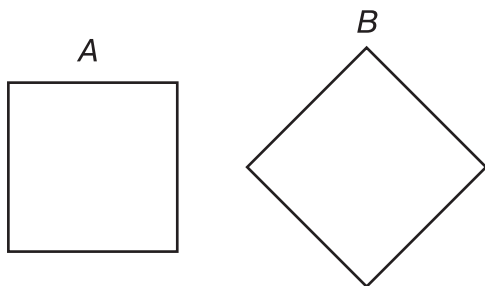


Рис. 105. Какой квадрат больше: А или В?

опирающегося на одну из сторон? Отчего на рис. 106 глаз не хочет признать, что средние части этих ломанных линий параллельны между собою? Ведь, казалось бы, чертеж ясен!

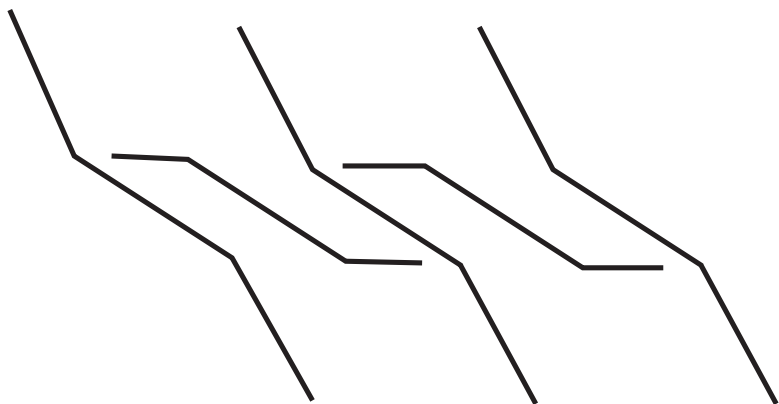


Рис 106. Вам не верится, что все средние части этих линий строго параллельны друг другу? Проверьте...

А на рис. 107 вы отчетливо видите две дуги, обращенные выпуклостями друг к другу. Сомнений даже не возникает, что это так. А между тем, стоит лишь приложить линейку к этим мнимым дугам или взглянуть на них вдоль, держа фигуру на уровне глаз, — чтобы убедиться в их прямолинейности. Вот еще любопытная иллюзия. Посмотрите на рис. 108 и скажите: какие линии длиннее, вертикальные или косые? Первые кажутся более длинными, хотя те и другие равны.

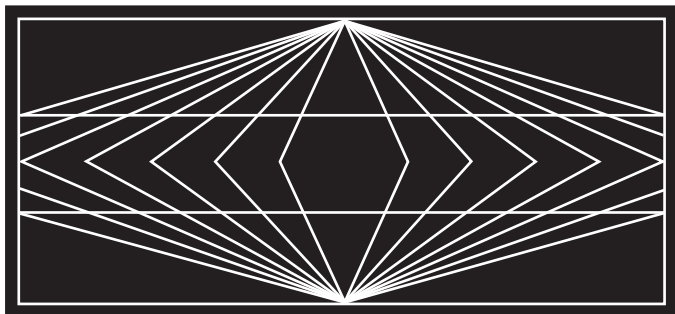


Рис. 107. Две белые линии, идущие справа налево, вовсе не дуги, как вы думаете. Это прямые линии!

Еще эффектнее иллюзия рис. 109. На верхнем чертеже ее сравните длину черточек в левой и правой части: первые кажутся длиннее вторых, хотя они равны. Иллюзия резче на среднем чертеже, отличающемся от верхнего лишь большею частотою линии; прямо не хочется верить, что левые черточки не длиннее правых. Наконец, на нижнем чертеже той же фигуры, представляющем зачерненный контур первых двух, мы имеем как бы упрощенный силуэт курительной трубки; горизонтальные сечения обеих частей трубки строго равны, хотя глаз наш с этим не хочет согласиться.

Предлагалось много объяснений этих любопытных иллюзий, но они мало убедительны, и мы не станем приводить их здесь. Одно, по-видимому, несомненно: что причина этих иллюзий кроется в бессознательном рассуждении, в невольном «лукавом мудрствовании» ума, мешающем нам видеть то, что есть в действительности.

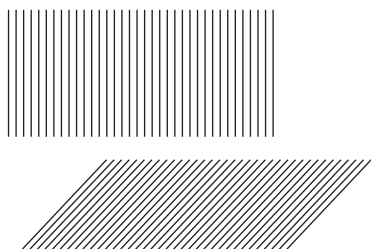


Рис. 108. Какие черточки длиннее — верхние или нижние?

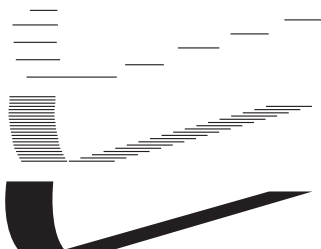


Рис. 109. «Иллюзия курительной трубки».

Что это?

При взгляде на рис. 110 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 ясно увидите *человеческий глаз*. Подойдите ближе, — и перед вами снова появится ничего не выражающая сетка...

