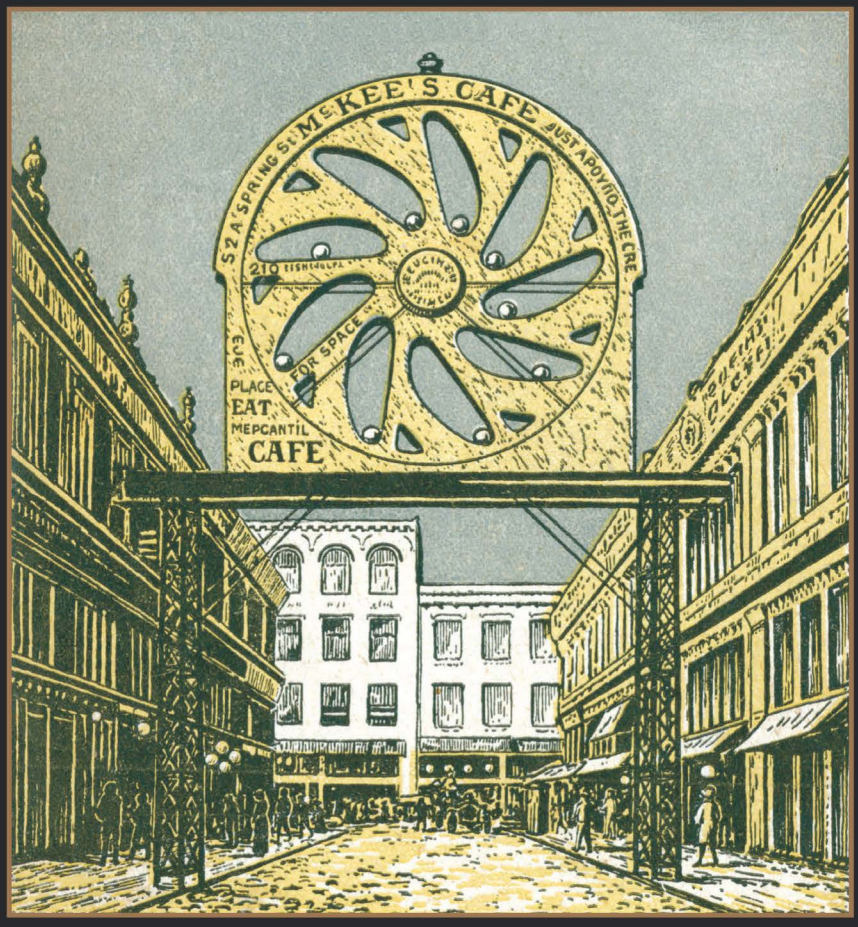
Я. И. ПЕРЕЛЬМАН

# ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА




«Занимательная физика»,
книги первая и вторая
«Занимательная механика»
Свыше четырехсот пятидесяти иллюстраций
Юрия Скалдина

БИБЛИОТЕКА МИРОВОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

*Яков Исидорович Перельман*
*(1882–1942)*

**Яков Перельман**

# ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

Иллюстрации
*Ю. Д. Скалдина*

творческое объединение
Алькор

*Совместный проект издательства СЗКЭО
и переплетной компании
ООО «Творческое объединение „Алькор“»*

Санкт-Петербург
СЗКЭО

УДК 51-053.2
ББК 22.1
П27

Тексты в современной орфографии воспроизводятся по изданиям:

*Перельман Я. И. Занимательная физика : Парадоксы, головоломки, задачи, опыты, замысловатые вопросы и рассказы из области физики. : Кн. I и II. 13-е изд. — Л.: Мол. гвардия. Ленингр. отд-ние, 1936*

*Перельман Я. И. Занимательная механика. 4-е изд. — Л.; М.: Б. и. ОНТИ, Глав. ред. науч.-попул. и юношеской лит-ры, 1937*

Первые 100 пронумерованных экземпляров
от общего тиража данного издания переплетены мастерами
ручного переплета ООО «Творческое объединение „Алькор“»

Классический европейский переплет выполнен
из натуральной кожи особой выделки растительного дубления.
Инкрустация кожаной вставкой с полноцветной печатью.
Тиснение блинтовое, золотой и цветной фольгой.
6 бинтов на корешке ручной обработки.
Использовано шелковое ляссе, золоченый каптал из натуральной кожи,
форзац и нахзац выполнены из дизайнерской бумаги Malmero
с тиснением орнамента золотой фольгой. Обработка блока
с трех сторон методом механического торшонирования
с нанесением золотой матовой полиграфической фольги горячим способом.
Оформление обложки пронумерованных экземпляров
разработано в ООО «Творческое объединение „Алькор“»

П27 **Перельман Я.** Занимательная физика. — СПб.: СЗКЭО, 2023, — 656 с., ил.

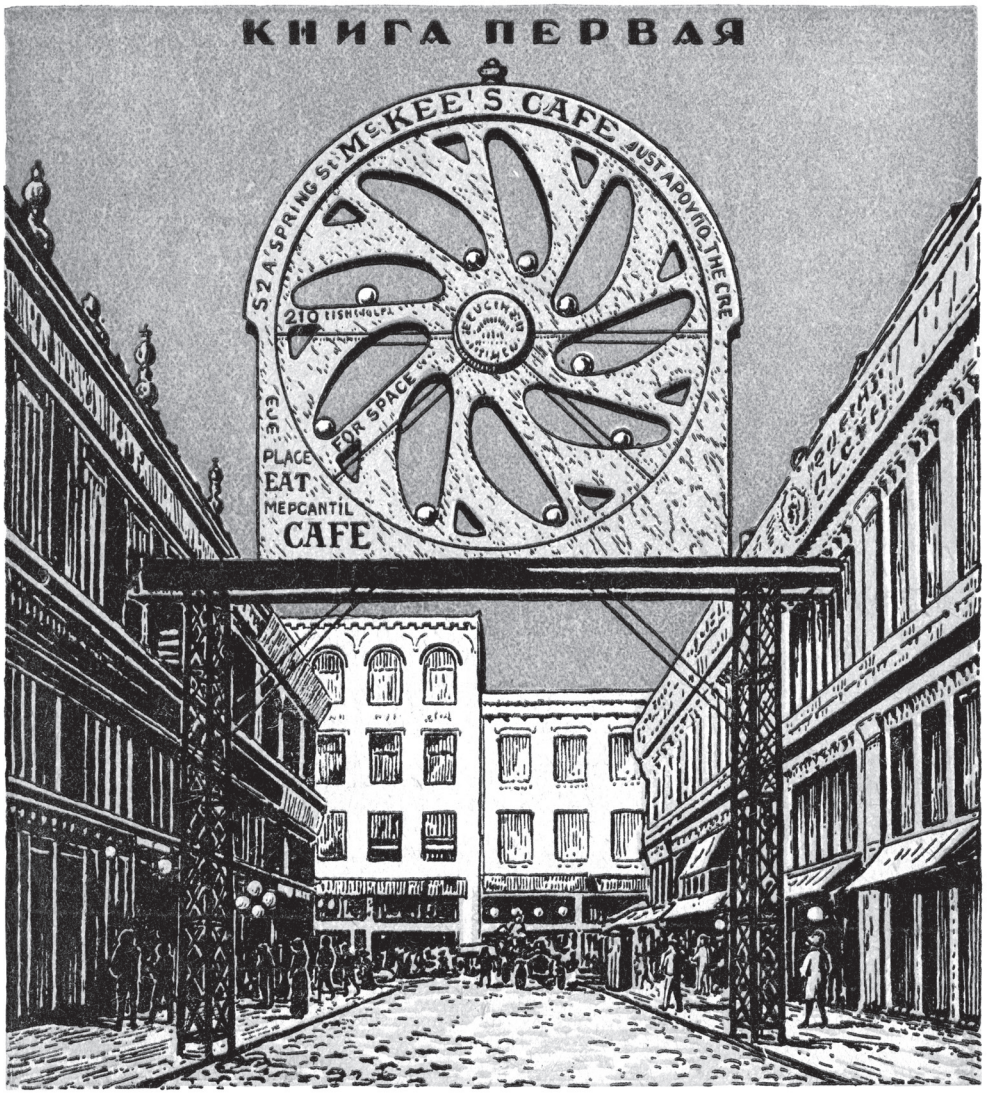
В сборник вошли три книги замечательного популяризатора науки Якова Исидоровича Перельмана (1882–1942) — обе части «Занимательной физики» и «Занимательная механика». Эти сочинения приобщают к миру научных знаний, помогают привить читателю вкус к изучению точных наук, вызывают интерес к самостоятельным творческим занятиям.
478 рисунков в этих книгах выполнил (в тесном контакте с самим Перельманом) штатный художник ленинградского издательства «Время» Юрий (Георгий) Дмитриевич Скалдин (1891–1951), младший брат писателя Алексея Дмитриевича Скалдина, умевший великолепно иллюстрировать самые сложные научные явления и опыты.

ISBN 978-5-9603-0781-9 (7БЦ)
ISBN 978-5-9603-0782-6 (Кожаный переплет)
© СЗКЭО, 2023

Я. И. ПЕРЕЛЬМАН

# ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

КНИГА ПЕРВАЯ




ВРЕМЯ

Иллюстрация на предыдущей странице воспроизводится по изданию:

*Перельман Я. И. Занимательная физика : Парадоксы, головоломки, задачи, опыты, замысловатые вопросы и рассказы из области физики. Книга первая. — 10-е изд., перераб. и доп. — Л. : Время, 1932* (*примеч. ред.*).

## Из предисловия к тринадцатому изданию

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

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

Вопреки обычаю, установившемуся для подобного рода сборников, в «Занимательной физике» весьма мало места отводится описанию забавных и эффектных физических *опытов*. Эта книга имеет иное назначение, нежели сборники, предлагающие материал для экспериментирования. Главная цель «Занимательной физики» — возбудить деятельность научного воображения, приучить читателя мыслить в духе физической науки и создать в его памяти многочисленные ассоциации физических знаний с самыми разнородными явлениями жизни, со всем тем, с чем он обычно входит в соприкосновение. Установка, которой составитель старался придерживаться при переработке книги, была дана В. И. Лениным в следующих словах: «Популярный писатель подводит читателя к глубокой мысли, к глубокому учению, исходя из самых простых и общеизвестных данных, указывая при помощи несложных рассуждений или удачно выбранных примеров главные *выводы* из этих данных, наталкивая думающего читателя на дальнейшие и дальнейшие вопросы.

Популярный писатель не предполагает не думающего, не желающего или не умеющего думать читателя, — напротив, он предполагает в неразвитом читателе серьезное намерение работать головой и *помогает* ему делать эту серьезную и трудную работу, *ведет* его, помогая ему делать первые шаги и *учa* идти дальше самостоятельно»[1].

В предыдущем, 12-м издании текст книги был пополнен многочисленными вставками, увеличено было и число иллюстраций. При просмотре книги для настоящего 13-го издания также сделаны, помимо исправлений, новые вставки и добавлены иллюстрации. Автор пользуется случаем выразить здесь свою глубокую признательность корреспондентам-читателям (число которых очень велико), любезно помогшим своими указаниями очистить книгу от погрешностей, обмолвок и неясностей.

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

«Занимательная физика» «родилась» четверть века назад и была первенцем в многочисленной книжной семье ее автора, насчитывающей сейчас несколько десятков членов. Законченная рукопись сдана была в набор весною 1911 г., но лежала без движения в типографии два года, и лишь весною 1913 г. книга вышла наконец в свет.

В настоящий момент[2] общее число напечатанных экземпляров двухтомной «Занимательной физики» на русском языке приближается к 200 000. Так как бóльшая часть тиража размещена в библиотеках, где каждый экземпляр проходит десятки рук, то читателей книги надо исчислять, вероятно, миллионами. «Занимательной физике» посчастливилось проникнуть — как свидетельствуют письма читателей — в самые глухие уголки Союза.

В 1925 г. издан был перевод «Занимательной физики» на украинский язык, в 1931 г. — на немецкий и новоеврейский[3]; сокращенный перевод ее на немецкий язык появился и в Германии. Выдержки из нее печатались на французском языке (в Швейцарии и в Бельгии), а также на древнееврейском[4] (в Палестине).

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

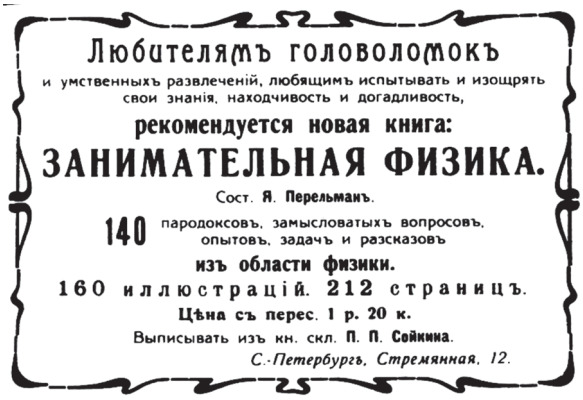
---

[1] Из отзыва о журнале «Свобода», опубликованного в «Ленинградской правде» 21 января 1936 г.

[2] Текст написан в 1936 г. (*примеч. ред.*).

[3] Т. е. на идиш (*примеч. ред.*).

[4] Т. е. на иврите; всего же к началу XXI в. «Занимательная физика» переиздана более чем на пятидесяти языках в 30 странах мира (*примеч. ред.*).




*Реклама первого издания «Занимательной физики». 1913 г.*

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

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

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

*Я. Перельман*

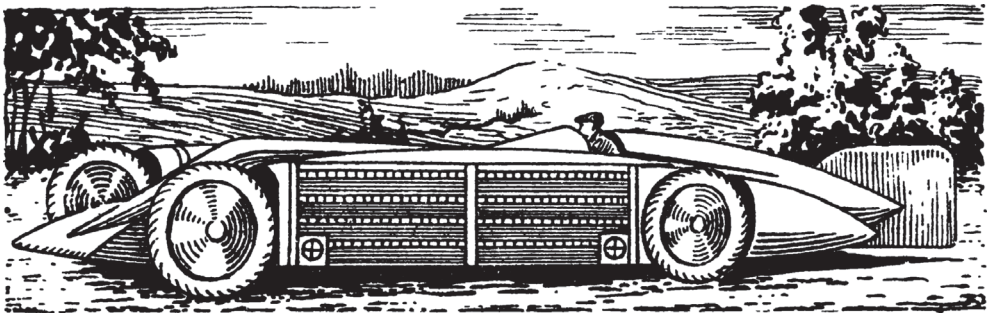


*Рис. 1. Автомобиль «Золотая стрела»,*
*поставивший в 1929 г. в Америке мировой рекорд скорости — 370 км в час.*
*Рекорд этот в 1932 г. побит «Синим голубем» (435 км в час).*

## *ГЛАВА ПЕРВАЯ*

# СКОРОСТЬ — СЛОЖЕНИЕ ДВИЖЕНИЙ

### Как быстро мы движемся?

Наш недавний[1] зарубежный гость, французский спортсмен Жюль Лядумег, показавший в 1934 г. москвичам свое мастерство в беге, заслужил мировую известность тем, что установил непревзойденный рекорд быстроты бега: дистанцию в один километр он пробежал в 2 минуты 23,6 секунды![2] Для сравнения с обычной скоростью пешехода — 1½ метра в секунду — надо сделать маленькое вычисление; тогда окажется, что Лядумег пробегал в секунду 7 метров. Впрочем, скорости эти не вполне сравнимы: пешеход может ходить долго, целые часы, делая по 5 километров в час, спортсмен же способен поддерживать значительную быстроту своего бега всего несколько минут. Пехотная воинская часть перемещается бегом втрое медленнее рекордсмена; она делает 2 метра в секунду, или 7 с лишком километров в час, — но имеет перед спортсменом то преимущество, что может совершать гораздо бóльшие переходы.

Интересно сравнить нормальную поступь человека со скоростью таких — вошедших в пословицу — медлительных животных, как улитка или черепаха.

---

[1] Текст написан в 1936 г. (*примеч. ред.*).

[2] Современный мировой рекорд, установленный 5 сентября 1999 г., принадлежит кенийцу Ною Нгени — 2 минуты 11,96 секунды (*примеч. ред.*).

Улитка вполне оправдывает репутацию, приписываемую ей поговоркой: она проходит 1½ миллиметра в секунду, или 5,4 метра в час, — ровно в *тысячу* раз меньше человека! Другое классически медленное животное, черепаха, не намного перегоняет улитку: ее обычная скорость — 70 метров в час.

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

Вообще, помощь созданных человеком машин ставит его в ряд самых быстрых существ мира. Любопытно, что на суше человек может двигаться быстрее, чем на воде. Легкий крейсер идет со скоростью около 75 километров в час. Между тем за границей имеются теперь электропоезда, делающие на рельсах 175 километров в час; вагоны же усовершенствованной конструкции показывают даже скорость в 206 км в час. У нас в СССР разработана (инж. Полуяном и Ивановым) конструкция высокоскоростного поезда (автомотрисы), которая позволит на обыкновенном рельсовом пути достичь 250 км в час (рис. 2)[1]. Еще дальше в этом направлении идет автомобиль: на состязаниях им показан огромный рекорд — 435 км в час. Владелец этого автомобиля,

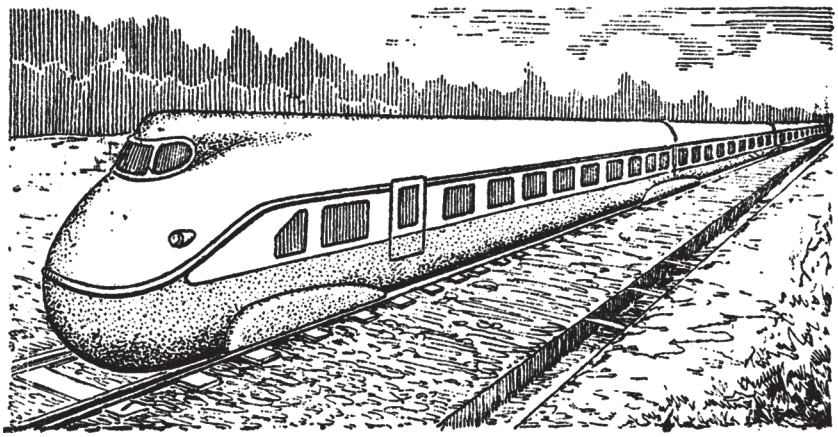


*Рис. 2. Советский сверхскоростной поезд (проект инж. Полуяна).*

[1] Современный рекорд скорости для рельсового транспорта установлен 3 апреля 2007 г. французским поездом *TGV POS* — 574,8 км/ч; а японский поезд на магнитном подвешивании серии *L0* на линии *JR-Maglev* 21 апреля 2015 года разогнался до 603 км/ч (*примеч. ред.*).