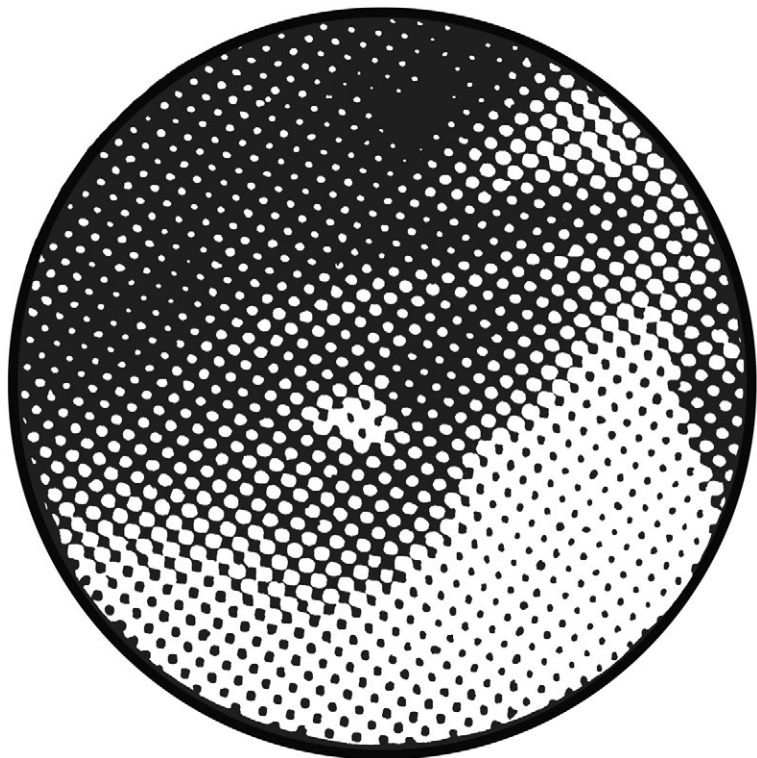


Рис. 110. Смотрите на эту фигуру с расстояния нескольких шагов.
Что вы видите?

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 и журналах фон рисунка всег-

да кажется нам сплошным; но рассмотрите его в лупу — и перед вами появится точно такая же сетка, какая изображена на рис. 110. Этот, так озадачивший вас, рисунок представляет собой не что иное, как сильно увеличенный участок обыкновенной тоновой иллюстрации. Разница лишь в том, что когда сетка мелка, она сливается в сплошной фон уже на близком расстоянии, — именно на том, на котором мы обыкновенно держим книгу при чтении. Когда же сетка крупна, слияние происходит на соответственно большем расстоянии.

Необыкновенные колеса

Случалось ли вам через решетку забора или, еще лучше, на полотне кинематографа следить за спицами колес быстро движущейся кареты или автомобиля? Вероятно, вы замечали при этом странное явление: автомобиль мчится с головокружительной быстротой, а между тем его колеса едва-едва вертятся, а то и вовсе не вертятся. Мало того: иногда они вращаются даже в противоположном направлении!

Конечно, это только иллюзия зрения, но она так необычайна, что положительно приводит в недоумение всех, кто замечает ее впервые.

Объясняется этот своеобразный обман зрения следующим образом. Следя за вращением колеса через отверстия забора, мы видим колесные спицы не непрерывно, а через равные промежутки времени, так как планки забора каждое мгновение заслоняют их от нас. Точно также и кинематографическая лента запечатлевает изображения колес с перерывами, в отдельные моменты. 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 колесá на новом снимке займут то же самое 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 снова

останется прежним. Видя все время одно и то же положение спиц, мы невольно заключаем, что колесо вовсе не вертится.

Второй случай: колесо успевает в каждый промежуток сделать целое число оборотов *плюс еще часть оборота*, весьма небольшую (например, $\frac{1}{100}$). Наблюдая за сменой таких изображений, мы о целом числе сделанных оборотов не можем и догадаться, а будем видеть лишь медленное вращение колеса (с каждым разом на $\frac{1}{100}$ оборота). В результате нам покажется, что, несмотря на быстрое перемещение автомобиля, его колеса вращаются чрезвычайно лениво.

Третий случай. Его удобнее рассмотреть на наглядном примере (см. рис. 111). Две соседние спицы *A* и *B* первоначально находились в положении, показанном на левой фигуре рис. 111. На следующем снимке, сделав некоторое число оборо-

тов влево, те же спицы заняли положение, обозначенное буквами *D* и *C*. Так как дуга *AC* меньше, чем дуга *AD*, то будет казаться, что спица *A* повернулась не вперед, к точке *D*, а назад, к точке *C*, т. е. мы принимаем спицу *B* за переместившуюся назад спицу *A* (ведь все спицы сходны между собою). В результате нам покажется, что колесо вращается в *обратном направлении*. И это обманчивое впечатление будет длиться до тех пор, пока автомобиль не изменит своей скорости настолько, чтобы дуга *AC* стала больше дуги *AD*.

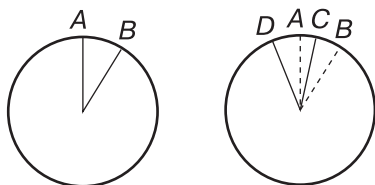


Рис. 111. Почему на экране кинематографа колёса иногда кажутся вращающимися в обратном направлении.

Остается только внести маленькие поправки в наше объяснение. В первом случае мы, ради простоты, говорили о числе *полных оборотов* колёса; но так как спицы колёса похожи одна на другую, то достаточно, чтобы колесо повернулось на целое число *промежутков* между спицами. То же относится и ко второму случаю.

Когда показывают в кинематографе обыкновенные сцены, эта иллюзия, разумеется, мало вредит естественности впечат-

ления. Но если на экране хотят объяснить действие какого-нибудь механизма, то этот обман зрения может породить весьма серьезные недоразумения и даже дать совершенно превратное представление о работе машины.

Почему заяц «косой»?

Человек — одно из немногих существ в мире, глаза которых приспособлены к одновременному рассматриванию одного и того же предмета; у него поле зрения правого глаза лишь немного не совпадает 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. 112 наглядно изображено поле зрения человека: каждый глаз видит в пределах угла в 120 градусов, и оба эти угла почти покрывают друг друга.

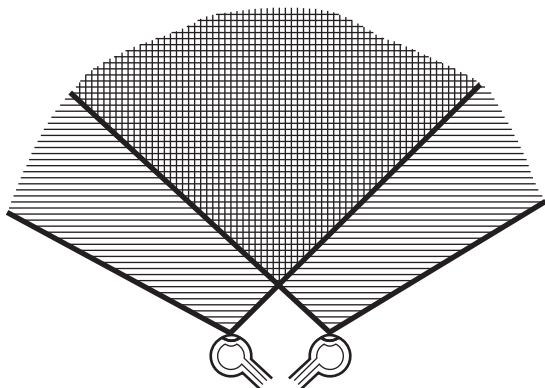


Рис. 112. Поля зрения обоих глаз человека почти совпадают.

Сравните этот чертеж с чертежом на рис. 113, изображающим поле зрения зайца: не поворачивая головы, заяц своими расставленными по бокам глазами видит не только то, что находится впереди его, *но и то, что находится позади*. Оба поля зрения его глаз смыкаются и спереди и сзади! Теперь вам понятно, почему так трудно подкрасться к зайцу, не спугнув его. Но зато заяц совершенно не видит

того, что расположено непосредственно перед его мордой; ему приходится, чтобы увидеть весьма близкий предмет, повертывать голову набок.

Почти все беззащитные копытные и жвачные животные также обладают этой способностью «всестороннего» зрения; правда, их зрительные образы не так отчетливы, но зато от животного не ускользает ни малейшее движение, совершающееся кругом него. Подвижные хищные животные, которым приходится чаще всего самим быть нападающей стороной, — лишены этой способности видеть кругом себя; они обладают «двуглазым» зрением, позволяющим им зато точно оценивать расстояние для прыжка.

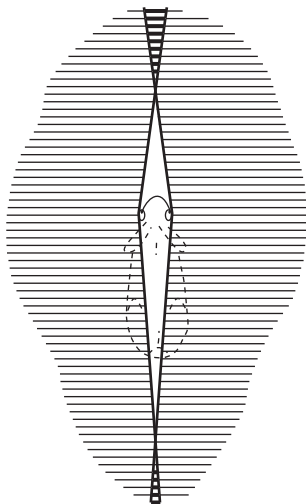


Рис. 113. Как видит заяц? Поля зрения обоих его глаз смыкаются не только впереди, но и сзади.

Давление лучей 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 нам 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».

Спешу прибавить, что давление это крайне ничтожно; лучи Солнца давят на земную поверхность с силою одного *миллиграмма* на каждый квадратный метр. Вся обращенная к Солнцу сторона земного шара испытывает от солнечных лучей давление в 600 миллионов пудов. 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 50 биллионов (т. е. 50 миллионов миллионов) раз!

Для мелких тел отношение между силою 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, например, поперечник земного шара был вдвое меньше, то объем и масса его уменьшилась бы в 8 раз, а поверхность — в 4 раза; вследствие этого притяжение уменьшилось бы в 8 раз, но давление лучей — всего в 4 раза.

Отсюда вытекает одно любопытное следствие. Так как отталкивающая сила лучей Солнца с уменьшением поперечника освещаемого тела убывает медленнее, нежели притягательная, то ясно, что при некоторой, очень маленькой, величине тела обе силы должны стать равными. Вычислено, что микроскопически маленькая водяная капелька диаметром в $\frac{3}{4}$ микрона* 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 не забудьте, что ведь и вес этой капельки неизмеримо мал. Неудивительно поэтому, что скорость, которую лучи света сообщают такой капельке, может достигать огромной величины — нескольких сотен или даже тысяч верст в секунду!

Теперь вам не покажется странным, что мельчайшие обитатели земного шара, некоторые бактерии и особенно их споры (зародыши) могут, достигнув границ атмосферы, покидать нашу планету и уноситься в беспредельное мировое пространство с огромной, при том все возрастающей, скоро-

* Микрон = $\frac{1}{1000}$ миллиметра.

стью в сотни и тысячи верст в секунду. Известный шведский ученый Сванте Аррениус допускает даже, что этим путем могут переноситься с планет на планету зародыши жизни... Такая скорость более чем достаточна для преодоления силы земного притяжения, ибо тела уже при скорости 11 верст в секунду должны навсегда удалиться от земной поверхности. Обладая скоростью, например, в 500 верст, бактерия в один день прошла бы путь, равный поперечнику земной орбиты, в несколько недель достигла бы Нептуна, а через несколько столетий могла бы перенестись в соседство с ближайшими неподвижными звездами.

По океану вселенной

Если у вас живое воображение, то при чтении последних строк вы, наверное, подумали: а не может ли и человек воспользоваться тем же способом для межпланетного путешествия? Это было бы так заманчиво, что сто́ит остановиться немного на подобной идее.

Вопрос, в сущности, сводится к тому, чтобы соорудить снаряд, для которого отношение поверхности к массе было бы такое же выгодное, как у мельчайших бактерий. Вычисление показывает, что зеркальная поверхность площадью в один метр должна весить всего два грамма, если мы хотим, чтобы световое явление могло увлечь такое зеркало в мировое пространство со скоростью сотен верст в секунду. Если бы этот металлический лист был сделан из серебра, то, чтобы придать ему вес в 2 грамма, нужно было бы расплющить его до толщины в 0,1 микрона, т. е. до одной десятитысячной миллиметра. Золото (но не серебро) мы можем расплющить именно до такой толщины. Однако столь тонкие металлические листочки становятся до некоторой степени прозрачными для лучей света, и, следовательно, лучевое давление для них значительно ослабевает.