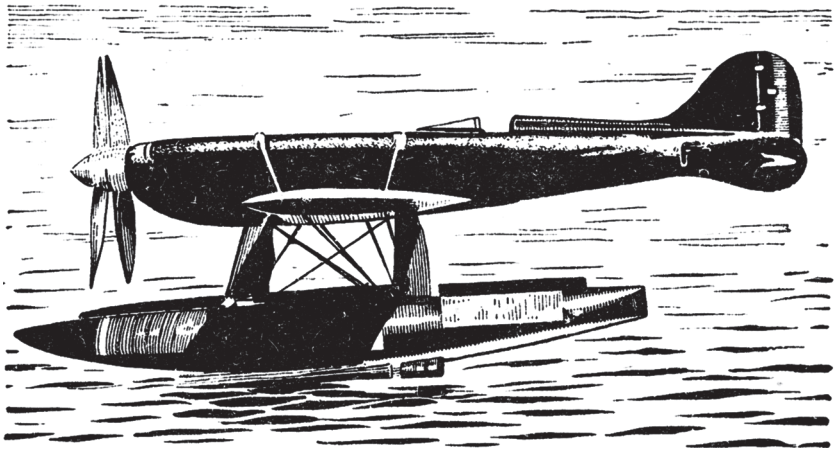


*Рис. 3. Гидросамолет «Макки-Кастальди», на котором итальянский летчик Аджело поставил в 1934 г. мировой рекорд скорости полета — 709,2 км в час.*

носящего название «Синий голубь», предполагает добиться еще большей скорости: 480 км в час.

Все эти достижения далеко перекрывает воздушный транспорт. Самолет-истребитель при обычном полете делает 360 км в час; гидроплан же показывает еще бóльшую быстроту. Осенью 1934 г. итальянский летчик Аджело установил мировой рекорд скорости полета на гидроплане — 709 км в час, побив тем самым свой собственный предыдущий рекорд в 682 км в час[1]. Эту скорость уже можно сопоставлять со скоростью пули, если не ружейной, то револьверной, потому что для рекорда 1934 г. скорость приближается к 200 метрам в секунду!

Читателю поучительно будет теперь просмотреть следующую таблицу скоростей:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Улитка | 1,5 мм/с | — | 5,4 м/ч |
| Черепаха | 20 мм/с | — | 70 м/ч |
| Рыба | 1 м/с | — | 3,6 км/ч |
| Пешеход | 1,4 м/с | — | 5 км/ч |
| Конница шагом | 1,7 м/с | — | 6 км/ч |
| » рысью | 3,5 м/с | — | 12,6 км/ч |
| Муха | 5 м/с | — | 18 км/ч |
| Лыжник | 5 м/с | — | 18 км/ч |
| Конница карьером | 8,5 м/с | — | 30 км/ч |

[1] Современный мировой рекорд скорости для пилотируемого самолета установлен 28 июля 1976 г. на разведчике *Lockheed SR-71* — 3529,56 км/ч (*примеч. ред.*).

| | | | |
|---|---|---|---|
| Линейный корабль | 13,5 м/с | — | 50 км/ч |
| Заяц | 18 м/с | — | 65 км/ч |
| Легкий крейсер | 22 м/с | — | 80 км/ч |
| Орел | 24 м/с | — | 86 км/ч |
| Охотничья собака | 25 м/с | — | 90 км/ч |
| Магнитоплан (рекорд)[1] | 168 м/с | — | 603 км/ч |
| Звук в воздухе | 330 м/с | — | 1200 км/ч |
| Автомобиль (рекорд)[1] | 341 м/с | — | 1228 км/ч |
| Самолет (рекорд)[1] | 980 м/с | — | 3529 км/ч |
| Земля по орбите | 30 000 м/с | — | 108 000 км/ч |

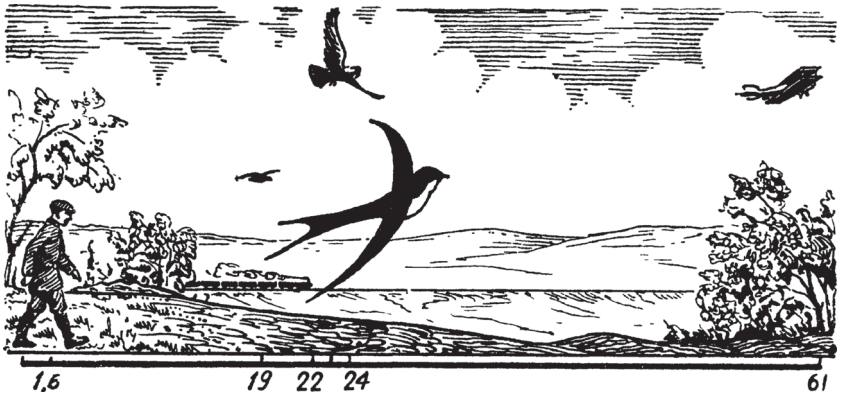



*Рис. 4. Состязание в скорости между аэропланом (61 м в сек.), ласточкой (24 м в сек.), орлом (23 м в сек.), скорым поездом (22 м в сек.), голубем (19 м в сек.) и пешеходом (1,5 м в сек.).*

Итак, из механизмов, сооруженных человеческими руками, быстрее всего движутся аэроплан и автомобиль[2].

Еще быстрее мчатся пули и снаряды. Пуля вылетает из ствола ружья со скоростью 800–900 м в секунду (а из недавно изобретенной на Западе противотанковой винтовки — со скоростью 1600 м в секунду) и, следовательно, даже на экваторе могла бы «перегнать Солнце». Современные так называемые

[1] Данные на начало 2022 г. (*примеч. ред.*).

[2] Современные космические аппараты, стартующие к планетам Солнечной системы, получают начальную скорость свыше 11 200 м/с (вторая космическая). Наибольшей скорости, с которой когда-либо передвигался человек, достиг экипаж «Аполлона-10» 26 мая 1969 г. при возвращении на Землю из лунной экспедиции — корабль вошел в атмосферу Земли на высоте 122 км на скорости 11 082 м/с (39 897 км/ч). А американо-германский солнечный зонд «Гелиос-Б», запущенный 15 января 1976 г., при подлете к Солнцу сумел развить скорость 67 000 м/с (240 тыс. км/ч) (*примеч. ред.*).

сверхдальнобойные орудия извергают свои снаряды с еще большей начальной скоростью, достигающей 2000 м в первую секунду; в дальнейшем движении снаряда скорость эта, конечно, постепенно уменьшается.

Еще недавно принимали, что громадную скорость передвижения показывают птицы во время своих сезонных перелетов. Считалось, например, установленным, что ласточка может при этом развивать скорость до 300 и более километров в час. Новейшие исследования перелетов птиц выяснили, однако, что подобные представления ошибочны и что даже самые быстрые летуны из пернатого мира развивают сравнительно умеренные скорости — не свыше 90 км в час: почтовый голубь — 19 м в сек., орел — 23–24, ласточка — 24 [1].

### Разные способы выражать скорость

В обиходной жизни скорость выражают числом километров в час; в технике предпочитают указывать число метров в секунду, в науке — число сантиметров в секунду[2]. Спортсмены же и физкультурники обычно выражают быстроту движения числом секунд, употребляемых на продвижение на 100 м. Выражение одной и той же скорости у лиц различных специальностей звучит по-разному. Вот, например, как скажут

| | | | |
|---|---|---|---|
| неспециалист: | 18 км | в | час, |
| техник: | 5 м | в | сек., |
| физкультурник: | 100 м | в | 20 сек. |

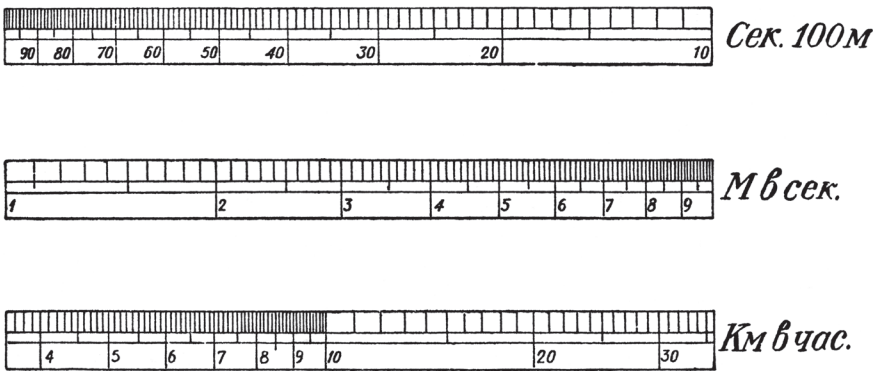



*Рис. 5. Шкала для перевода скоростей.*

[1] По современным данным, почтовые голуби способны развить скорость полета до 100 км/ч (≈ 27 м/с), ласточки — до 119 км/ч (≈ 33 м/с), ястребы — около 224 км/ч (≈ 62 м/с), а горные касатки — 358 км/ч (≈ 100 м/с) (*примеч. ред.*).

[2] Так было до 1960-х гг. — до повсеместного принятия в качестве основной Международной системы единиц СИ (*примеч. ред.*).

Несложным расчетом одно выражение скорости легко переводится в другое. Но можно обойтись и без выкладок, если пользоваться приложенной здесь шкалой. Обращение с нею не требует долгих пояснений: числа, отвечающие одной и той же скорости, написаны одно против другого. Только для скоростей больше 36 км в час требуется нехитрое дополнительное вычисление.

### Быстрее Солнца и Луны

В 1896 г. на автомобильных гонках между Парижем и Брестом, во Франции, была достигнута скорость 20 км в час, т. е. около 6 м в секунду. Это считалось для автомобиля великим триумфом. Но уже через год скорость автомобиля была удвоена, а в 1907 г. автомобили развивали скорость впятеро бóльшую — 30 м в секунду, или 108 км в час. Чтобы яснее представить, как велика эта скорость — 30 м в секунду, — заметим, что камень, брошенный изо всей силы, пролетает в первую секунду вдвое меньше — 15 м.

Но, как уже было сказано, это далеко еще не предельная скорость, какую способны развить машины: на состязании автомобилей в 1923 г. достигнута была скорость в 219 км в час. В 1929 г. в Америке автомобиль особой конструкции[1] развил неслыханную скорость в 370 км в час, или 100 м в секунду. А в 1932 г. на гоночной машине «Синий голубь» в 1400 лош. сил был превзойден и этот рекорд: достигнута скорость 435 км в час! [2]

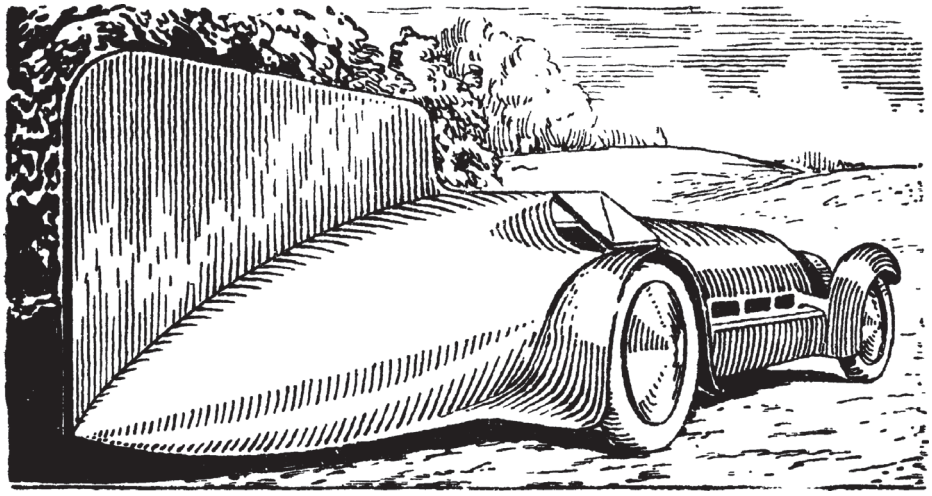


*Рис. 6. Автомобиль «Синий голубь», поставивший в Америке в 1932 г. мировой рекорд скорости на автомобиле — 435 км в час.*

[1] «Золотая стрела» Сигрейва.

[2] Современный мировой рекорд для наземного транспорта был установлен 15 октября 1997 г. на реактивном автомобиле *Thrust SSC* — 1227,986 км/ч (*примеч. ред.*).

В таком автомобиле можно «перегнать Солнце» (точнее, Землю), — по крайней мере в полярных широтах. На 77-й параллели (Новая Земля) подобный автомобиль пробегает столько же, сколько успевает за тот же промежуток времени пройти точка земной поверхности при вращении Земли вокруг оси. Для пассажира такого автомобиля Солнце остановится и будет неподвижно висеть на небе, не приближаясь к закату. Так естественно может современная техника воспроизвести пресловутое библейское чудо, будто бы совершенное некогда Иисусом Навином.

Еще легче «перегнать Луну» в ее собственном обращении вокруг Земли. Здесь для повторения описанного «чуда» по отношению к собственному движению Луны (а не кажущемуся суточному ее движению) вовсе не надо забираться за полярный круг и мчаться с головокружительной быстротою. Луна движется вокруг Земли в 29 раз медленнее, чем Земля вокруг своей оси (сравниваются, конечно, так называемые угловые, а не линейные скорости). Поэтому обыкновенный пароход, делающий 25–30 км в час, может уже в средних широтах «перегнать Луну».

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

## Тысячная доля секунды

Для нас, привыкших мерить время на свою человеческую мерку, тысячная доля секунды равнозначна нулю. Некогда люди считали даже и минуту слишком ничтожной величиной, чтобы стоило ее измерить. Древний человек жил такой неторопливой жизнью, что на его часах — солнечных, водяных, песочных — не было особых делений для минут. Только с начала XVIII века стала появляться на циферблате минутная стрелка. А с начала XIX века, когда жизнь еще более усложнилась, сделалась торопливее, — появилась и стрелка секундная.

Но если для обиходных, житейских целей достаточно мерить время до одной секунды, то для целей научных этого мало. При изучении производственных движений заводских рабочих (по способу *Ф. Джильбрета*[1]) употребляются часы с 1000-ми делениями *минуты*, а в психотехнических лабораториях можно видеть часы, показывающие 1000-е доли *секунды*!

[1] *Джильбрет (Гилбрет) Фрэнк Банкер* (1868–1924) — американский инженер, один из основоположников науки об организации труда (*примеч. ред.*).

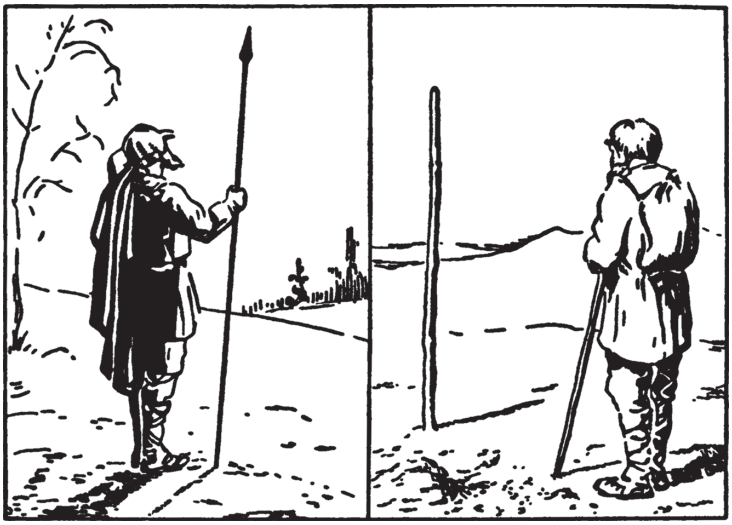


*Рис. 7. Определение времени дня по положению Солнца на небе (налево) и по длине тени (направо).*

Что же, однако, может совершиться в 1000-ю долю секунды?

Очень многое! Курьерский поезд, правда, перемещается в этот промежуток времени всего на 1–1½ сантиметра, но аэроплан передвигается на 10 см, а звук даже на 33 см; земной шар пролетит в своем движении вокруг Солнца в такую долю секунды 30 м, а свет — 300 км.

Мелкие существа, окружающие нас, — если бы они умели рассуждать, — вероятно, не считали бы 1000-ю долю секунды за ничтожный промежуток времени. Для насекомых, например, эта величина довольно ощутима. Комар в течение одной секунды делает 500–600 полных взмахов крылышками; значит, в 1000-ю долю секунды он успевает поднять их или опустить.

Человек не способен перемещать свои члены так быстро, как насекомые. Самое проворное движение наше — мигание глаз, «мгновение ока», или «миг», в первоначальном смысле этих слов. Оно совершается так быстро, что мы не замечаем даже временного затмения поля нашего зрения. Немногие, однако, знают, что это движение — синоним невообразимой быстроты — протекает, в сущности, довольно медленно, если измерять его 1000-ми долями секунды. Полное «мгновение ока» длится — как обнаружили точные измерения (Виктора Анри[1]) — в среднем ⅔ секунды, т. е. 400 тысячных долей ее. Оно распадается на следующие фазы: опускание века (75–90 тысячных секунды), состояние неподвижности опущенного века (130–170 тысячных)

[1] *Анри Виктор Алексеевич* (1872–1940) — французский физиолог и физикохимик русского происхождения; учился и в 1916–1925 гг. работал в России (*примеч. ред.*).