Но допустим на минуту, что техника преодолела это препятствие. Пусть в нашем распоряжении имеется металлический сплав, который даже вдесятеро легче серебра и может

расплющиваться до толщины в одну десятую микрона, сохраняя при этом способность полностью отражать лучи света. Как вы думаете, какой величины понадобилось бы зеркало из этого металла, чтобы под ударами световых лучей оно могло унести в мировое пространство кабину с пассажирами и всеми необходимыми припасами? Легко вычислить, что зеркало должно было бы иметь поверхность ни мало ни много — в несколько квадратных верст!

Даже фантазия романистов останавливается перед сооружением такого гигантского зеркала, которое должно служить как бы парусом в межпланетных путешествиях. Так, в одном русском астрономическом романе автор предпочел допустить, что физики ошибаются насчет истинной величины светового давления и что в действительности оно в 1000 раз более, чем мы полагаем. При таком допущении (которое, к слову сказать, внесло бы изрядное расстройство в движение планет и особенно комет) романисту удастся, конечно, соорудить межпланетный корабль, вполне пригодный для потребностей фантастического романа, но, увы! — совершенно неосуществимый в реальной действительности...



ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

Звук. Волнообразное движение

Звук и пуля

Когда пассажиры жюль-вернова ядра полетели на Луну, они 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 330 метрам, — а герои романа неслись в ядре со скоростью 11.000 метров в секунду. Понятно, что звук выстрела не мог догнать ядра и достичь ушей пассажиров.

Вам, вероятно, интересно будет узнать, как обстоит дело с настоящими, не фантастическими ядрами и пулями: движутся ли они быстрее звука, или, напротив, звук перегоняет их и предупреждает жертву о приближении смертоносного снаряда?

Современные ружья сообщают пулям в момент выстрела скорость, почти вдвое большую, чем скорость звука в воздухе, — именно около 600 метров в секунду (скорость звука при 0° равна 332 метрам). Правда, звук распространяется равномерно, пуля же летит, замедляя все время быстроту своего полета. Однако в течение большей части своего 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 не только звук выстрела, но и произво-

димый ею при движении свист; и если вам суждено стать ее жертвой, то пуля попадет в вас раньше, чем звук выстрела или свист полета достигнет вас.

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, пролетающий высоко над нашей головой. Болиды, проникающие в атмосферу нашей планеты из мирового пространства, обладают огромною скоростью, которая, даже будучи уменьшена со-

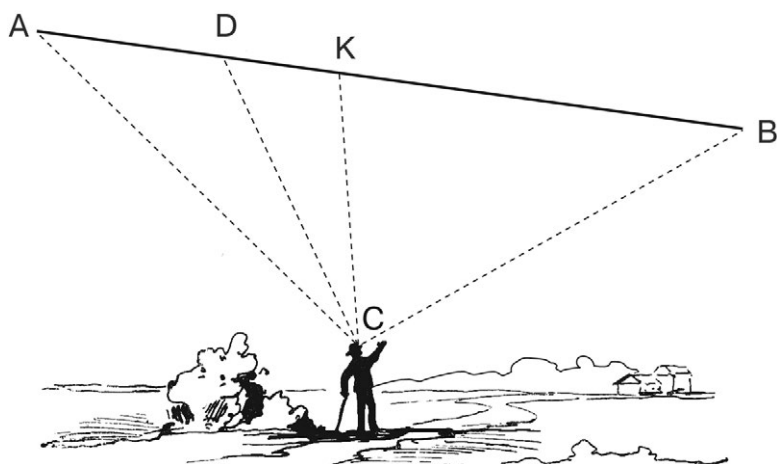


Рис. 114. Мнимый взрыв падающего камня.

противлением атмосферы, все же в десятки раз быстрее звука. Прорезая и накаляя воздух, болиды нередко производят шум, напоминающий гром. Вообразите, что мы находимся в точке C , аверху 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 позднее, чем из точки *D*, то где-то над нашей головой должна быть такая точка *K*, находясь в которой болид подает о себе звуковой сигнал раньше всего.

И 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 в точке *K* над нашей головой, 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 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!

Счастливая случайность

Если бы звук распространялся в воздухе не со скоростью 330 метров в секунду, а гораздо медленнее, то всякого рода обманчивые слуховые впечатления наблюдались бы гораздо чаще.

Вообразите, например, что звук пробегает в секунду не 330 метров, а 330 миллиметров (пол-аршина), т. е. движется медленнее пешехода. Вы сидите в кресле и слушаете рассказ вашего знакомого, который имеет привычку говорить, расхаживая взад и вперед по комнате. При обыкновенных обстоятельствах это расхаживание несколько не мешает вам слушать; но при уменьшенной скорости звука вы ровно ничего не поймете из речи вашего гостя: звуки, произнесенные им прежде, будут перемешиваться с новыми, и получится путаница звуков, лишенная всякого смысла.

Между прочим, в те моменты, когда гость приближается к вам, звуки его слов будут достигать вас в обратном порядке: сначала до вашего слуха достигнут звуки, только что произнесенные, потом звуки, произнесенные ранее, затем — еще

ранее и т. д., — потому что произносящий обгоняет свои звуки и все время находится впереди них, продолжая издавать новые. Из всех фраз, произнесенных при подобных условиях, вы могли бы понять разве только ту, которою великовозрастный бурсак изумил некогда юного Карся-Помяловского:

Я ИДУ С МЕЧЕМ, 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, что действительная скорость звука в воздухе — треть версты в секунду — всегда достаточная быстрота, то сейчас измените свое мнение.

Вообразите, что вместо электрического телефона между Москвой и Петроградом устроена обыкновенная переговорная труба вроде тех домашних телефонов, которыми соединяются отдельные помещения больших магазинов. Вы стоите у петроградского конца этой 600-верстной трубы, а ваш собеседник — у московского. Вы задаете ему вопрос и ожидаете ответа. Проходит пять, десять, пятнадцать минут — ответа нет. Вы начинаете беспокоиться и думаете, что с вашим собеседником случилось несчастье. Но опасения напрасны: ваш вопрос *еще не дошел до Москвы* и находится теперь только на половине пути. Пройдет еще четверть часа, прежде чем ваш знакомый в Москве услышит вопрос и сможет дать ответ. Но и его реплика будет идти из Москвы в Петроград не менее получаса, так что ответ на свой вопрос вы получите только через час.

Можете сами проверить расчет: от Петрограда до Москвы 600 верст; звук проходит в секунду $\frac{1}{3}$ версты; значит,

* Строго говоря, это, конечно, неверно: мы произносим в один прием не отдельные буквы, а целые слоги. Фраза будет слышна приблизительно так: я дису м-чо-мес ду-и-я.

расстояние между столицами он пробежит в 1800 секунд, или в 30 минут.

Вы понимаете, что при таких условиях, разговаривая целый день с утра до вечера, вы едва успеете обменяться десятком фраз.

Скорейшим путем

Было время, когда такой способ передачи известий считался очень быстрым. Сто лет тому назад никто еще не мечтал об электрическом телеграфе и телефоне, и передача новости за 600 верст в течение нескольких часов признавалась идеалом быстроты.

Рассказывают, что при короновании императора Павла I извещение о моменте начала торжества в Москве было передано в Петроград следующим образом. Вдоль всего пути между обеими столицами были расставлены солдаты, в ста саженях один от другого; при первом ударе колокола Успенского собора ближайший солдат выстрелил в воздух; его сосед, услышав сигнал, также немедленно разрядил ружье, за ними стрелял третий часовой — и таким образом сигнал был передан в Петроград в течение всего трех часов. И спустя три часа после первого удара колокола Успенского собора уже грохотали пушки Петропавловской крепости.

Если бы звон московских колоколов мог быть непосредственно услышан в Петрограде, то этот звук, как мы уже знаем, пришел бы в северную столицу с опозданием всего на полчаса. Значит, из трех часов, употребленных на передачу сигнала, $2\frac{1}{2}$ 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 времени накопилось $2\frac{1}{2}$ часа.

Звуковой телеграф у диких народов

Передача известий посредством звуковых сигналов еще и теперь очень распространена у первобытных обитателей Африки, Центральной Америки и Полинезии. Для этой цели

дикари употребляют особые барабаны, с помощью которых передают звуковые сигналы на огромное расстояние: условный сигнал, услышанный в одном месте, повторяется в другом, передается таким образом далее, — и в короткое время

обширная область уведомляется о каком-либо важном событии.

Во время войны Италии с Абиссинией все передвижения итальянских войск быстро становились известными негусу Менелику; обстоятельство это приводило в недоумение штаб итальянской армии, не подозревавший о существовании у противника звукового телеграфа.

То же самое наблюдалось и во время англо-бурской войны: благодаря «телеграфу» кафров все военные известия с необыкновенной быстротой распространялись среди



Рис. 115а. Выдолбленный ствол у туземных жителей Новых Гебрид. Ствол этот служит для звуковой сигнализации.



Рис. 115б. Житель островов Фиджи, бьющий в сигнальный барабан.

обитателей Капланда, на несколько суток опережая официальные донесения через курьеров.

Беззвучные звуки

Есть люди, которые совершенно не слышат таких резких звуков, как пение сверчка или писк летучей мыши. Не думайте, что эти люди глухи — нет, их органы слуха в полной 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 больше 40.000 колебаний, мы опять не слышим его. Верхняя граница восприятия тонов у разных лиц различна; поэтому и происходит то странное явление, что пронзительный, высокий тон, отчетливо слышимый одним лицом, для другого словно не существует. Многие насекомые (например сверчок) издают звуки, тон которых отвечает 40.000 колебаний в секунду: для одних ушей эти тона существуют, для других — нет; такие нечувствительные к высоким тонам люди наслаждаются полной тишиной там, где другие слышать 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.

Для кого ежедневная газета выходит дважды в день?

Сейчас мы займемся задачей, которая, по-видимому, никакого отношения ни к звуку, ни вообще к физике не имеет. Тем не менее я попрошу вас уделить ей минуту внимания: она может нам легче уяснить себе кое-что из дальнейшего.

Вы, вероятно, уже встречались с этой задачей в одном из ее многочисленных видоизменений. Из Петрограда во Владивосток каждый полдень выходит поезд (этого нет, но вообразим, что это так). И каждый полдень из Владивостока в Петроград также выходит поезд. Переезд длится, положим, 20 дней. Спрашивается: сколько поездов дальнего следования встретится вам во время путешествия из Владивостока в Петроград?