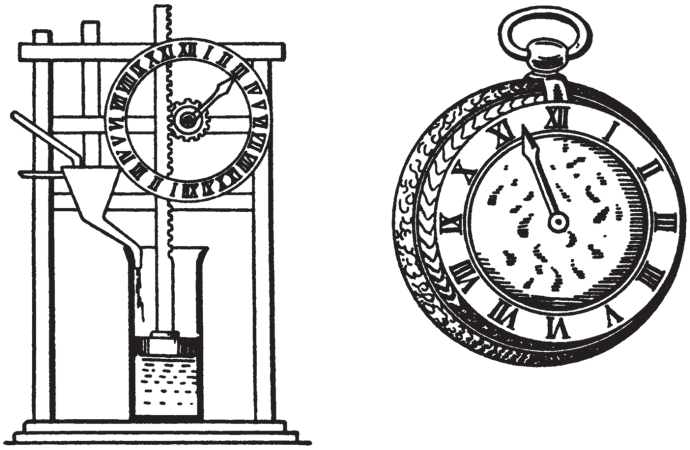


*Рис. 8. Водяные часы (налево), употреблявшиеся в древнем мире. Направо — старинные карманные часы. На тех и других часах еще отсутствует минутная стрелка.*

и поднятие его (около 170 тысячных). Как видите, один «миг» в буквальном смысле этого слова — промежуток довольно значительный, в течение которого глазное веко успевает даже немного отдохнуть. И если бы мы могли раздельно воспринимать впечатления, длящиеся 1000-ю долю секунды, мы уловили бы «в одно мгновение» два плавных движения глазного века, разделенных промежутком покоя.

При таком устройстве нашей нервной системы мы увидели бы окружающий нас мир преображенным до неузнаваемости. Наглядное описание тех странных картин, какие представились бы тогда нашим глазам, дает английский писатель Уэллс в рассказе «Новейший ускоритель». Герои рассказа выпили фантастическую микстуру, которая действует на нервную систему именно таким образом, что делает органы чувств способными к раздельному восприятию быстрых явлений (т. е. ускоряет все восприятия). Вот несколько примеров из рассказа:

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

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

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

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

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

— Вы, конечно, знаете, — сказал Гибберн, — что падающий предмет опускается в первую секунду на 5 м. И стакан пробегает теперь эти 5 м, — но, вы понимаете,

не прошло еще и сотой доли секунды[1]. Это может вам дать понятие о силе моего „ускорителя".

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

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

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

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

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

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

### Лупа времени

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

«Лупа времени» — это кинематографический фотоаппарат, делающий в секунду не 16 снимков, как обычные киноаппараты[2], а во много раз больше. Если заснятое так явление проектировать на экран, пуская ленту с обычной скоростью 16 кадров в секунду, то зрители увидят явление растянутым —

---

[1] Надо иметь в виду к тому же, что в первую сотую долю первой секунды своего падения тело проходит не сотую часть от 5 м, а 10 000-ю (по формуле $S=\frac{gt^2}{2}$), т. е. полмиллиметра, а в первую тысячную долю секунды — всего ½₀₀ мм.

[2] С утверждением в 1930-х гг. звукового кино стандартной стала частота 24 кадра в секунду (*примеч. ред.*).

совершающимся в соответствующее число раз медленнее нормального. Читателю случалось, вероятно, видеть на экране такие неестественно плавные прыжки и другие замедленные явления. С помощью более сложных аппаратов того же рода достигается замедление еще более значительное, почти воспроизводящее то, что описано в рассказе Уэллса.

### Днем или ночью?

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

«Оставайтесь, гражданин, спокойно в своей кровати и помните, что Земля наша вертится. На параллели Парижа — 49-й — вы пробегаете каждые сутки более 25 000 км. А если вы любите живописные виды, откиньте оконную занавеску и восхищайтесь картиной звездного неба».

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

— А все-таки она вертится!

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

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

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

Однако это не так. Спрашивается ведь не о том, когда вся Земля перемещается скорее, а о том, когда мы, ее обитатели, движемся скорее среди звезд. А это уже вовсе не бессмысленный вопрос. В Солнечной системе мы совершаем два движения: несемся вокруг Солнца и в то же время обращаемся вокруг земной оси. Оба движения складываются, но результат получается различный, смотря по тому, находимся ли мы на дневной или на ночной половине Земли. Взгляните на рис. 9, и вы поймете, что в полночь скорость вращения *прибавляется* к поступательной скорости Земли, а в полдень, наоборот, *отнимается* от нее.

Значит, *в полночь мы движемся в Солнечной системе быстрее, нежели в полдень*.

Так как точки экватора пробегают в секунду около полукилометра, то для экваториальной полосы разница между полуденной и полуночной скоростью

*Рис. 9. На ночной половине земного шара люди движутся вокруг Солнца быстрее, чем на дневной.*

достигает целого километра в секунду. Знакомые с геометрией легко могут вычислить, что для Ленинграда[1] (который находится на 60-й параллели) эта разница вдвое меньше: в полночь ленинградцы каждую секунду пробегают в Солнечной системе на полкилометра больше, нежели в полдень[2].

### Загадка тележного колеса

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

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

В чем же разгадка этого странного явления? Да просто в том, что верхняя часть катящегося колеса *действительно движется быстрее, нежели нижняя*. Факт представляется с первого взгляда невероятным, а между тем простое рассуждение убедит вас в этом. Ведь каждая точка катящегося колеса

[1] Ныне Санкт-Петербург; здесь и далее в тексте — в редакции Я. П. (*примеч. ред.*).
[2] При точных расчетах следует учитывать, что плоскость земного экватора наклонена к плоскости орбиты Земли под углом 23,5° (*примеч. ред.*).

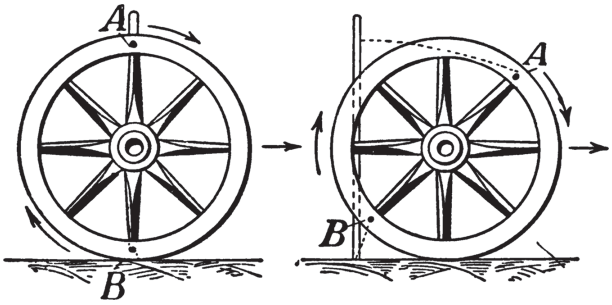



*Рис. 10. Как убедиться, что верхняя часть колеса движется быстрее нижней. Сравните расстояния точек A и B откатившегося колеса (правый чертеж) от неподвижной палки.*

совершает сразу *два* движения: вращается вокруг оси и в то же время подвигается вперед вместе с этой осью. Происходит — как и в случае земного шара — сложение двух движений, и результат для верхней и нижней частей колеса получается неодинаковый. Вверху вращательное движение колеса *прибавляется* к поступательному, так как оба движения направлены *в одну и ту же* сторону. Внизу же вращательное движение направлено в *обратную* сторону и, следовательно, *отнимается* от поступательного. Вот почему верхние части колеса перемещаются относительно неподвижного наблюдателя быстрее, нежели нижние.

То, что это действительно так, легко видеть на простом опыте, который советуем проделать при удобном случае. Воткните в землю палку рядом с колесом стоящей телеги так, чтобы палка приходилась против оси. На ободе колеса, в самой верхней и в самой нижней его частях, сделайте пометки мелом или углем; пометки придутся, следовательно, как раз против палки. Теперь откатите телегу немного вправо (рис. 10), чтобы ось отошла от палки сантиметров на 20–30, и заметьте, как переместились ваши пометки. Окажется, что верхняя пометка *A* переместилась заметно больше, нежели нижняя *B*, которая только едва отступила от палки.

### Самая медленная часть колеса

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

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

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

### Задача не шутка

Вот еще одна не менее любопытная задача (придуманная Гампсоном, автором «Парадоксов природы»): в поезде, мчащемся, скажем, из Ленинграда в Москву, существуют ли точки, которые по отношению к полотну дороги движутся обратно — от Москвы к Ленинграду?

В каждый момент в каждом вагоне существует четыре (или восемь) таких точек. Где же они находятся?

Вы знаете, конечно, что железнодорожные колеса имеют на ободе выступающий край (реборду). И вот оказывается, что самая нижняя точка этого края[1] при движении поезда перемещается вовсе не вперед, а назад! В этом легко удостовериться, проделав такой опыт. К небольшому кружочку — например, к монете или пуговице — прилепите воском спичку так, чтобы она прилегала к кружку по радиусу и далеко выступала за край. Если теперь поместить кружок на край линейки (рис. 11) и начать катить его справа налево, то точки *F*, *E* и *D* выступающей части отодвинутся не вперед, а назад. Чем дальше точка от края кружка, тем заметнее подастся она назад при его катании.

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

Вас не должно удивлять теперь, что в быстро мчащемся поезде существуют точки, которые движутся не *вперед*, а *назад*. Правда, это движение длится лишь ничтожную долю секунды; но, как бы то ни было, обратное перемещение в мчащемся поезде все же существует, наперекор нашим обычным представлениям. Сказанное поясняется рисунками 12 и 13.

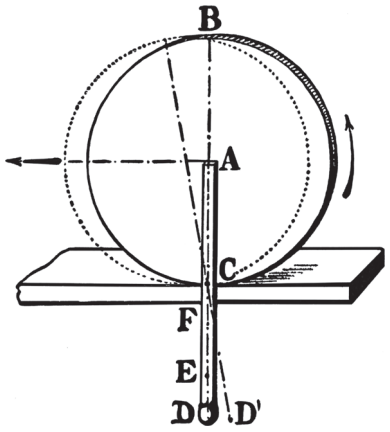



*Рис. 11. Опыт с кружком и спичкой. Когда колесо откатывается налево, точки F, E, D выступающей части спички подвигаются в обратную сторону.*

[1] Точнее, все точки колеса, расположенные в данный момент ниже уровня рельса (*примеч. ред.*).

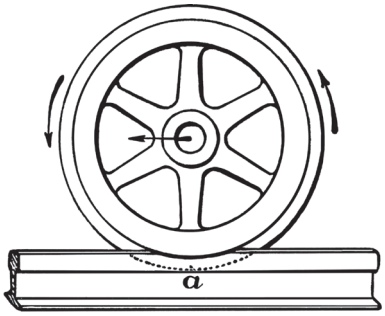



*Рис. 12. Когда железнодорожное колесо катится налево, нижние части его выступающего края движутся направо, т. е. в обратную сторону.*

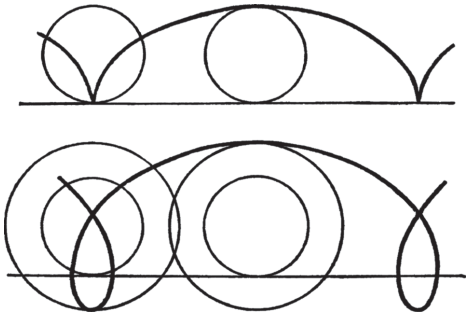


*Рис. 13. Вверху изображена та кривая линия («циклоида»),которую описывает каждая точка обода катящегося колеса телеги. Внизу — кривая линия, описываемая точками выступающего края железнодорожного колеса.*

### Откуда плыла лодка?

Вообразите, что весельная лодка плывет по озеру, и пусть стрелка *a* на нашем рис. 14 изображает направление и скорость ее движения. Наперерез идет парусная лодка; стрелка *b* изображает ее направление и скорость. Если вас, читатель, спросят, откуда эта лодка отчалила, вы, конечно, сразу укажете пункт *M* на берегу. Но если с тем же вопросом обратиться к пассажирам весельной лодки, они указали бы совершенно другую точку. Почему?

Происходит это оттого, что пассажиры видят лодку движущейся вовсе не под прямым углом к пути своей лодки. Они ведь не чувствуют собственного движения: им кажется, что сами они *стоят* на месте, а все кругом несется с их собственною скоростью, но в обратном направлении. *Поэтому для них* парусная лодка движется не только по направлению стрелки *b*, но и по направлению пунктирной линии *a*, обратно движению весельной лодки (см. рис. 15). Оба движения парусной лодки — действительное и кажущееся — складываются по правилу параллелограмма. В результате пассажирам шлюпки кажется, будто парусная лодка движется по диагонали параллелограмма, построенного на *b* и *a*. Вот почему пассажирам представится, что парусная лодка отчалила от берега вовсе не в точке *M*, а в некоторой точке *N*, далеко впереди по движению весельной шлюпки (рис. 15).

От малого перейдем к великому. Когда, несясь вместе с Землей по ее орбите, мы встречаем лучи какой-нибудь звезды, то судим о месте исхода этих лучей так же неправильно, как пассажиры весельной лодки ошибочно определяют место отплытия парусной. Поэтому звезды представляются нам немного перемещенными вперед по пути движения Земли. Конечно, скорость движения Земли ничтожна по сравнению со скоростью света (в 10 000 раз меньше);

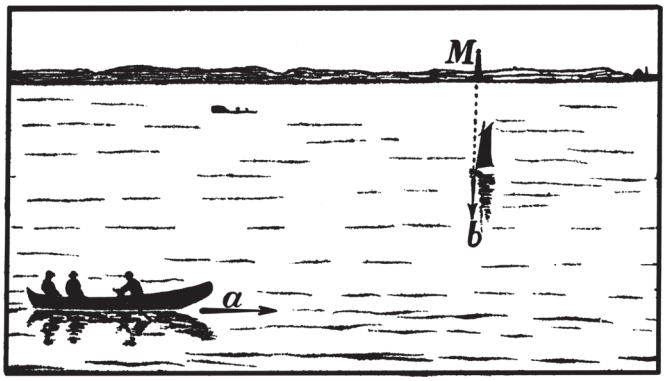



*Рис. 14. Парусная лодка идет наперерез весельной. Стрелки a и b — скорости. Что увидят гребцы?*

поэтому кажущееся перемещение звезд весьма незначительно. Но все же оно улавливается при помощи точнейших астрономических приборов. Явление это носит название астрономической аберрации света.

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

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

2) Куда направляется весельная лодка по мнению пассажиров парусной?

Чтобы ответить на эти вопросы, вам нужно на линии *a* (рис. 15) построить параллелограмм скоростей; диагональ его покажет, что пассажирам парусной лодки весельная кажется плывущей в косом направлении, словно собираясь причалить к берегу.

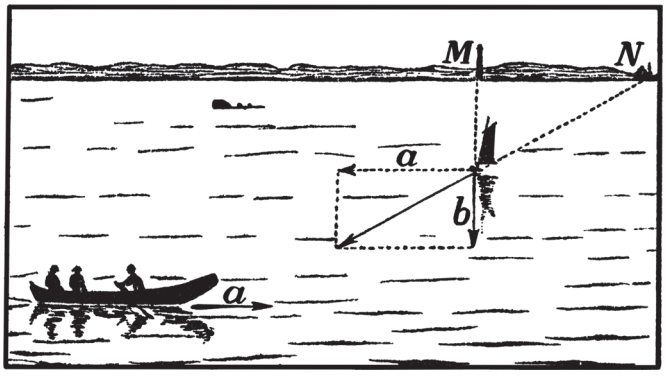



*Рис. 15. Гребцам кажется, что парусная лодка идет не наперерез им, а косо — от точки N, а не от M.*

## *ГЛАВА ВТОРАЯ*

## ТЯЖЕСТЬ И ВЕС — РЫЧАГ — ДАВЛЕНИЕ

### Встаньте!

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

Хорошо же. Сядьте так, как сидит человек, изображенный на рис. 16, т. е. держа туловище отвесно и *не пододвигая ног под сиденье стула*. А теперь попробуйте встать, не меняя положения ног и не нагибая корпуса вперед.

*Рис. 16. В таком положении невозможно подняться со стула.*

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

Чтобы понять, почему это так, нам придется побеседовать немного о равновесии тел вообще и человеческого в частности. Стоящий предмет не опрокидывается только тогда, когда отвесная линия, проведенная из центра тяжести, проходит внутри основания вещи. Поэтому наклонный цилиндр на рис. 17 должен непременно опрокинуться; но, если бы он был настолько широк, что отвесная линия, проведенная из центра тяжести, проходила бы в пределах его основания, цилиндр не опрокинулся бы.

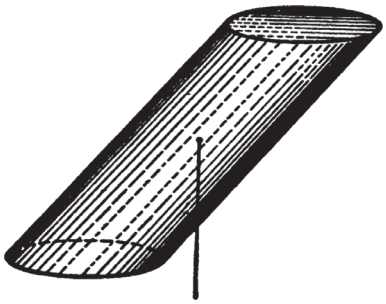


*Рис. 17. Такой цилиндр должен опрокинуться, потому что отвесная линия, проведенная из его центра тяжести, проходит вне основания.*

*Рис. 18. «Падающая» колокольня в Архангельске (со старинной фотографии).*

Так называемые падающие башни — в Пизе, в Болонье или хотя бы «падающая» колокольня в Архангельске (рис. 18) — не падают, несмотря на свой наклон, также главным образом потому, что отвесная линия из их центра тяжести не выходит за пределы основания. (Другая, второстепенная, причина, конечно, та, что они углублены в землю своими фундаментами.)

Стоящий человек не падает только до тех пор, пока отвесная линия из его центра тяжести находится внутри площадки, ограниченной краями его ступней (рис. 19). Поэтому так трудно стоять на одной ноге; еще труднее стоять на канате: основание очень мало, и отвесная линия легко может выйти за его пределы. Заметили ли вы, какой странной походкой отличаются старые «морские волки»? Проводя всю жизнь на качающемся судне, где отвесная линия из центра тяжести их тела ежесекундно может выйти за пределы пространства, занятого ступнями, моряки вырабатывают в себе привычку ступать так, чтобы основание их тела (т. е. широко расставленные ноги) захватывало возможно большее пространство. Это придает морякам необходимую устойчивость на колеблющейся палубе; естественно, что та же привычка сохраняется при ходьбе также по твердой земле. Можно привести и обратный пример, — когда механика обусловливает именно красоту позы.