Чаще всего отвечают: 20. Так ответили даже некоторые ученые, когда на съезде математиков один из них за завтраком предложил эту задачу коллегам. Однако ответ неправилен: вы встретите не только те 20 поездов, которые выйдут из Петрограда *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 петроградский поезд везет с собою свежие номера столичных газет. И если вы интересуетесь новостями из Петрограда, 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 газеты 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 случилось на практике убеждаться в его правильности. Вспомните хотя бы, что во время

двухдневного переезда из Киева в Петроград вы успевали прочитать петроградские газеты не за *два*, а за *четыре* дня: те два номера, которые уже вышли в Петрограде 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 почтовых поездов, едущих в столицу.

Дав волю фантазии, вы можете представить себе до крайности наивного провинциала, который в первый раз в жизни совершает дальнюю поездку в Петроград: что подумает он о быстроте петроградской жизни, если будет судить о ней по газетам, совершенно забывая, что читает их в движущемся поезде? Он может подумать, что время в Петрограде течет вдвое быстрее, чем в его родном городе, что в течение недели там бывает 14 дней, причем сутки длятся всего 12 часов, и на языке столичного жителя «вчера» значит «сегодня утром»...

Конечно, поддаться такому самообману невозможно. Но зато в другой области, как вы сейчас увидите, мы нередко становимся жертвами именно подобной иллюзии.

Задача о паровозных свистках

Если вы обладаете развитым музыкальным слухом, то заметили, вероятно, как изменяется тон (не громкость, а именно *тон*) 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 верст в час), 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; сопоставьте же это с тем, что вы узнали при обсуждении предыдущей задачи. Свисток встречного паровоза все время испускает один и тот же звук, с определенным числом колебаний. Но ваше ухо воспринимает различное число колебаний, в зависи-

мости от того, едете ли вы навстречу, стоите ли на месте или удаляетесь от источника колебаний.

И подобно тому, как, едучи в Петроград, вы читаете ежедневную газету чаще семи раз в неделю, так и здесь, приближаясь к источнику звука, вы улавливаете колебания чаще, чем они выходят из свистка локомотива. Но здесь вы уже не рассуждаете, как прежде; ваше ухо получает увеличенное число колебаний — и вы 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. 116, вверху). Свисток производит воздушные волны, и мы рассмотрим для простоты только 4 волны; 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 дойдет волна № 1, № 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* (нижний чертеж на рис. 116). 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* волна дойдет раньше, чем к *B*. Промежуточные волны — № 1 и № 2, — также придут в *B* позднее, 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 бо-

лее 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^* .

Правило Допплера

Явление, которое мы только что описали, было открыто 70 лет тому назад физиком Допплером и навсегда осталось связанным с именем этого ученого. Закон изменения частоты волн при приближении или удалении наблюдателя и источника называется в физике «правилом Допплера». Оно применимо не только к звуку, но и к световым явлениям, потому что свет

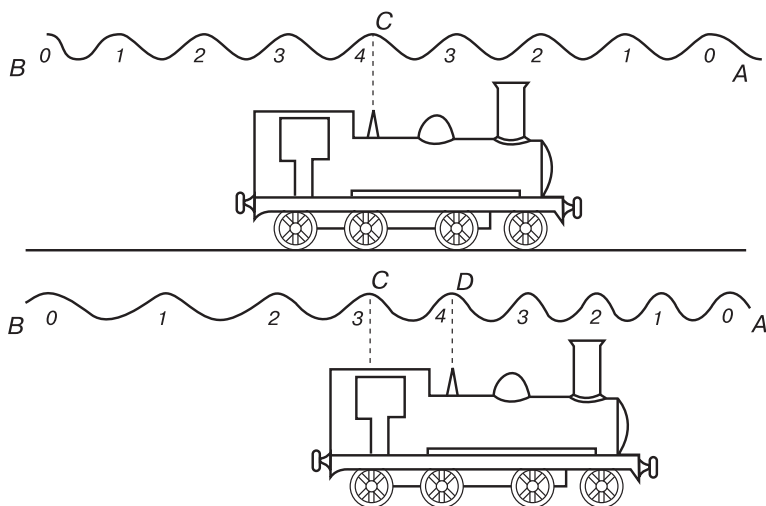


Рис. 116. Задача о паровозных свистках.

тоже распространяется волнами. Учащение волн (воспринимаемое в случае звуковых волн как повышение тона) кажется глазу изменением *цвета*. Правило Допплера дает астрономам чудесную возможность не только открыть, приближается ли

* Волнообразные линии на обоих рисунках не изображают *формы* звуковых волн: колебание частиц в воздухе происходит *вдоль* направления движения звука, а не поперек. Волны изображены здесь *поперечными* только ради большей наглядности.

звезда к нам или удаляется, — но даже позволяет измерить величину этого перемещения.

Помощь астроному оказывает при этом боковое смещение темных линий, прорезывающих полосу спектра. Внимательное изучение того, в какую сторону и насколько сдвинулись эти темные линии в спектре небесного светила, позволило астрономам сделать целый ряд изумительных открытий. Так, благодаря «правилу Допплера» мы знаем теперь, что яркая звезда Сириус каждую секунду удаляется от нас на 75 верст! Эта звезда находится от нас на таком неимоверно огромном расстоянии, что удаление даже на биллионы верст не изменяет ее видимой яркости.