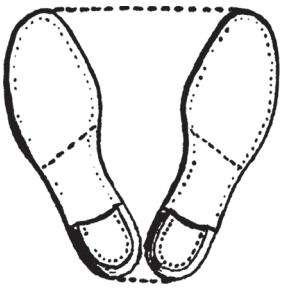


*Рис. 19. Когда человек стоит, отвесная линия, проведенная из его центра тяжести, проходит внутри пространства, занятого ступнями.*

Обращали ли вы внимание на то, какой стройный вид имеет человек, несущий на голове груз? Всем известны изящные изваяния женских фигур с кувшином на голове. Неся на голове груз, по необходимости приходится держать голову и туловище прямо: малейшее уклонение грозит вывести центр тяжести (приподнятый в таких случаях выше обычного положения) из контура основания, и тогда равновесие фигуры будет нарушено.

Теперь вернемся к опыту с вставанием сидящего человека. Центр тяжести *туловища* сидящего человека находится внутри тела, близ спинного хребта, сантиметров на 20 выше уровня пупка. Проведите отвесную линию из этой точки вниз: она пройдет под стулом, позади ступней. А чтобы человек мог стоять, линия эта должна проходить *между ступнями*.

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

## Ходьба и бег

То, что вы делаете десятки тысяч раз в день в течение всей жизни, должно быть вам, разумеется, прекрасно известно. Так принято думать, но это далеко не всегда верно. Лучший пример — ходьба и бег. Есть ли что-нибудь более нам знакомое, чем эти движения? А много ли найдется людей, которые ясно представляют себе, как, собственно, передвигаем мы свое тело при ходьбе и беге и в чем разнятся эти два рода движений? Послушаем же, что говорит о ходьбе и беге физиология[1]. Для большинства, я уверен, это описание будет совершенно ново:

«Предположим, что человек стоит на одной ноге, например на правой. Вообразим себе, что он приподнимает пятку, наклоняя в то же время туловище вперед[2]. При таком положении перпендикуляр из центра тяжести, понятно, выйдет из площади основания опоры, и человек должен бы упасть вперед. Но едва начинается это падение, как левая нога его, оставшаяся в воздухе, быстро подвигается вперед и становится на землю впереди перпендикуляра из центра тяжести, так что последний, т. е. перпендикуляр, попадает в площадь, образуемую линиями, которыми соединяются точки опоры обеих ног. Равновесие таким образом восстанавливается; человек ступил, сделал шаг.

---

[1] Текст отрывка заимствован из «Лекций по зоологии» проф. Поля Бера; иллюстрации прибавлены составителем.

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

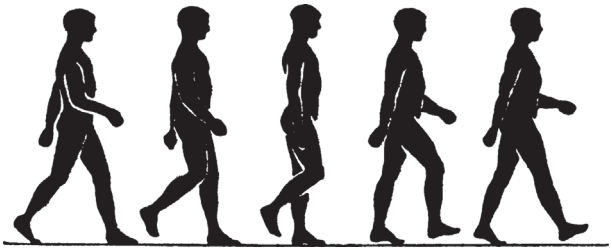


*Рис. 20. Как человек ходит.*
*Последовательные положения тела при ходьбе.*

Он может и остановиться в этом довольно утомительном положении. Но если хочет идти дальше, то наклоняет свое тело еще более вперед, снова переносит перпендикуляр из центра тяжести за пределы площади опоры и, в момент угрожающего падения, снова выдвигает вперед ногу, но уже не левую, а правую — новый шаг, и т. д. Ходьба поэтому есть не что иное, как *ряд падений вперед*, предупреждаемых вовремя поставленной опорой ноги, остававшейся до того позади.

Рассмотрим дело несколько ближе. Предположим, что первый шаг сделан. В этот момент правая нога еще касается земли, а левая уже ступает на землю. Но если только шаг не очень короток, правая пятка должна была приподняться, так как именно это-то приподнимание пятки и позволяет телу наклониться вперед и нарушить равновесие. Левая нога ступает на землю прежде всего пяткой. Когда вслед за тем вся подошва ее становится на землю, правая нога поднимается совершенно на воздух. В то же время левая нога, несколько согнутая в колене, выпрямляется сокращением трехглавой

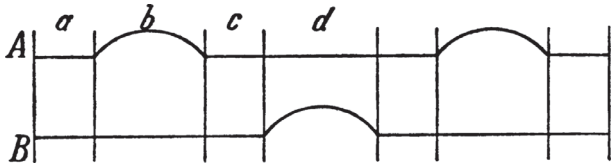



*Рис. 21. Графическое изображение движений ног при ходьбе (по бр. Вебер[1]).*
*Верхняя линия (A) относится к одной ноге, нижняя (B) — к другой.*
*Прямые линии отвечают моментам опоры о землю, дуги — моментам движения ног без опоры. Из графика видно, что в течение промежутка времени a обе ноги опираются о землю; в течение b — нога A в воздухе, B — продолжает опираться; в течение c — вновь обе ноги опираются о землю.*
*Чем быстрее ходьба, тем короче становятся промежутки a, c (ср. с графиком бега, рис. 23).*

[1] *Братья Вебер* — немецкие ученые, физиолог *Эрнст Генрих* (1795–1878) и физик *Вильгельм Эдуард* (1804–1891), проведшие в 1830-х гг. научное исследование процесса ходьбы (*примеч. ред.*).

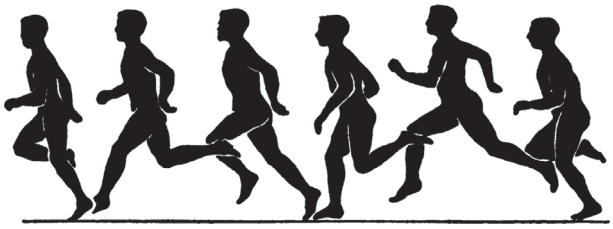


*Рис. 22. Как человек бежит. Последовательные положения тела при беге (существуют моменты, когда обе ноги находятся без опоры).*

бедренной мышцы и становится на мгновение вертикальной. Это позволяет полусогнутой правой ноге продвинуться вперед, не касаясь земли, и, следуя за движением тела, поставить на землю свою пятку как раз вовремя для следующего шага.

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

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

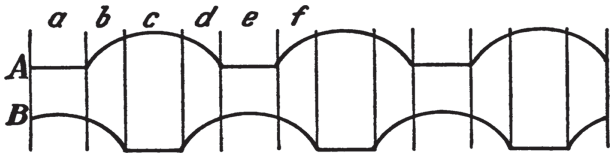



*Рис. 23. Графическое изображение движений ног в беге (ср. с рис. 21). Из графика видно, что для бегущего человека существуют моменты (b, d, f), когда обе ноги витают в воздухе. Этим и отличается бег от ходьбы.*

Что касается энергии, затрачиваемой человеком при ходьбе по горизонтальной дороге, то она не равна нулю, как иные думают: центр тяжести тела пешехода при каждом шаге поднимается на несколько сантиметров. Можно рассчитать, что работа при ходьбе по горизонтальному пути составляет около одной пятнадцатой доли работы поднятия тела пешехода на высоту, равную пройденному пути[1].

[1] Расчет можно найти в брошюре проф. В. П. Горячкина «Работа живых двигателей», 1914.

## Надо ли из вагона прыгать вперед?

Задав кому-нибудь этот вопрос, вы, конечно, получите ответ: «Если приходится, то надо, согласно закону инерции». Не удовлетворяйтесь этим и попросите объяснить подробнее, при чем тут закон инерции. Можно предсказать, что при этом произойдет: ваш собеседник начнет уверенно доказывать свою мысль; но, если не перебивать его, он скоро сам остановится в недоумении: выйдет, что именно вследствие инерции надо прыгать как раз наоборот — *назад*!

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

Представьте себе, что, скажем, при аварии вам необходимо выпрыгнуть на ходу. Что произойдет при этом?

Когда мы прыгаем из двигающегося трамвая, то тело наше, отделившись от вагона, обладает по инерции известной скоростью, оно стремится двигаться вперед. Делая прыжок вперед, мы, конечно, не только не уничтожаем этой скорости, но, наоборот, еще увеличиваем ее. Отсюда следует, что надо бы прыгать *назад*, а вовсе не вперед по направлению движения вагона. Ведь при прыжке назад скорость, сообщаемая прыжком, *отнимается* от скорости, присущей нашему телу по инерции; вследствие этого, коснувшись земли, тело наше с меньшей силой будет стремиться опрокинуться.

Теория явно расходится здесь с практикой; противоречие указывает на то, что неверен либо факт, либо его объяснение. Но факт верен — настолько верен, что мы настойчиво предостерегаем читателей от попыток проверить неудобство прыгания назад с движущегося экипажа.

Так в чем же дело?

В неверности объяснения, в его недоговоренности. Будем ли прыгать вперед, будем ли прыгать назад, — в том и другом случае нам грозит опасность упасть, так как верхняя часть туловища будет еще двигаться, когда ноги, коснувшись земли, остановятся[1]. Скорость этого движения при прыжке вперед даже больше, чем при прыжке назад. Но существенно важно то, что вперед падать гораздо *безопаснее*, чем падать назад. В первом случае мы привычным движением выставляем ногу вперед (а при большой скорости вагона — пробегаем несколько шагов) и тем предупреждаем падение. Это движение *привычно*, так как мы всю жизнь совершаем его при ходьбе: ведь с точки зрения механики, как мы узнали из предыдущей статьи, ходьба есть не что иное, как *ряд падений нашего тела вперед, предупреждаемых выставлением ноги*. При падении же *назад* нет этого спасительного движения ног, — и оттого

[1] Можно объяснять падение в этом случае также и с иной точки зрения (см. об этом «Занимательную механику», гл. III, статью «Когда горизонтальная линия не горизонтальна?», с. 508).

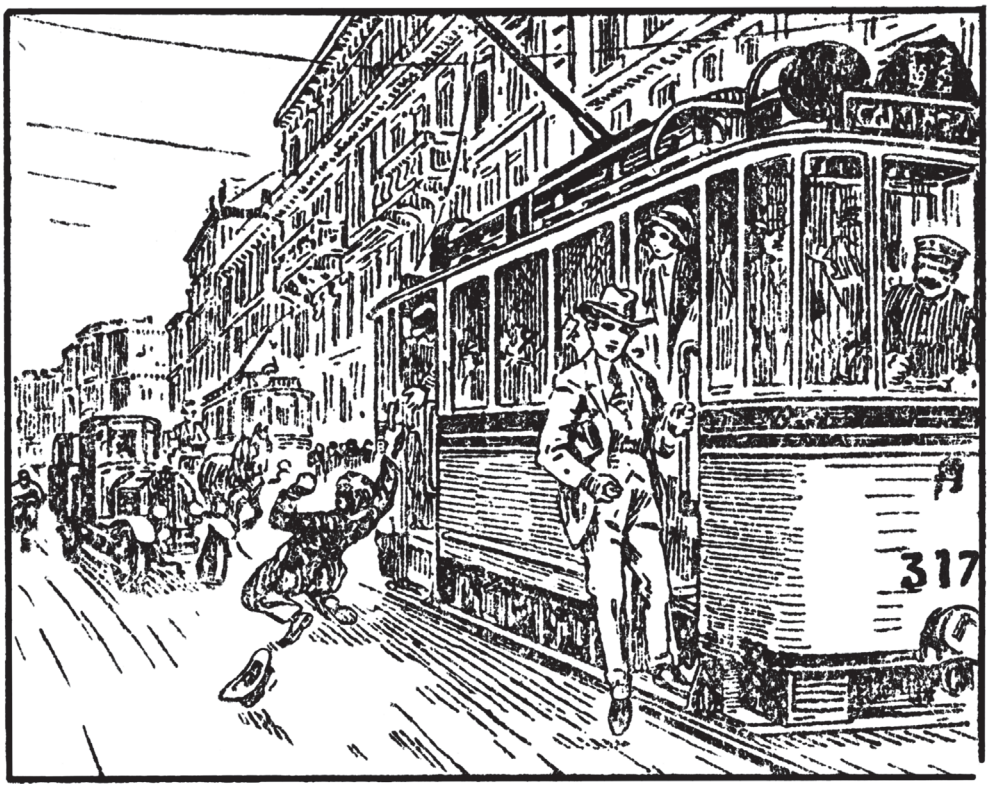



*Рис. 24. Из движущегося вагона следует выходить лицом вперед по направлению движения.*

здесь опасность гораздо значительнее. Наконец, важно и то, что когда мы даже в самом деле упадем вперед, то, выставив руки, расшибемся не так, как при падении на спину.

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

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

### Поймать боевую пулю руками

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

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

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

Пуля ведь не все время движется со своей начальной скоростью 800–900 метров в секунду. Из-за сопротивления воздуха она постепенно замедляет свой полет и к концу пути — на излете — делает всего метров 40 в секунду. А такую скорость часто развивает самолет. Значит, легко может случиться, что пуля и самолет будут иметь одинаковую скорость; тогда по отношению к летчику пуля будет неподвижна или двигаться едва заметно. Ему ничего не будет стоить схватить ее рукой, — особенно в перчатке, потому что пуля, пронизывая воздух, разогревается градусов до ста. Такие пули безвредны для летчика. В. П. Внуков, автор превосходной книги «Физика и оборона страны», рассказывал мне, что ему не раз случалось на войне извлекать из своей шапки подобные пули.

### Арбуз-бомба

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

Пробивное действие арбуза при таких условиях не может, однако, сравниться с действием пули, так как арбуз не обладает ее твердостью.

Когда разовьется скоростная авиация в высших слоях атмосферы (в так называемой стратосфере), самолеты будут мчаться со скоростью 3 тысяч километров в час, т. е. с быстротой пуль, летчикам придется иметь дело с явлениями,

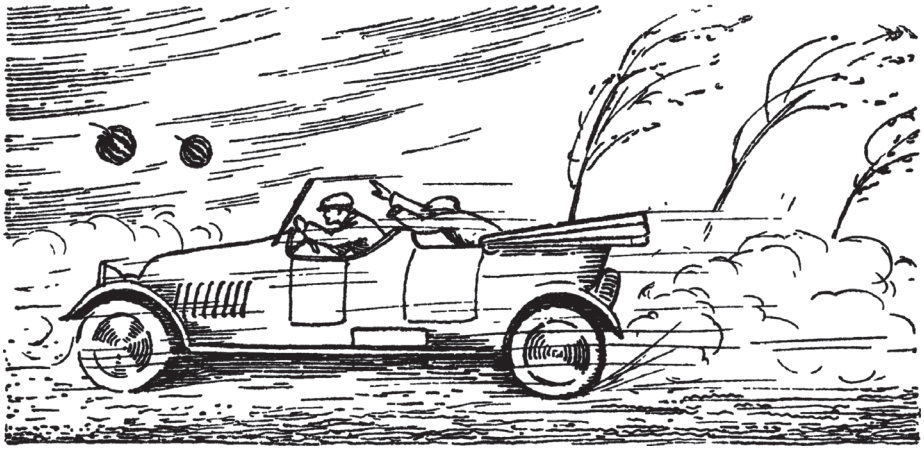


*Рис. 25. Арбуз, брошенный навстречу быстро мчащемуся автомобилю, превращается в «бомбу».*

напоминающими сейчас рассмотренное. А именно, каждый предмет, попадающийся на пути такого сверхбыстрого самолета, превратится для него в разрушительный снаряд. Наткнуться на горсть пуль, просто уроненных с другого самолета, даже не летящего навстречу, будет все равно что подвергнуться обстрелу пулеметом: падающие пули ударятся об аэроплан с такою же силою, с какой вонзились бы в ту же машину пули из пулемета. Так как относительные скорости в обоих случаях одинаковы (самолет и пуля сближаются со скоростью около 800 метров в секунду), то одинаковы будут и разрушительные последствия столкновения.

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

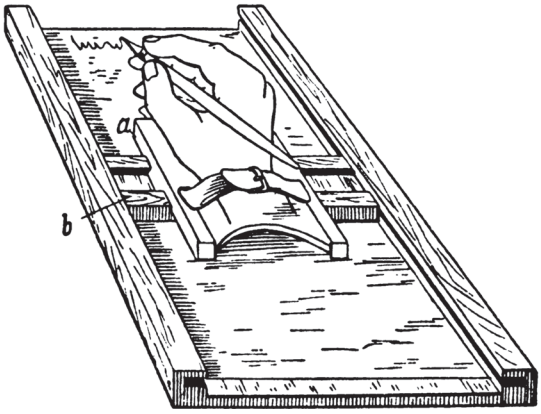



*Рис. 26. Приспособление, позволяющее удобно писать в движущемся поезде.*

Наконец, на том же начале основан прибор, чрезвычайно облегчающий процесс письма в движущемся поезде. Писать в вагоне на ходу поезда трудно лишь потому, что толчки на стыках рельсов передаются бумаге и кончику пера не одновременно. Если устроить так, чтобы бумага и перо получали сотрясение в одно и то же время, они друг относительно друга будут в покое, и письмо на ходу поезда не составит никакого затруднения. Это и достигается благодаря прибору, изображенному на рис. 26. Рука с пером пристегивается к дощечке *a*, могущей передвигаться в пазах по планке *b*; последняя, в свою очередь, может перемещаться в пазах дощечки, лежащей на столике в вагоне. Рука, как видим, достаточно подвижна, чтобы писать букву за буквой, строку за строкой; вместе с тем каждый толчок, получаемый бумагой на дощечке, в тот же самый момент и с такой же силою передается руке, держащей перо. При таких условиях письмо на ходу поезда становится столь же удобным, как и в неподвижном вагоне; мешает лишь то, что, так как голова и рука получают толчки не одновременно, взгляд скользит по бумаге рывками.

### На платформе весов

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

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

Наоборот, опуская руку вниз, мы во время этого движения вызываем уменьшение веса своего тела, а в момент остановки руки — увеличение веса.

Словом, действием внутренних сил мы можем увеличивать или уменьшать вес нашего тела, — разумея под весом давление на опору.

### Где вещи тяжелее?

Сила, с какою тела притягиваются земным шаром, убывает по мере возвышения над земной поверхностью. Если бы мы подняли килограммовую гирю на высоту 6400 километров, т. е. удалили бы ее от центра земного шара на два его радиуса, то сила притяжения ослабела бы в 2 × 2, т. е. в 4 раза, и гиря на пружинных весах вытянула бы всего 250 граммов вместо 1000. Согласно закону тяготения, земной шар притягивает внешние тела так, как если бы вся его масса сосредоточена была в центре, и сила этого притяжения убывает обратно квадрату расстояния. В нашем случае расстояние гири от центра Земли удвоилось, — и оттого притяжение ослабело в $2^2$, т. е. вчетверо. Удалив гирю на 12 800 километров от земной поверхности, т. е. на тройное расстояние от центра Земли, мы ослабили бы притяжение в $3^2$, т. е. в 9 раз; 1000-граммовая гиря весила бы тогда всего 111 граммов[1], и т. д.

Естественно, рождается мысль, что, углубляясь с гирей в недра Земли, т. е. приближая тело к центру нашей планеты, мы должны наблюдать усиление притяжения: гиря в глубине Земли должна весить больше. Эта догадка неверна: с углублением в Землю тела не увеличиваются в весе, а, напротив, уменьшаются. Объясняется это тем, что в таком случае притягивающие частицы Земли расположены уже не по одну сторону тела, а по разные его стороны. Взгляните на рис. 27.

Вы видите, что гиря, помещенная в глубине Земли, притягивается вниз частицами, расположенными ниже гири, но в то же время притягивается вверх теми частицами, которые лежат выше нее. Можно доказать, что в конечном итоге имеет значение притягивающее действие только того шара, радиус

[1] Здесь и далее Я. П. исчисляет вес (а позже и давление) в граммах, хотя вес — это сила, а сила (в системе СИ, введенной в 1960 году) измеряется в ньютонах. В данных случаях это вполне допустимо и в наши дни: мы до сих пор так поступаем во многих повседневных ситуациях — например, когда говорим, что «человек весит 60 килограммов» (*примеч. ред.*).

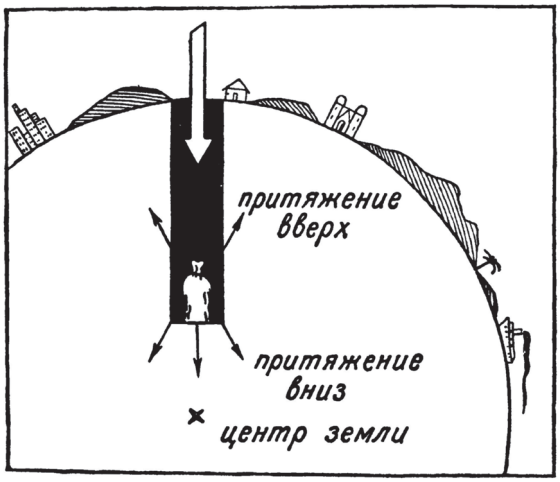



*Рис. 27. Почему с углублением в Землю сила тяжести ослабевает.*

которого равен расстоянию от центра Земли до местонахождения тела. Поэтому вес тела по мере углубления в Землю должен быстро уменьшаться. Достигнув центра Земли, тело совсем утратит вес, сделается вполне невесомым, так как окружающие частицы влекли бы его там во все стороны с одинаковой силою.

Как видим, всего больше тело весит на самой поверхности Земли; с удалением от нее ввысь или вглубь вес его уменьшается[1].

### Сколько весит тело, когда оно падает?

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

[1] Так происходило бы, если бы земной шар был вполне однороден по плотности; в действительности плотность Земли возрастает с приближением к центру; поэтому сила тяжести при углублении в Землю сначала, на некотором небольшом расстоянии, растет и лишь затем начинает ослабевать. На какой именно глубине тела имеют наибольший вес, пока еще не установлено.

Привесьте гирю к крючку пружинных весов и следите, куда двинется указатель, если весы с гирей быстро опустить вниз (для удобства поместите кусок пробки в прорезь весов и заметьте изменение его положения). Вы убедитесь, что во время падения указатель показывает не полный вес гири, а гораздо меньший! Если бы весы падали свободно и вы имели бы возможность во время падения следить за их указателем[1], вы заметили бы, что гиря при падении вовсе ничего не весит: указатель находится у нуля.

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

Еще основатель механики, Галилей, в XVII веке писал[2]: «Мы ощущаем груз на наших плечах, когда стараемся мешать его падению. Но если станем двигаться вниз с такою же скоростью, как и груз, лежащий на нашей спине, то как же может он давить и обременять нас? Это подобно тому, как если бы мы захотели поразить копьем[3] кого-либо, кто бежит впереди нас с такою же скоростью, с какою движемся и мы».

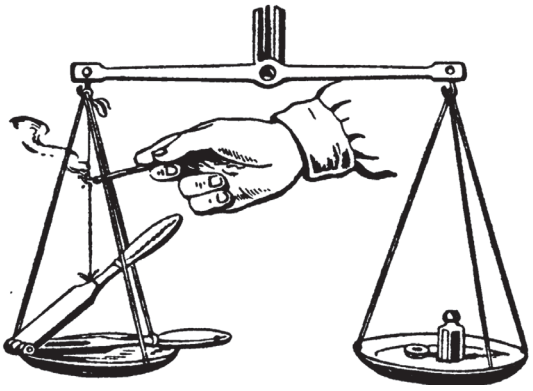


*Рис. 28. Опыт, иллюстрирующий невесомость падающего тела.*

[1] Это до известной степени осуществляется в приборах, придуманных проф. Н. А. Любимовым, а позднее — проф. П. Поспеловым (см. мою книгу «Знаете ли вы физику?»).

[2] В «Математических доказательствах, касающихся двух отраслей новой науки». В 1934 году вышел полный русский перевод этого замечательного сочинения.

[3] Не выпуская его из рук (*примеч. Я. П.*).

Следующий легко исполнимый опыт наглядно подтверждает правильность этих рассуждений.

На одну чашку торговых весов положите щипцы для раскалывания орехов так, чтобы одно колено их покоилось на чашке, другое же привяжите за конец ниткой к крючку коромысла (рис. 28). На другую чашку поместите столько груза, чтобы весы были в равновесии.

Поднесите к нитке зажженную спичку; нитка перегорит, и верхнее колено щипцов упадет на чашку.

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

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

В самом деле: верхнее колено щипцов, падая, хотя и остается в соединении с нижним, все же давит на него меньше, чем в неподвижном состоянии. Вес щипцов на мгновение уменьшается — и чашка, естественно, поднимается вверх (опыт В. Л. Розенберга[1]).

### Из пушки на Луну

В 1865–1870 гг. появился во Франции фантастический роман Жюля Верна «Из пушки на Луну»[2], в котором высказана необычайная мысль: послать на Луну исполинский пушечный снаряд-вагон с живыми людьми! Жюль Верн представил свой проект в столь правдоподобном виде, что у большинства читателей, наверное, возникал вопрос: нельзя ли в самом деле осуществить эту мысль?

За истекшие три четверти века техника так далеко ушла вперед в деле сооружения огромных пушек, так увеличила силу взрывчатых веществ, что, быть может, фантазия французского романиста сейчас близка к реальному воплощению?

Об этом интересно побеседовать.

Итак: возможно ли послать снаряд на Луну?

Сначала рассмотрим, можно ли — хотя бы только в теории — выстрелить из пушки так, чтобы снаряд никогда не упал назад на Землю. Теория не возражает против такой возможности. В самом деле, почему снаряд, горизонтально выброшенный пушкой, в конце концов падает на Землю? Потому что Земля, притягивая снаряд, искривляет его путь; он летит не по прямой линии,

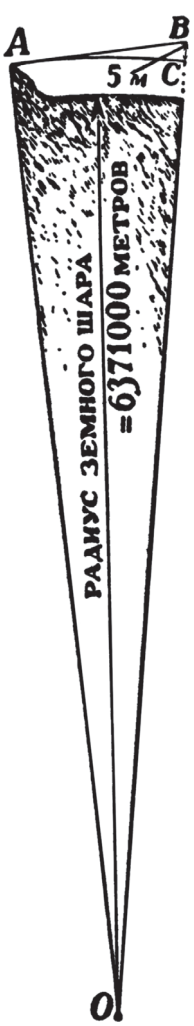
---

[1] *Розенберг Валентин Львович* — широко известный в начале XX века советский физик-педагог, автор книги «Первые уроки физики в простом изложении» (*примеч. ред.*).

[2] Известен в нескольких переводах; полное название — «С Земли на Луну прямым путем за 97 часов 20 минут» (*примеч. ред.*).

а по кривой, направленной к Земле, и поэтому рано или поздно встречается с почвой. Земная поверхность, правда, тоже искривлена, но путь снаряда изгибается гораздо круче. Если же кривизну пути снаряда ослабить и сделать ее одинаковой с искривлением поверхности земного шара, то такой снаряд никогда не сможет упасть на Землю! Он будет двигаться по кривой, концентрической с окружностью земного шара, другими словами — сделается его спутником, как бы второй Луной.

Но как добиться, чтобы снаряд, выброшенный пушкой, шел по пути, не более искривленному, чем земная поверхность? Для этого необходимо только сообщить ему достаточную скорость. Обратите внимание на рис. 29, изображающий разрез части земного шара. На горе в точке *A* стоит пушка. Снаряд, горизонтально выброшенный ею, был бы через секунду в точке *B*, — если бы не существовало притяжения Земли. Но притяжение меняет дело, и под действием этой силы снаряд через секунду окажется не в точке *B*, а на 5 м ниже, в точке *C*. Пять метров — это путь, проходимый (в пустоте) каждым свободно падающим телом в первую секунду под действием силы тяжести близ поверхности Земли. Если, опустившись на эти 5 м, снаряд наш окажется над уровнем Земли ровно на столько же, на сколько был он в точке *A*, то, значит, он мчится по кривой, концентрической с окружностью земного шара.




Остается вычислить отрезок *AB* (рис. 29), т. е. тот путь, который проходит снаряд в секунду по горизонтальному направлению; мы узнаем тогда, с какою секундною скоростью нужно для нашей цели выбросить снаряд из жерла пушки. Вычислить это нетрудно из треугольника *AOB*, в котором *OA* — радиус земного шара (около 6 370 000 м); *OC* = *OA*, *BC* = 5 м; следовательно, *OB* = 6 370 005 м. Отсюда по теореме Пифагора имеем

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

Сделав вычисление, находим, что искомая скорость *AB* — около 8 км в сек.

Итак, если бы не было воздуха, который сильно мешает быстрому движению, снаряд, выброшенный из пушки со скоростью 8 км/с, *никогда не упал бы на Землю*, а вечно кружился бы вокруг нее подобно спутнику. Такой скорости наши пушки дать не могут: современные (сверхдальнобойные) пушки сообщают снарядам скорость вчетверо меньшую.

*Рис. 29. Вычисление скорости снаряда, который должен навсегда покинуть Землю.*

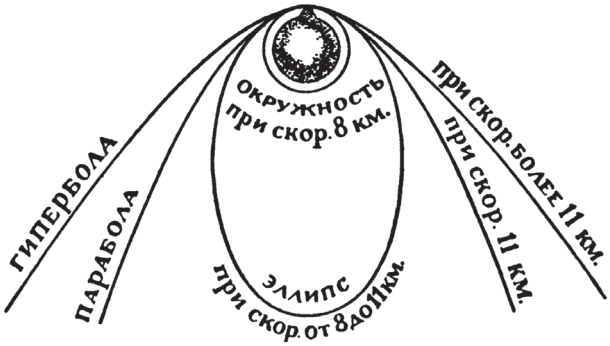



*Рис. 30. Судьба пушечного снаряда, выпущенного с начальною скоростью 8 и более км/с.*

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

Мы видим, следовательно, что теоретически мыслимо было бы полететь на Луну внутри снаряда, выброшенного с достаточно большой скоростью[1].

(Предыдущее рассуждение имело в виду атмосферу, не сопротивляющуюся движению снарядов. В реальных условиях наличие сопротивляющейся атмосферы чрезвычайно затруднило бы получение таких высоких скоростей, а быть может, сделало бы их совершенно недостижимыми[2].)

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

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

Описано это совершенно верно, но романист упустил из виду, что то же самое должно было наблюдаться также и до, и после перелета через точку

---

[1] Тут могут представиться, однако, затруднения совсем особого рода. Подробнее вопрос этот рассматривается во второй книге «Занимательной физики» (см. с. 303), а также в другой моей книге — «Межпланетные путешествия».

[2] В наши дни это технически осуществимо, но практического смысла не имеет — удобнее и выгоднее пользоваться ракетной техникой (*примеч. ред.*).

равного притяжения. Легко показать, что путешественники и все другие предметы внутри снаряда должны стать невесомыми *с первого же момента свободного полета*.

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

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

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

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

Этого романист не заметил: он думал, что предметы внутри свободно несущегося снаряда будут продолжать давить на свои опоры, как давили тогда, когда снаряд был неподвижен. Жюль Верн упустил из виду, что весомое тело давит на опору только потому, что опора неподвижна; если же и тело, и опора движутся в пространстве с одинаковой скоростью, то давить друг на друга они не могут.

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

«— Николь, движемся ли мы?
Николь и Ардан переглянулись: они не чувствовали колебаний снаряда.
— Действительно! Движемся ли мы? — повторил Ардан.
— Или спокойно лежим на почве Флориды? — спросил Николь.
— Или на дне Мексиканского залива? — прибавил Мишель».

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

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

### Верно взвесить на неверных весах

Что важнее для правильного взвешивания: весы или гири?

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

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

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

Другой прием, названный по имени предложившего его ученого[1] «способом Борда́», выполняется так.

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

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

## Сильнее самого себя

Какой груз можете вы поднять рукой? Положим, что 10 кг. Вы думаете, эти 10 кг определяют силу мускулов вашей руки? Ошибаетесь: мускулы гораздо сильнее! Проследите за действием, например, так называемой двуглавой мышцы вашей руки (рис. 31). Она прикреплена близ точки опоры рычага, каким является кость предплечья, а груз действует на другой конец этого живого рычага. Расстояние от груза

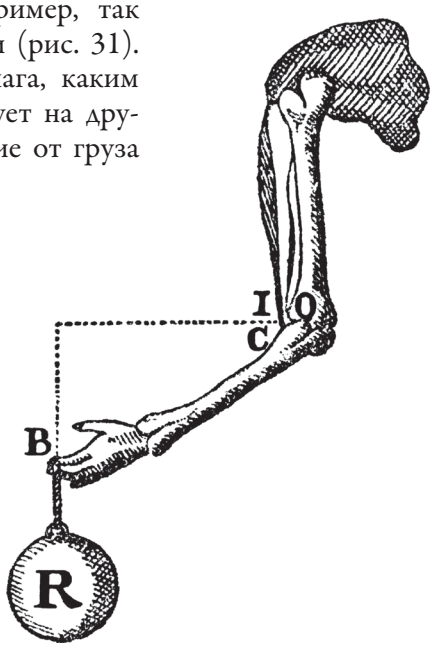



*Рис. 31. Плечевая кость С человека есть рычаг второго рода. Действующая сила (двуглавая мышца) приложена к точке I; опора рычага находится в точке О сочленения; преодолеваемое же сопротивление (груз R) приложено в точке В. Расстояние ВО (длинное плечо рычага) больше расстояния IO (короткого плеча рычага) приблизительно в 8 раз. (Рисунок взят из старинного сочинения Борелли, флорентийского ученого XVII века, «О движении животных», где законы механики впервые прилагаются к физиологии.)*

[1] *Жан-Шарль де Борда* (1733–1799) — французский математик, физик, инженер, геодезист, автор доказательства теоремы, названной его именем, а также популярной системы голосования («правило Борда») (*примеч. ред.*).

до точки опоры, т. е. до сустава, почти в 8 раз больше, чем расстояние от конца мышцы до опоры. Значит, если груз составляет 10 кг, то мускул тянет с силою в 8 раз большею. Развивая силу в 8 раз бóльшую, чем наша рука, мускул мог бы *прямо* поднять не 10 кг, а 80 кг.

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

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

### Почему заостренные предметы колючи?

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

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

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

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

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

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

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

Наконец, загадочная особенность танков и гусеничных тракторов не увязать в рыхлом грунте, несмотря на свой чудовищный вес, объясняется опять-таки распределением веса на большую поверхность опоры. Гусеничная машина весом 8 и более тонн оказывает на 1 кв. см грунта давление не более 600 г. С этой точки зрения интересен изготовленный на заводе им. 1 Мая в г. Калинине[1] автомобиль на гусеничном ходу для перевозки грузов на болотах. Такой грузовик, везущий 2 тонны груза, оказывает на грунт давление всего в 160 граммов на 1 кв. см; благодаря этому он хорошо ходит на торфяном болоте и по топким или песчаным местностям. «Грузовик этот, — пишет инженер завода, — с успехом может работать в песчаных равнинах Астраханского края и в среднеазиатских республиках, постепенно вытесняя здесь допотопный способ передвижения на верблюдах».

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

Мы видим из сказанного, что острие прокалывает лишь благодаря незначительности площади, по которой распределяется действие силы.

Совершенно по той же причине острый нож лучше режет, нежели тупой: сила сосредоточивается на меньшем пространстве.