«С каждым годом, — говорит К. Фламарион, — расстояние, отделяющее нас от Сириуса, увеличивается на 1.000 миллионов верст, — более чем на $2\frac{1}{2}$ миллиона верст в одни сутки! А между тем за четыре тысячи лет, протекающие с тех пор, как глаза земных людей остановились на этой прекрасной звезде, она не изменила своего блеска! В эти тысячи лет наблюдения звезда прошла сотни тысяч миллионов или даже биллионы верст; разница между теперешним положением Сириуса и положением его за четыре тысячи лет до нас должна быть не менее 4 биллионов верст, — и, несмотря на такую разницу, Сириус, по-видимому, несколько не уменьшил своей яркости, продолжая занимать до сих пор царственное место среди всех звезд!»

Мы, вероятно, никогда не узнали бы о движении этого светила, если бы нам не помогло правило Допплера.

С поразительною наглядностью сказывается на этом примере то, что физика есть поистине *всеобъемлющая* наука. Открыв закон для звуковых волн, достигающих в длину нескольких аршин или сажень, она уверенно применяет его к невообразимо маленьким световым волнам, длиною всего в несколько десятитысячных долей миллиметра, — и затем с необычайною точностью пользуется этим знанием, чтобы измерять грандиозные движения гигантских солнц.

Со скоростью звука

Что слышали бы вы, если бы удалялись от играющего оркестра со скоростью звука?

Человек, едущий из Петрограда на почтовом поезде, на всех станциях видит 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 далеко позади. На этом основании можно, пожалуй, заключить, что, удаляясь от оркестра со скоростью звука, мы все время будем слышать одну и ту же ноту, — именно ту, которую он взял в начальный момент нашего движения.

Однако заключение это неверно; если вы удаляетесь со скоростью звука, то звуковые волны вовсе не ударяют в вашу барабанную перепонку и, следовательно, вы не можете слышать никакого звука. Вы будете думать, что оркестр внезапно 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, всюду встречающий 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 *газеты прекратили бы свое существование*, — как прекратилось бы существование звука для движущегося слушателя.

Возрождение старой ошибки

Любопытно, что в этом вопросе могут иногда запутаться даже ученые, — хотя, в сущности, он не так уж сложен. В споре со мной один астроном (ныне покойный) 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. 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 утверждение не верны: при указанных обстоятельствах *мы не услышим звука и не увидим молнии*. Я останавливаюсь на этих ошибочных рассуждениях потому, что их, к сожалению, приходится встречать даже в книгах, написанных известными учеными. Фламмарин, например, делает ту же самую ошибку в своем научно-фантастическом романе «Люмен»*.

Такие рассуждения удивительно напоминают знаменитый софизм Зенона о том, что летящая стрела неподвижна. Сущность ошибки во всех этих случаях одна и та же. Нельзя утверждать, что если в каждой точке пространства *неподвижный* наблюдатель видит молнию и слышит звук, — то значит, он будет видеть и слышать их также при *перемещении* в пространстве... Раз наблюдатель перемещается, он перестает быть неподвижным, и к нему нельзя уже применить того, что справедливо только для неподвижного наблюдателя.

Свет и время

Воспользуемся еще раз нашей беседой о поездах и газетах, чтобы обратить внимание на одно любопытное обстоятель-

* См. «Занимательная физика», книга первая.

ство из области световых явлений. Световые волны — это те же номера газет: если будем быстро двигаться им навстречу, мы будем встречать их чаще, чем они исходили из своего источника. И здесь-то мы вполне уподобляемся тому вымышленному провинциалу, который воображает, что время в Петрограде течет быстрее, чем в его родном городе.

Вспомним, как была впервые определена скорость света. Один из спутников Юпитера, обращающийся вокруг него в 42 часа, при каждом обороте погружается в тень своей планеты. С Земли мы легко можем наблюдать это затмение; а зная время обращения спутника, можем заранее вычислить моменты начала и конца затмения. Оказалось, однако, что вычисления и наблюдения не согласуются: когда Земля ближе к Юпитеру, затмения наступают *раньше*, чем в тех случаях, когда Земля дальше от этой планеты. Отсюда и вывели заключение, что свет требует некоторого времени для прохождения излишка пути.

Это один вывод. Но обратите внимание и на второй вывод, который тоже очень любопытен: когда мы приближаемся к системе Юпитера, движение его спутника представляется нам *ускоренным против действительного*! Ведь преждевременное наступление затмения спутника есть не что иное, как ускорение его обращения. И напротив, когда мы удаляемся от системы Юпитера, она начинает *для нас* вращаться медленнее. Если бы на месте системы Юпитера находился грандиозный циферблат, а вместо спутника двигалась бы стрелка, то мы видели бы, как стрелка этих мировых часов движется то быстрее, то медленнее, в зависимости от *скорости*, с какою мы приближаемся к ним или удаляемся от них. Нам бы казалось, что там *время течет иначе, чем у нас...*

Дальнейшее развитие этой неожиданной мысли завело бы нас в область таких отвлеченных теорий, рассматривать которые не место в этой книге. Но вы видите уже, какие необычайные вещи открываются подчас, если глубоко вдумываться в самые, казалось бы, простые явления.



«Занимательная физика» окончена. 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 его достигнута, и с чувством полного удовлетворения ставит он последнюю точку после слова

К О Н Е Ц.