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

## Наподобие Левиафана

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

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

Все дело здесь, значит, в более равномерном распределении давления. Когда мы нежимся на мягкой постели, в ней образуются углубления,

[1] В 1931–1990 гг. так назывался г. Тверь (*примеч. ред.*).

соответствующие неровностям нашего тела. Давление распределяется здесь по нижней поверхности тела с идеальной равномерностью, так что на каждый квадратный сантиметр приходится всего несколько граммов. Неудивительно, что на подобном ложе мы чувствуем себя приятно.

Легко выразить это различие и в числах. Поверхность тела взрослого человека составляет около 2 кв. м, или 20 000 кв. см. Допустим, что, когда мы лежим в постели, с ней соприкасается, опираясь на нее, приблизительно ¼ часть всей поверхности нашего тела, т. е. 0,5 кв. м, или 5000 кв. см. Вес же нашего тела — около 60 кг (в среднем), или 60 000 г. Значит, на каждый квадратный сантиметр приходится всего 12 г. Когда же мы лежим на голых досках, то соприкасаемся с опорной плоскостью лишь в немногих маленьких участках, общей площадью в какую-нибудь сотню кв. сантиметров. На каждый квадратный сантиметр приходится, следовательно, давление в полкилограмма, а не в десяток граммов. Разница заметная, и мы резко ощущаем ее на своем теле, говоря, что нам «очень жестко».

Но даже на самом *твердом* ложе нам может быть вовсе не *жестко*, если давление распределяется равномерно на большую поверхность. Вообразите, что вы легли на мягкую глину и что в ней отпечатались формы вашего тела. Покинув глину, оставьте ее сохнуть (высыхая, глина садится на 5–10%, но предположим, что этого не происходит). Когда она сделается твердой как камень, сохранив оставленные вашим телом вдавленности, лягте на нее опять, заполнив собой эту каменную форму. Вы почувствуете себя как на нежном пуховике, не ощущая жесткости, хотя лежите буквально на камне. Вы уподобитесь легендарному Левиафану, о котором читаем в стихотворении Ломоносова:

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

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

*Рис. 32. Как австралийцы пользуются бумерангом на охоте, чтобы поражать жертву из-за прикрытия. Путь полета бумеранга (в случае промаха) показан пунктирной линией.*

## *ГЛАВА ТРЕТЬЯ*

## СОПРОТИВЛЕНИЕ СРЕДЫ

### Пуля и воздух

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

Но взгляните на прилагаемый рис. 33, и вы поймете, что воздух является для пули препятствием чрезвычайно серьезным. Большая дуга на этом чертеже изображает путь, который пролетела бы современная пуля, если бы не существовало атмосферы; покинув ствол ружья (под углом 45° и при начальной скорости 620 м/с), пуля описала бы огромную дугу в 10 км высотой; дальность полета составила бы почти 40 км. В действительности же пуля при указанных условиях описывает сравнительно небольшую дугу, дальность ее полета составляет 4 км. Изображенная на том же чертеже дуга эта почти незаметна рядом с первой: таков результат противодействия воздуха!

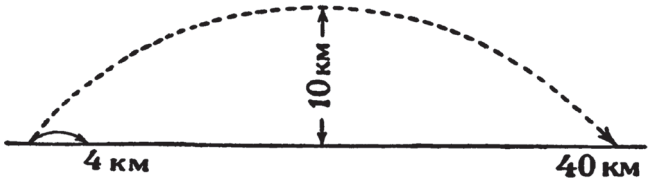



*Рис. 33. Полет пули в пустоте и в воздухе. Большая дуга изображает путь, какой описала бы современная пуля, если бы не существовало атмосферы. Маленькая дуга налево — действительный путь пули в воздухе.*

Не будь воздуха, винтовки могли бы осыпать неприятеля градом пуль с расстояния 40 км, взметая свинцовый дождь на высоту 10 км!

## Сверхдальняя стрельба

Возможность обстреливать противника с расстояния в сотню и более километров доступна артиллерии даже и при нынешних условиях. Впервые это осуществила германская артиллерия к концу империалистической войны (1918 г.), когда успехи французской и английской авиации положили конец воздушным налетам немцев. Германский штаб избрал другой, артиллерийский, способ поражать столицу Франции, удаленную от фронта не менее чем на 110 километров.

Способ этот был совершенно новый, никем еще не испытанный. Наткнулись на него немецкие артиллеристы случайно. При стрельбе из крупнокалиберной пушки под большим углом возвышения неожиданно обнаружилось, что вместо дальности в 20 км достигается дальность в 40 км. Оказалось, что снаряд, посланный круто вверх с большой начальной скоростью, достигает тех высоких разреженных слоев атмосферы, где сопротивление воздуха весьма

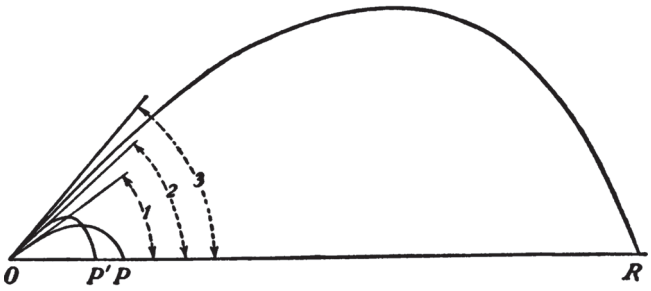



*Рис. 34. Как изменяется дальность полета снаряда с изменением угла наклона сверхдальнобойного орудия: при угле 1 снаряд падает в P, при угле 2 — в P′; при угле же 3 дальность стрельбы сразу возрастает во много раз, так как снаряд залетает в слои весьма разреженной атмосферы.*

незначительно; в такой слабо сопротивляющейся среде снаряд пролетает значительную часть своего пути и затем круто опускается на землю. Рис. 34 наглядно показывает, как велико различие в путях снарядов при изменении угла возвышения.

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

В последние годы[1] тайна, которой окружена была эта пушка, в значительной мере рассеялась (немцы сами опубликовали данные об ее устройстве и условиях стрельбы), и мы можем сообщить здесь о ней ряд любопытных сведений.

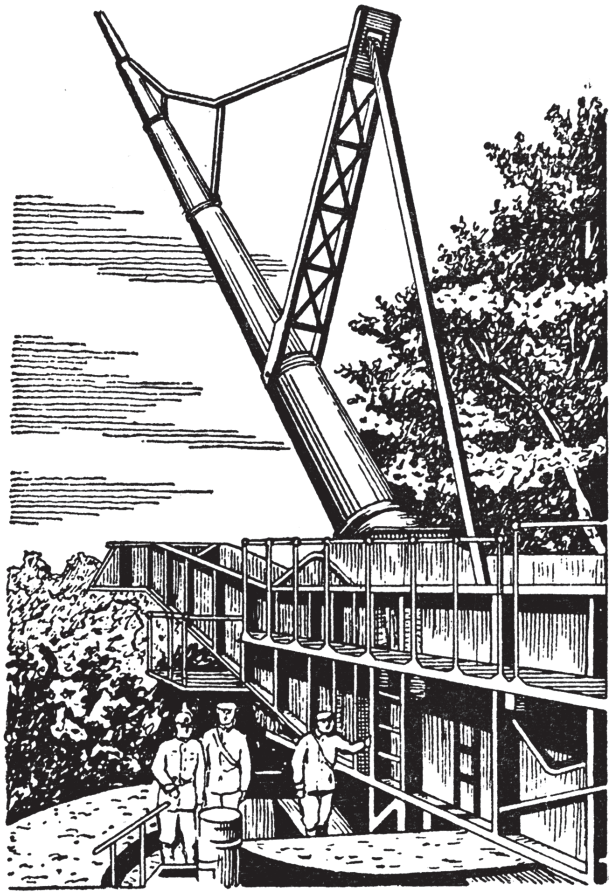


*Рис. 35-а. Немецкая пушка «Колоссаль». Внешний вид.*

[1] Напоминаем, что текст написан в 1936 г. (*примеч. ред.*).

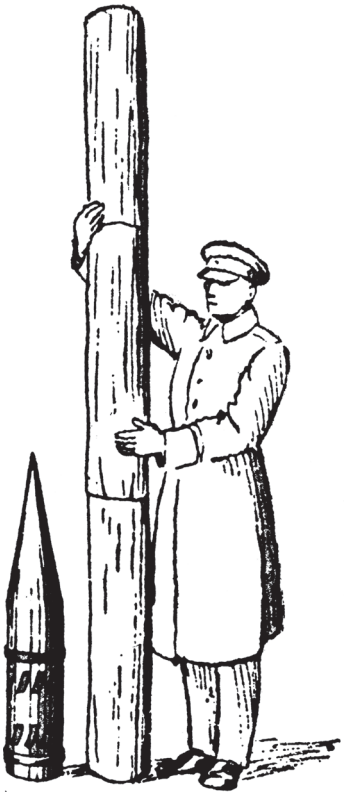


*Рис. 35-б. Снаряд и заряд пушки «Колоссаль».*

Это была огромная стальная труба в 34 метра длиною и в целый метр толщиною; толщина стенок в казенной части — 40 см. Весило орудие 750 тонн. Его 120-килограммовые снаряды имели метр в длину и 21 см в толщину. Для заряда употреблялось 150 кг пороха; развивалось давление в 5000 атмосфер, которое и выбрасывало снаряд с начальною скоростью 2000 метров в секунду. Стрельба велась под углом возвышения 52°; снаряд описывал огромную дугу, высшая точка которой лежала на уровне 40 километров над землей, т. е. далеко в стратосфере. Свой путь от позиции до Парижа — 115 км — снаряд проделывал в 3½ минуты, из которых 2 минуты он летел в стратосфере.

Такова была первая сверхдальнобойная пушка — прародительница современной сверхдальнобойной артиллерии, могущей бросать снаряды на 120 и более километров. Желающие получить более подробные сведения о германской пушке найдут их в весьма поучительной брошюре В. Внукова «Можно ли стрелять на сто километров?» (в 1935 г. вышло 5-е издание), из которой мы заимствуем рис. 35-а и 35-б. Рис. 34 наглядно показывает разницу в путях снарядов сверхдальнобойного орудия, поставленного под разными углами.

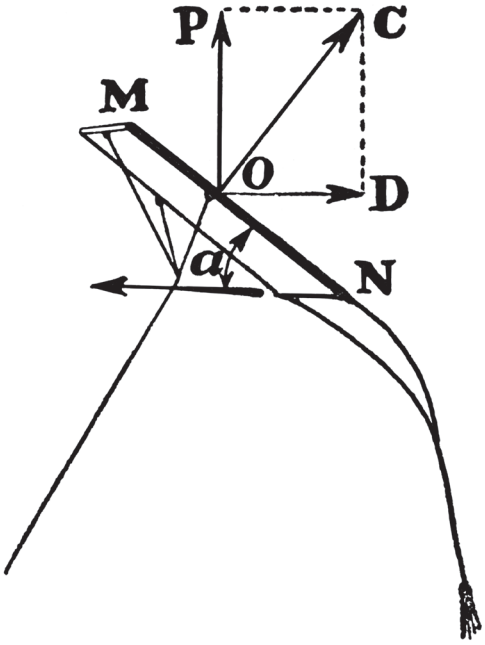
Чем больше начальная скорость пули (или снаряда), тем сопротивление воздуха значительнее: оно возрастает не пропорционально скорости, а быстрее, — пропорционально второй и более высокой степени скорости, в зависимости от величины этой скорости.

### Почему взлетает бумажный змей?

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

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

Чтобы объяснить поднятие бумажного змея, придется прибегнуть к упрощенному чертежу. Пусть линия *MN* (рис. 36) изображает у нас разрез змея. Когда, запуская змей, мы тянем его за шнур, он движется, из-за тяжести хвоста, в наклонном положении. Пусть это движение совершается справа налево. Обозначим угол наклона плоскости змея к горизонту через $\alpha$. Рассмотрим, какие силы действуют на змей при этом движении. Воздух, конечно, должен мешать его движению, оказывать на змей некоторое давление.



Это давление изображено на рис. 36 в виде стрелки *OC*; так как воздух давит всегда перпендикулярно к плоскости, то линия *OC* начерчена под прямым углом к *MN*. Силу *OC* можно разложить на две, построив так называемый *параллелограмм сил*: получим вместо силы *OC* две силы *OD* и *OP*. Из них сила *OD* толкает наш змей назад и, следовательно, уменьшает *первоначальную* его скорость. Другая же сила, *OP*, увлекает аппарат вверх; она, значит, *уменьшает его вес* и, если достаточно велика, может преодолеть вес змея и поднять его. Вот почему змей поднимается *вверх*, когда мы тянем его за веревочку *вперед*.

*Рис. 36. Какие силы действуют на бумажный змей.*

Аэроплан — тот же змей, только движущая сила нашей руки заменена в нем работой пропеллера, который, отталкиваясь своими лопастями от воздуха, сообщает аппарату движение вперед, а следовательно, — по причине, которую мы уже разъяснили, — заставляет его подниматься вверх. Есть и другие обстоятельства, обусловливающие подъем самолета; о них будет речь в другом месте[1].

## Живые планеры

Вы видите, что аэропланы устроены вовсе не наподобие птицы, как обыкновенно думают, а скорее наподобие белок-летяг, шерстокрылов или летучих рыб. Впрочем, названные животные пользуются своими летательными перепонками не для того, чтобы подниматься вверх, а лишь для того, чтобы совершать большие прыжки — «планирующие спуски», как выразился бы летчик. У них сила *OP* (рис. 36) недостаточна для того, чтобы вполне уравновесить силу тяжести их тела; она лишь уменьшает ее и тем помогает совершать огромные прыжки с возвышенных пунктов. Белки-летяги перепрыгивают расстояния в 20–30 м с верхушки одного дерева к нижним ветвям другого. В Ост-Индии и на Цейлоне водится гораздо более крупный вид летучей белки — тагуан — величиной с нашу кошку: когда он развертывает свой «планер», его ширина достигает полуметра. Такие крупные размеры летательной перепонки позволяют животному совершать, несмотря на сравнительно большой вес, перелеты метров в 50. А *шерстокрыл*, который водится на Зондских и Филиппинских островах, делает прыжки длиною даже до 70 м.

*Рис. 37. Белка-летяга в покое и во время полета.*
*Летяги делают с высоты прыжки на расстояние в 20–30 м.*

[1] См. «Занимательную физику», кн. 2-я, статью «Волны и вихри», с. 339.

## Безмоторное летание у растений

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

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

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

*Рис. 38. Плод козлобородника.*

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

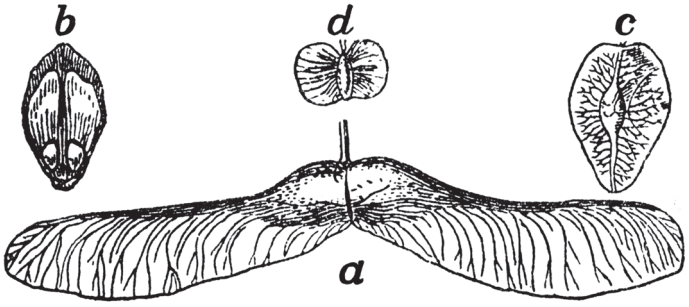



*Рис. 39. Летучие семена растений: a — крылатка клена, b — сосны, c — карагача, d — березы.*

На рис. 38 и 39 изображены некоторые плоды и семена, снабженные «планерами».

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

### Затяжной прыжок парашютиста

Здесь приходят на память героические прыжки наших мастеров парашютного спорта, сбрасывавшихся с огромной высоты, не раскрывая парашюта. Лишь пролетев значительную часть пути, они дергали за кольцо парашюта и последние сотни метров опускались, паря на своих зонтах. Евдокимов[1] в 1934 г. падал так с высоты 8 километров, поставив мировой рекорд «затяжного» прыжка с парашютом.

Многие думают, что, падая «камнем», не раскрывая парашюта, человек летит вниз, как в пустом пространстве. Если бы было так, если бы человеческое тело падало в воздухе, как в пустоте, — затяжной прыжок длился бы гораздо меньше, чем в действительности, а развиваемая к концу скорость была бы огромна. Путь в 7900 метров (проделанный Евдокимовым) тело должно было бы в пустоте пролететь всего в 40 секунд и разогнаться до скорости 400 метров в секунду. Евдокимов же, падая без раскрытого парашюта, пролетел ту же дистанцию в 142 сек. и развил к концу скорость, в 7–8 раз меньшую указанной.

Причина различия понятна: сопротивление воздуха препятствует нарастанию скорости. Скорость тела парашютиста во время затяжного прыжка росла только в течение первого десятка секунд, на протяжении первых сотен метров. Сопротивление воздуха возрастает с увеличением скорости так значительно, что довольно рано наступает момент, когда скорость больше уже не прибавляется[2]. Движение из ускоренного становится равномерным.

Можно путем вычислений набросать в общих чертах картину затяжного прыжка с точки зрения механики. *Ускоренное* падение парашютиста длится только первые 12 секунд или немного менее, в зависимости от веса его тела и аппарата. За этот десяток секунд он успевает опуститься метров на 400–450

---

[1] *Евдокимов Николай Александрович* (1909–1938) — советский летчик, первый человек в СССР, выполнивший затяжной прыжок с парашютом; установил два мировых рекорда свободного падения (*примеч. ред.*).

[2] Даже несколько уменьшается — вследствие увеличения плотности воздуха при приближении тела к Земле (*примеч. ред.*).

и накопить скорость около 50 метров в секунду. Весь остальной путь проходится уже равномерным движением с этою накопленной скоростью.

Примерно так же падают и капли дождя. Разница лишь в том, что первый период падения, когда скорость еще растет, продолжается для дождевой капли всего около одной секунды и даже меньше. Окончательная скорость капель дождя поэтому не столь велика, как при затяжном прыжке парашютиста: она колеблется от 2 до 7 метров в секунду в зависимости от размеров капли[1].

## Бумеранг

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

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

Впрочем, некоторую сноровку в этом искусстве может приобрести каждый.

Для упражнения в комнатах приходится довольствоваться бумажным бумерангом, который можно вырезать хотя бы из почтовой карточки в форме, указанной на рис. 40. Размеры каждой ветви — около 5 см в длину и немного меньше одного сантиметра в ширину. Зажмите такой бумажный бумеранг под ногтем большого пальца и щелкните по его кончику так, чтобы удар направлен был вперед и немного вверх. Бумеранг полетит метров на пять, плавно опишет кривую, иногда довольно затейливую, и если не заденет какого-нибудь предмета в комнате, то упадет у ваших ног.

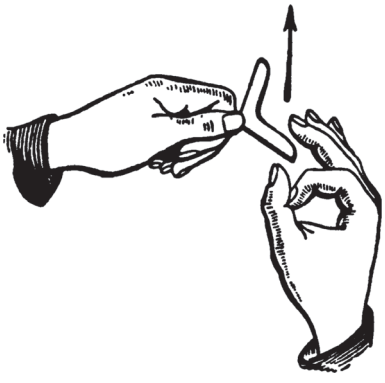


*Рис. 40. Бумажный бумеранг и способ его метания.*

Еще лучше удается опыт, если придать бумерангу размеры и форму, показанные на рис. 41 в натуральную величину. Полезно слегка изогнуть ветви бумеранга винтообразно (рис. 41, внизу). Такой бумеранг можно,

[1] О скорости дождевых капель подробнее рассказано в моей «Занимательной механике» (см. с. 592); о затяжном прыжке — в книге «Знаете ли вы физику?».

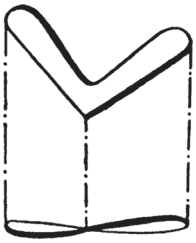


*Рис 41. Другая форма бумажного бумеранга (в натуральную величину).*

при некотором навыке, заставить описывать в воздухе сложные кривые и возвращаться в место его вылета.

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

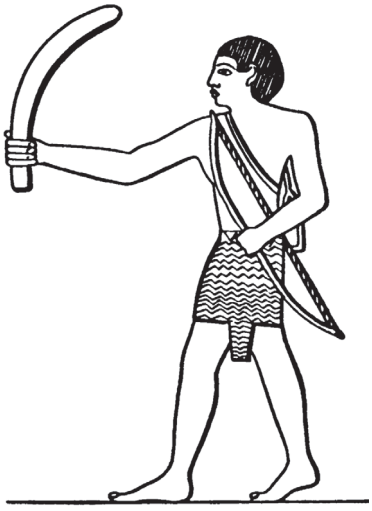


*Рис. 42. Древнеегипетское изображение воина, мечущего бумеранг.*

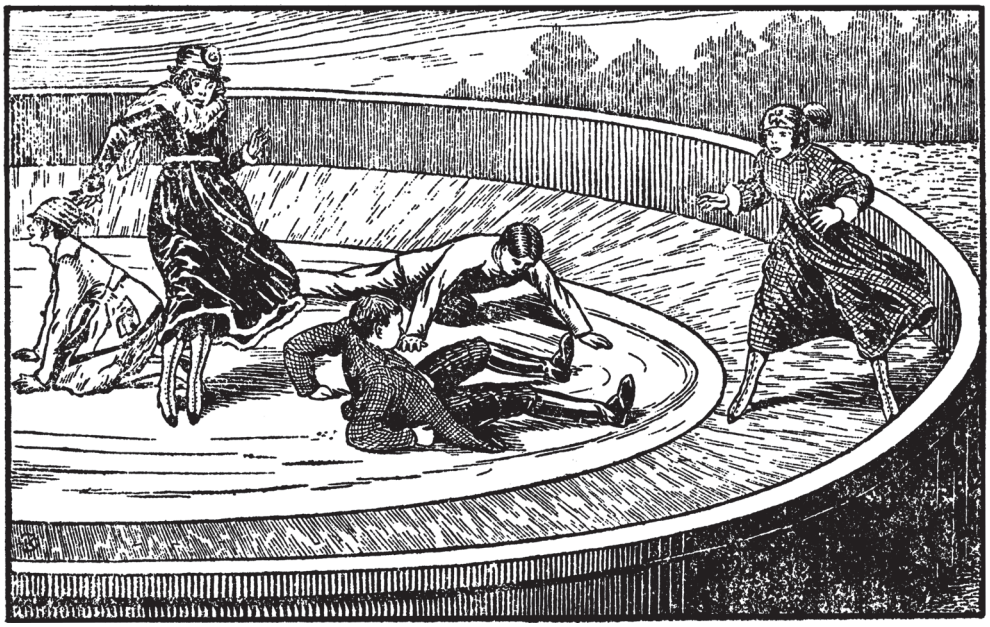


*Рис. 43. «Чертово колесо».*
*Люди на вращающемся круге отбрасываются за его края силой инерции.*

## *ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ*

## ВРАЩЕНИЕ — ВЕЧНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

### Как отличить вареное яйцо от сырого?

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

Дело в том, что яйца вареные и сырые вращаются не одинаковым образом. Этим и можно воспользоваться для разрешения нашей задачи. Испытуемое яйцо кладут на плоскую тарелку и двумя пальцами сообщают ему вращательное движение (рис. 44). Сваренное (особенно вкрутую) яйцо вращается при этом *заметно быстрее и дольше сырого*. Последнее трудно даже заставить вращаться; между тем круто сваренное яйцо вертится так быстро, что очертания его сливаются для глаз в белый сплющенный эллипсоид.

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

*Рис. 44. Как завертеть яйцо.*

*Рис. 45. Как отличить вареное яйцо от сырого по их вращению в подвешенном виде.*

Вареные и сырые яйца различно относятся также и к остановке вращения. Если к вращающемуся вареному яйцу прикоснуться пальцем, оно останавливается *сразу*. Сырое же яйцо, остановившись на мгновение, будет после отнятия руки еще немного вращаться. Происходит это опять-таки вследствие инерции: внутренняя жидкая масса в сыром яйце еще продолжает двигаться после того, как твердая оболочка пришла в покой; содержимое же вареного яйца останавливается одновременно с остановкой наружной скорлупы.

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

### «Чертово колесо»

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

На этом эффекте вращательного движения основано устройство своеобразного развлечения — «чертова колеса» (рис. 43), которое можно видеть в увеселительных садах.

Посетители имеют здесь случай на самих себе испытать неотразимое действие силы инерции. Публика размещается на круглой площадке — стоя, сидя, лежа, кто как желает. Скрытый под площадкой мотор плавно вращает ее около вертикальной оси, сначала медленно, потом все быстрее, постепенно увеличивая скорость. И тогда под действием инерции все находящиеся на платформе начинают сползать к ее краям. Сначала это движение едва заметно, но по мере того как «пассажиры» удаляются от центра и попадают на окружности все большего и большего радиуса, скорость, а следовательно, и инерция движения сказываются все заметнее. Никакие усилия удержаться на месте не приводят ни к чему, и люди один за другим сбрасываются с «чертова колеса».

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

### Чернильные вихри

Кружок из гладкого белого картона — лучше всего из бристольского — проткните в центре заостренной спичкой: у вас получится вертушка, изображенная на рис. 46 (справа) в натуральную величину. Чтобы заставить ее вертеться на заостренном конце спички, не требуется особой ловкости; достаточно закружить спичку между пальцами и быстро уронить вертушку на гладкое место.

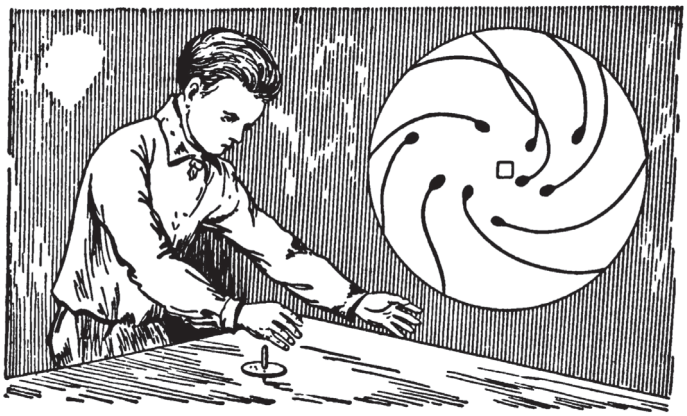


*Рис. 46. Как растекаются чернильные капли на вертящемся бумажном кружке.*

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

Сходство с вихрем не случайно. О чем говорят чернильные завитки на картонном кружке? Это следы движения чернильных капель. Капля претерпевает то же, что испытывает человек на вращающемся диске «чертова колеса». Уносясь от центра действием центробежного эффекта, она попадает в места диска, обладающие большею круговою скоростью, чем скорость самой капли. В этих местах кружок выскальзывает из-под капли, опережает ее. Дело происходит так, как если бы капля отставала от кружка, отступала назад от радиуса. Путь ее поэтому искривляется, — и мы видим на кружке след криволинейного движения.

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

### Обманутое растение

При быстром вращении центробежный эффект может достигать такой величины, что пересиливает действие тяжести. Вот интересный опыт, показывающий, какая значительная отбрасывающая сила развивается при вращении обыкновенного колеса. Мы знаем, что молодое растение всегда направляет стебель в сторону, противоположную силе тяжести, т. е., проще говоря, растет вверх. Но заставьте семена прорастать на ободе быстро вращающегося колеса, как сделал впервые английский ботаник Найт более ста лет тому назад[1]. Вы увидите изумительную вещь: корешки ростков будут направлены наружу, а стебельки — внутрь, вдоль радиусов колеса!

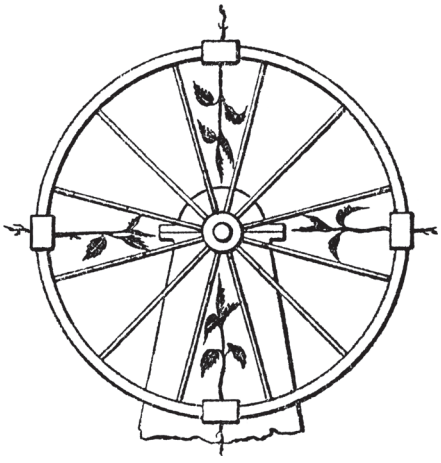


*Рис. 47. Бобовые семена, проросшие на ободе вращающегося колеса. Стебли направлены к оси, корешки — наружу.*

Мы словно обманули растение: заставили влиять на него вместо тяжести

[1] *Найт Томас* (1759–1838) поставил этот опыт в 1806 г. (*примеч. ред.*).

другую силу, действие которой направлено от центра колеса наружу. А так как росток тянется всегда в сторону, противоположную тяжести, то в этом случае он вытянулся внутрь колеса, по направлению от обода к оси. Наша искусственная тяжесть оказалась сильнее естественной[1], и молодое растение выросло под ее действием.

## Вечные двигатели

О «вечном двигателе», «вечном движении» часто говорят и в прямом, и в переносном смысле слова, но не все отдают себе ясный отчет, что, собственно, надо подразумевать под этим выражением. Вечный двигатель — это такой воображаемый механизм, который безостановочно движет сам себя и, кроме того, совершает еще какую-нибудь полезную работу (например, поднимает груз). Такого механизма никто не построил, хотя попытки изобрести его делались уже давно. Вечное же движение — явление непрекращающегося движения без совершения работы.

На рис. 48 изображен мнимый самодвижущийся механизм — один из древнейших проектов вечного двигателя, иногда и теперь возрождаемый неудачливыми фанатиками этой идеи. К краям колеса прикреплены откидные палочки с грузами на концах. При всяком положении колеса грузы на правой его стороне будут откинуты дальше от центра, нежели на левой; эта половина, следовательно, должна всегда перетягивать левую и тем самым заставлять колесо вращаться. Значит, колесо должно вращаться вечно, — по крайней мере до тех пор, пока не перетрется его ось. Так думал изобретатель. Между тем, если даже смастерить такой двигатель, он не будет вращаться. Почему же расчет изобретателя не оправдывается?

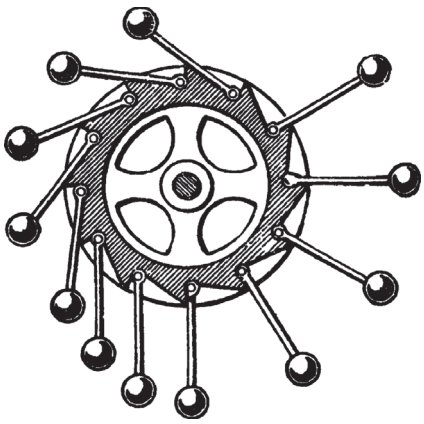


*Рис. 48. Мнимое вечно движущееся колесо, придуманное в Средние века.*

Вот почему: хотя грузы на правой стороне всегда дальше от центра, но неизбежно такое положение, когда число этих грузов гораздо меньше, чем на левой стороне. Взгляните на рисунок: направо всего 4 груза, налево же — 8. Вся система уравновешивается: естественно, что колесо вращаться не станет, а, сделав несколько качаний, остановится в таком положении[2].

Теперь доказано непреложно, что нельзя построить механизм, который вечно

[1] Современный взгляд на природу тяготения (теория Эйнштейна) не усматривает здесь, впрочем, принципиальной разницы.

[2] Здесь применима так называемая теорема моментов.

двигался бы сам собой, выполняя еще при этом какую-нибудь работу. Совершенно безнадежно трудиться над такой задачей. В прежнее время, особенно в Средние века, люди безуспешно ломали головы над ее разрешением и потратили на изобретение «вечного двигателя» (*perpetuum mobile*[1] — по-латыни) много времени и труда. Обладание таким двигателем представлялось еще более заманчивым, чем искусство делать золото из дешевых металлов.

У Пушкина, в «Сценах из рыцарских времен», выведен такой мечтатель в лице Бертольда:

«— Что такое *perpetuum mobile*? — спросил Мартын.

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

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

Вот еще образчик мнимого вечного двигателя: колесо с перекатывающимися в нем тяжелыми шарами (рис. 49). Изобретатель воображал, что шары на одной стороне колеса, находясь всегда ближе к краю, своим весом заставят колесо вертеться.

Разумеется, этого не произойдет — по той же причине, как и с колесом, изображенным на рис. 48. Тем не менее в одном из городов Америки устроено было ради рекламных целей, для привлечения внимания публики к кафе, огромное колесо именно подобного рода (рис. 50).

Конечно, этот «вечный двигатель» незаметно приводился в действие искусно скрытым посторонним механизмом, хотя зрителям казалось, что колесо двигают перекатывающиеся в прорезах тяжелые шары. Модель такого механизма, как поучительная физическая головоломка, показывалась посетителям ленинградского «Павильона занимательной науки»[2]. В том же роде и другие мнимые образцы вечных двигателей, выставлявшиеся одно время в витринах часовых магазинов для привлечения публики: все они незаметно приводятся в движение электрическим током.

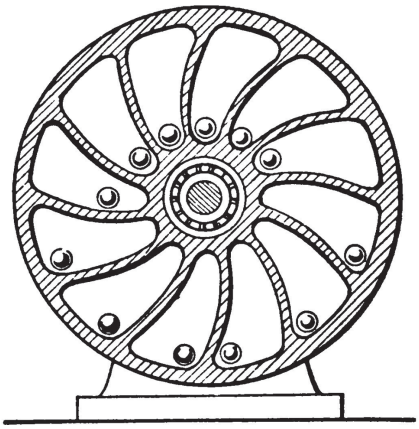


*Рис. 49. Мнимый вечный двигатель с перекатывающимися шариками.*

[1] Произносится «перпе́туум мо́биле».

[2] *Павильон* (затем *Дом*) действовал с 1934 г. по 29 июня 1941 г. (*примеч. ред.*).

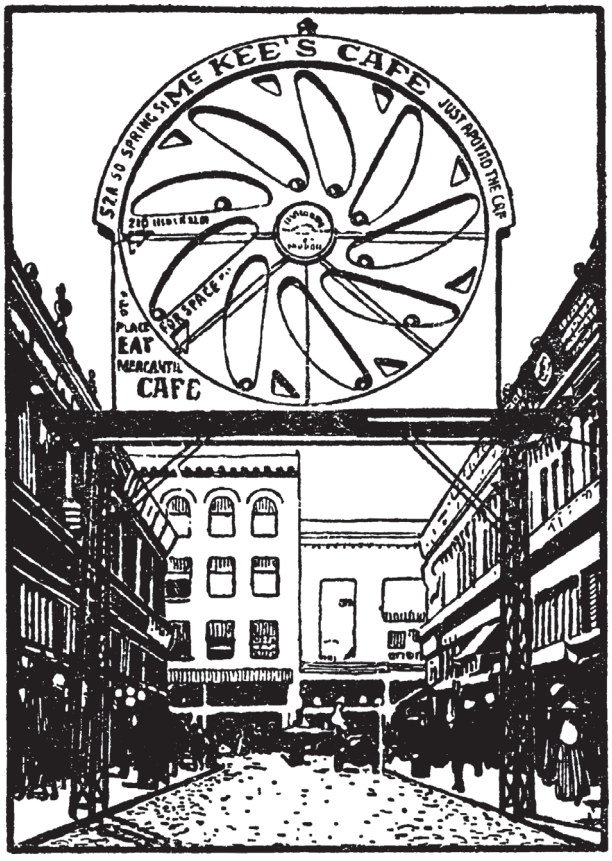



*Рис. 50. Мнимый вечный двигатель в городе Лос-Анджелесе (Калифорния), устроенный ради рекламы.*

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

— Ну, что, видели двигатель? — спросил я.

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

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

## «Зацепочка»

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

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

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

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

— Можно взглянуть?

— Помилуйте! За счастье...

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

— Вертится?

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

— Можно отнять запорку?