ОГЛАВЛЕНИЕ

"Занимательной физике" — 85! Ю. Морозов 3

ПРЕДИСЛОВИЕ 7

ГЛАВА ПЕРВАЯ

Законы движения. 11

Самый дешевый способ путешествовать 11

«Земля, остановись!» 13

Письмо с воздушного шара 17

Безостановочная железная дорога. 18

Улицы будущего 21

Непостижимый закон 23

Отчего погиб Святогор-богатырь? 25

Можно ли двигаться, ни на что не опираясь? 27

Почему взлетает ракета? 27

Как движется каракатица? 30

К звездам на ракете. 32

ГЛАВА ВТОРАЯ

Силы. Работа. Трение 35

Задача о лебеде, раке и щуке 35

Вопреки Крылову 37

Легко ли сломать яичную скорлупу? 39

На парусах против ветра 41

Мог ли Архимед поднять Землю? 44

Жюль-верновский силач и — формула Эйлера	46
От чего зависит крепость узлов?	49

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

Вращательное движение. Центробежная сила.	51
Почему не падает вращающийся волчок?	51
Искусство жонглеров	53
Новое решение Колумбовой задачи	56
Уничтоженная тяжесть	57
Вы выступаете в роли Галилея	59
Мой спор с вами	61
Финал нашего спора	64
В заколдованном шаре	64
«Чертова петля».	69
Математика в цирке	72
Куда девалось 5.000 пудов?	75
Мир наизнанку	76

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

Всемирное тяготение. Вес и масса	79
Велика ли сила притяжения?	79
Стальной канат от Земли до Солнца	81
Можно ли укрыться от силы тяготения?	82
Как полетели на Луну герои Уэллса	84
Невесомый груз.	86
Полчаса на Луне	87
Еще десять минут на Луне	91
Легкость особого рода	94
В бездонном колодце	96
Самокатная подземная дорога	98
Миллионы лет назад	100

ГЛАВА ПЯТАЯ

Путешествие в пушечном ядре	102
Ньютонова гора	102
Фантастическая пушка	104
Тысячепудовая шляпа	105
Еще один опасный момент	106
Как избежать сотрясения?	108
Для друзей математики	109

ГЛАВА ШЕСТАЯ

Свойства жидкостей и газов	112
Море, в котором нельзя утонуть	112
Вечный водяной двигатель	114
Новые Героновы фонтаны	115
Как будто простая задача	117
Удивительный сосуд	119
Человек, который ничего не весил	120
Поклажа из воздуха	124
Отчего притягиваются корабли?	127
Путешествие в недра Земли	130
Фантазия и математика	131

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

Теплота	134
Легенда о сапоге в бане	134
Барометр или термометр?	135
Египетские чудеса	137
Часы, которые не надо заводить	138
Физика на балу	140
Греет ли вуаль?	141
Отчего при ветре холоднее?	141

Горячее дыхание пустыни	142
Охлаждающие кувшины	143
Какую жару мы способны переносить?	144
Задача о ледяных сосульках	145
Для чего служит ламповое стекло?	147
Отчего пламя не гаснет само собой?	148
Недостающая глава в романе Жюль Верна	149
Завтрак в невесомой кухне	150
Как тушат огонь при помощи огня	155
Всегда ли кипяток горяч?	158

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

Магнетизм. Электричество	161
«Любящий камень»	161
Наподобие Магометова гроба	163
Движение без трения	164
Сражение марсиан с землянами	167
Часы и магнетизм	169
Магнитный вечный двигатель	170
Еще одна заманчивая надежда	172
Еще одно разочарование	174
Почти вечное движение	175
При свете молнии	177
Сколько стоит молния?	178
Электрический фонтан	179
Волшебные струи	181

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

Свет и зрение	183
Невидимый человек	183
Могущество невидимого	185

Может ли невидимый видеть?	186
Человеческий глаз под водой	187
Как видят водолазы?	188
Новые Робинзоны	189
Необыкновенная причина пожара.	191
Как добыть огонь с помощью льда?	192
«Зеленый луч»	194
Как искать «зеленый луч»?	196
«Красный луч»	197
Искусство рассматривать фотографии	198
Когда полезно смотреть одним глазом?	199
На каком расстоянии надо держать фотографию?	200
Странное действие увеличительного стекла	201
Увеличенные фотографии	202
Секрет «стереопана» и «пластоскопа»	204
Рельефность картин кинематографа	205
Совет читателям иллюстрированных журналов	205
Зрение тремя глазами	207
Усовершенствование кинематографа	208
Слепое пятно нашего глаза	210
Какой величины вам кажется Луна?	211
Видимые размеры светил	213
Зрительные самообманы	218
Иллюзия, полезная для портных	218
Что больше?	219
Сила воображения	221
Еще иллюзия зрения	222
Что это?	225
Необыкновенные колеса	226
Почему заяц «косой»?	228

Давление лучей света	229
По океану вселенной	231

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

Звук. Волнообразное движение	233
Звук и пуля	233
Мнимый взрыв	234
Счастливая случайность	235
Самый медленный разговор	236
Скорейшим путем	237
Звуковой телеграф у диких народов	237
Беззвучные звуки	239
Для кого ежедневная газета выходит дважды в день?	240
Задача о паровозных свистках	241
Правило Допплера	243
Со скоростью звука	245
Возрождение старой ошибки	245
Свет и время	246

Научно-популярное издание

Я. И. Перельман

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

Книга 2

Над книгой работали:

Обложка – Григорян М. Э.

Рисунки – Петухов Д. В.

Компьютерная верстка – Терехов С. И.

Генеральный директор – Бодрова Ж. Л.

Издательство «РИМИС»

<http://www.rimis.ru>

123007, Москва, 2-ой Силикатный пр-д, д. 8

Оптовые продажи: (499) 946-22-06

E-mail: info@rimis.ru

Подписано в печать 15.05.2009 г.

Формат 84x108¹/₃₂.

Усл. печ. л. 13,44

Тираж 4000 экз.