Презентов вынул палку — колесо не шелохнулось.

— Капризится! — повторил он, — надо импет дать.

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

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

Но во второй раз повторилось то же самое.

— Трения, может быть, в расчет не приняли?

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

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

### «Главная сила — в шарах»

О другом русском изобретателе «вечного двигателя», пермяке-крестьянине Лаврентии Голдыреве (умершем в 1884 г.), повествует писатель Каронин (Н. Е. Петропавловский): в рассказе *«Perpetuum mobile»* он выводит его под именем Пыхтина. Изобретение этого самоучки описано беллетристом, лично знавшим Голдырева, довольно подробно:

«Перед нами стояла странная машина больших размеров, с первого взгляда похожая на тот станок, в котором подковывают лошадей; виднелись плохо отесанные деревянные столбы, перекладины и целая система колес, маховых и зубчатых; все это было неуклюже, не оструганно, безобразно. В самом низу под машиной лежали какие-то чугунные шары; целая куча этих шаров лежала и в стороне.

— Это она и есть? — спросил управляющий.

— Она-с...

— Что же, вертится она?

— Как же, вертится...

— Да у тебя есть лошадь, чтобы вертеть-то ее?

— Зачем же лошадь? Она сама, — отвечал Пыхтин и принялся показывать устройство чудища.

Главную роль играли те чугунные шары, которые сложены были тут же в кучу.

— Главная сила в этих вот шарах... Вот глядите: наперво он буцнется на этот черпак... отсюда свистнет, подобно молнии, вон по этому желобу, а там его подденет тот черпак, и он перелетит, как сумасшедший, на то колесо и опять даст ему хорошего толчка, — такого то есть толчка, от которого он зажужжит даже... А пока этот шар летит, там уж свое дело делает другой... Там уж он опять летит и — буц вот сюда. Тут уж он опять по желобу летит... бросится на тот черпак, перескочит на то колесо и опять р-раз! Так и далее. Вот она в чем штука-то... Вот я пущу ее...

Пыхтин торопливо метался по сараю, собирая разбросанные шары. Наконец, свалив их в одну кучу подле себя, он взял один из них в руку и с размаху бухнул его на ближайший черпак колеса, потом быстро другой, за ним третий... В сарае поднялось что-то невообразимое: шары лязгали о железные черпаки, дерево колес скрипело, столбы стонали. Адский свист, жужжание, скрежет наполнили полутемное место...»

Писатель утверждает, что машина Голдырева двигалась. Это — явное недоразумение. Вращение возможно было лишь, пока поднятые шары опускались вниз, — тогда они могли двигать колесо, подобно гирям стенных часов, за счет энергии, накопленной в шарах при их поднятии вверх. Такое движение

машины могло длиться недолго: когда все заранее поднятые шары, «буцнувшись» в черпаки, очутятся внизу, машина остановится, — если только не остановится еще раньше противодействием всех тех шаров, которые машина должна была поднимать.

Изобретатель и сам впоследствии разочаровался в своем детище, когда, выставив его в Екатеринбурге, ознакомился на той же выставке с настоящими промышленными машинами. Спрошенный о придуманной им «самодвижущейся машине», он уныло ответил:

— Ну ее к шуту! Прикажите уж изрубить ее на дрова...

### Аккумулятор Уфимцева

Насколько легко впасть в ошибку, если о «вечном» движении судить только по внешнему виду, показывает так называемый аккумулятор механической энергии Уфимцева. Курский изобретатель А. Г. Уфимцев[1] создал новый тип ветросиловой станции с дешевым «инерционным» аккумулятором, устроенным по типу махового колеса. В 1920 г. Уфимцевым построена была модель его аккумулятора в виде диска, вращающегося на вертикальной оси с шариковым подшипником, в кожухе, из которого выкачан воздух. Будучи разогнан до 20 000 оборотов в минуту, диск сохраняет вращение в течение пятнадцати суток! Глядя на вал такого диска, целыми днями вращающийся без притока энергии извне, невдумчивый наблюдатель может заключить, что перед ним — реальное осуществление вечного движения.

### «Чудо и не чудо»

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

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

Прекрасным примером может служить тот способ, с помощью которого Стевин, замечательный голландский ученый конца XVI и начала XVII века,

---

[1] *Уфимцев Анатолий Георгиевич* (1880–1936) — изобретатель-самоучка; создал несколько конструкций самолетов, новых музыкальных инструментов, ветрогенератор и др. (всего 68 патентов) (*примеч. ред.*).

открыл закон равновесия сил на наклонной плоскости. Этот математик заслуживает гораздо большей известности, нежели та, какая выпала на его долю, потому что он сделал много важных открытий, которыми мы теперь постоянно пользуемся: изобрел десятичные дроби, ввел в алгебру употребление показателей, открыл гидростатический закон, впоследствии вновь открытый Паскалем. Закон равновесия сил на наклонной плоскости он открыл, не опираясь на правило параллелограмма сил, единственно лишь с помощью чертежа, который здесь приложен (рис. 51). Через трехгранную призму перекинута цепь из 14 одинаковых шаров. Что произойдет с этой цепью? Нижняя часть, свисающая гирляндой, уравновешивается сама собою. Но остальные две части цепи — уравновешивают ли друг друга? Иными словами: правые два шара уравновешиваются ли левыми четырьмя? Конечно, да, — иначе цепь сама собою вечно бежала бы справа налево, потому что на место соскользнувших шаров всякий раз помещались бы другие, и равновесие никогда бы не восстанавливалось. Но так как мы знаем, что цепь, перекинутая указанным образом, вовсе не движется сама собою, то, очевидно, два правых шара действительно уравновешиваются четырьмя левыми. Получается словно чудо: два шара тянут с такою же силою, как и четыре.

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

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

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

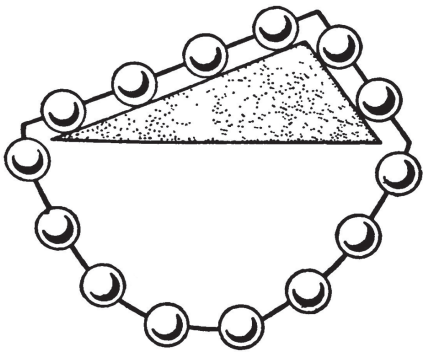


*Рис. 51. «Чудо и не чудо».*

### Еще «вечные двигатели»

На рис. 52 вы видите тяжелую цепь, перекинутую через колеса так, что правая ее половина при всяком положении должна быть длиннее левой. Следовательно, — рассуждал изобретатель, — она должна перевешивать левую и безостановочно падать вниз, приводя в движение весь механизм. Так ли это?

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

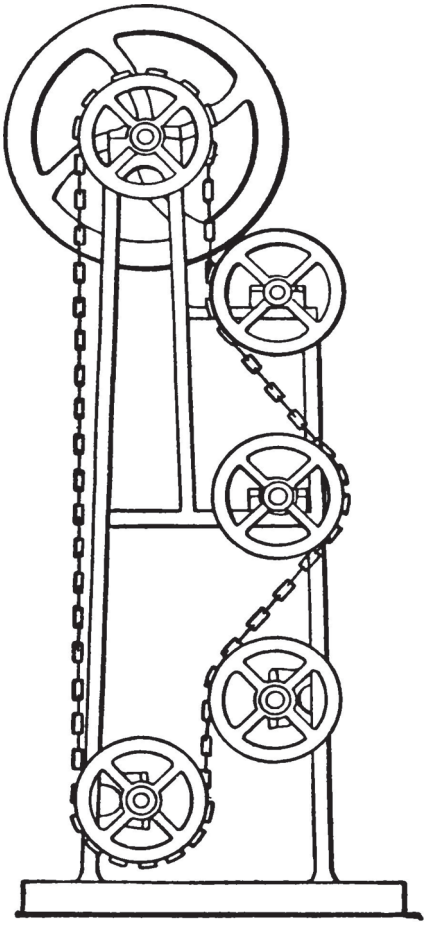


*Рис. 52. Вечный ли это двигатель?*

Пожалуй, остроумнее всех поступил некий изобретатель «вечного» двигателя, показывавший свое изобретение в 60-х годах прошлого столетия[1] на Парижской выставке. Двигатель состоял из большого колеса с перекатывавшимися в нем шарами, причем изобретатель утверждал, что никому не удастся задержать движение колеса. Посетители один за другим пытались остановить колесо, — но оно немедленно же возобновляло вращение, как только отнимали руки. Никто не догадывался, что колесо вращается именно благодаря стараниям посетителей остановить его: толкая его назад, они тем самым заводили пружину искусно скрытого механизма...

### «Вечный двигатель» времен Петра I

Сохранилась оживленная переписка, которую вел в 1715–1722 гг. Петр I по поводу приобретения в Германии вечного двигателя, придуманного неким доктором Орфиреусом. Изобретатель, прославившийся на всю Германию своим «самодвижущимся колесом», соглашался продать царю эту машину лишь

[1] Т. е. в 60-х гг. XIX в. (*примеч. ред.*).

за огромную сумму. Ученый библиотекарь Шумахер, посланный Петром на Запад для собирания редкостей, так доносил царю о притязаниях Орфиреуса, с которым он вел переговоры о покупке:

«Последняя речь изобретателя была: „на одной стороне положите 100 000 ефимков[1], а на другой я положу машину“».

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

В январе 1725 г. Петр собирался в Германию, чтобы лично осмотреть «вечный» двигатель, о котором так много говорили, — но смерть помешала царю выполнить свое намерение.

Кто же был этот таинственный доктор Орфиреус, и что представляла собою его «знатная машина», чуть было не купленная Петром? Мне удалось разыскать сведения и о том, и о другой.

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

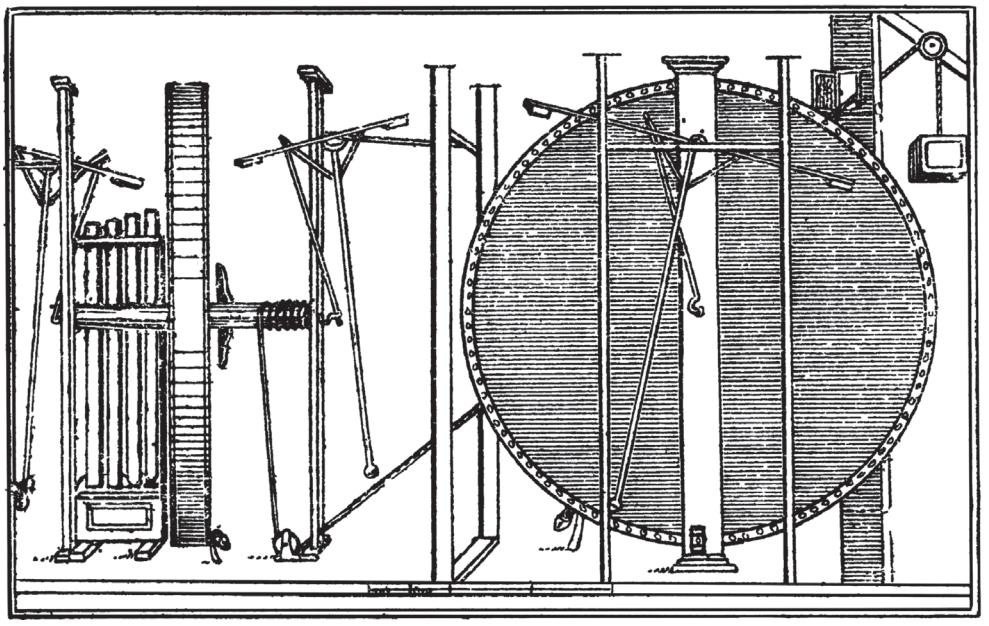


*Рис. 53. Самодвижущееся колесо Орфиреуса, едва не приобретенное Петром I. (Со старинного рисунка.)*

[1] *Ефимок* (*Joachimsthaler*) — около рубля.

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

На прилагаемом рис. 53, заимствованном из старинной книги, изображена машина Орфиреуса, какой она была в 1714 г. Вы видите большое колесо, которое будто бы не только вращалось само собою, но и поднимало при этом тяжелый груз на значительную высоту.

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

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

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

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

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

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

Знаменитый изобретатель отовсюду получал лестные предложения. Великие мира сего осыпали его высокими милостями, поэты слагали оды и гимны

в честь его чудесного колеса. Но были и недоброжелатели, подозревавшие здесь искусный обман. Находились смельчаки, которые открыто обвиняли Орфиреуса в плутовстве; предлагалась премия в 1000 марок тому, кто разоблачит обман. В одном из памфлетов, написанных с обличительной целью, мы находим рисунок, изображенный здесь: тайна «вечного двигателя», по мнению разоблачителя, кроется просто в том, что искусно спрятанный человек тянет за веревку, намотанную, незаметно для наблюдателей, на часть оси колеса, скрытую в стойке (рис. 54).

Тонкое плутовство было раскрыто случайно только потому, что ученый доктор поссорился со своей женой и прислугой, посвященными в его тайну. Не случись этого, мы, вероятно, до сих пор оставались бы в недоумении относительно «вечного двигателя», наделавшего столько шуму. Оказывается, что «вечный двигатель» действительно приводился в движение спрятанными людьми, незаметно дергавшими за тонкий шнурок. Этими людьми были брат изобретателя и его служанка.

Разоблаченный изобретатель не сдавался; он упорно утверждал до самой смерти, что жена и прислуга донесли на него по злобе. Но доверие к нему было

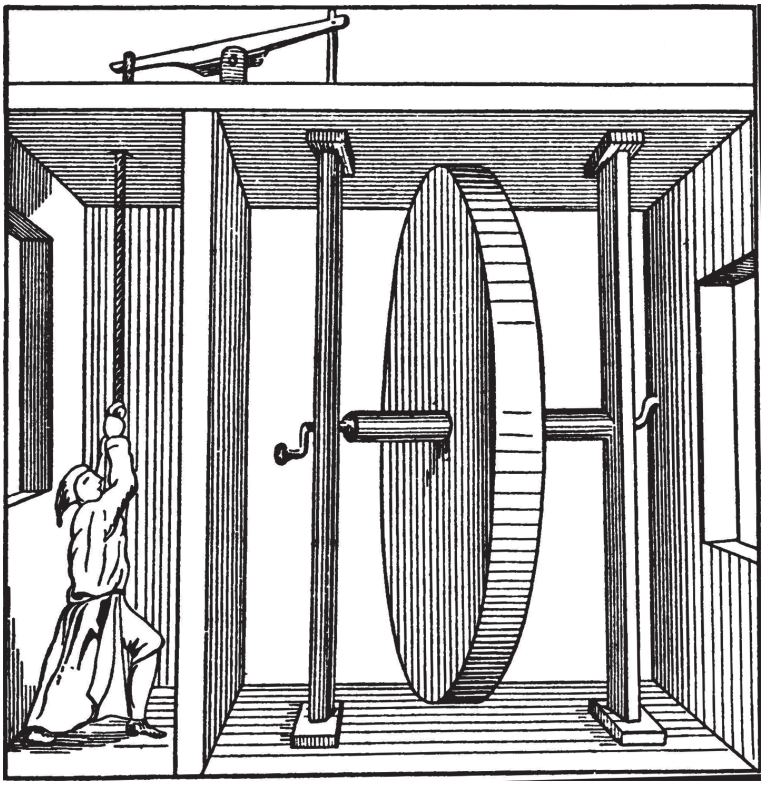


*Рис. 54. Разоблачение секрета колеса Орфиреуса. (Со старинного рисунка.)*

подорвано. Недаром он твердил посланцу Петра, Шумахеру, о людском злонравии и о том, что «весь свет наполнен злыми людьми, которым верить весьма невозможно».

Во времена Петра I славился в Германии еще и другой «вечный двигатель» — некоего Гертнера. Шумахер писал об этой машине следующее: «Господина Гертнера *Perpetuum mobile*, которое я в Дрездене видел, состоит из холста, песком засыпанного, и в образе точильного камня сделанной машины, которая назад и вперед сама от себя движется, но, по словам господина инвентора (изобретателя), не может весьма велика сделаться». Без сомнения, и этот двигатель не достигал своей цели и в лучшем случае представлял собою замысловатый механизм с искусно скрытым, отнюдь не «вечным» живым двигателем. Вполне прав был Шумахер, когда писал Петру, что французские и английские ученые «ни во что почитают все оные перепетуи мобилес и сказывают, что оное против принципиев математических»[1].

[1] Историю «вечных» двигателей читатель может найти в «Беседах о механике» В. Л. Кирпичева (1933) — превосходном сочинении, которое необходимо прочесть каждому интересующемуся физикой и механикой, если он владеет математикой.

*ГЛАВА ПЯТАЯ*

# СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

## Задача о двух кофейниках

Перед вами (рис. 55) два кофейника одинаковой ширины: один высокий, другой — низкий. Какой из них вместительнее?

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

Это и понятно: в кофейнике и в трубке носика, как во всяких сообщающихся сосудах, жидкость должна стоять на одинаковом уровне — несмотря на то, что жидкость в носике весит гораздо меньше, чем в остальной части

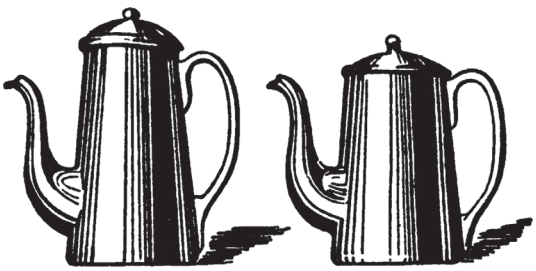


*Рис. 55. В какой из этих кофейников можно налить больше жидкости?*

кофейника. Если же носик недостаточно высок, вы никак не нальете кофейник доверху: вода будет выливаться. Обычно носик устраивается даже выше краев кофейника, чтобы сосуд можно было немного наклонять, не выливая содержимого.

### Чего не знали древние

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

Не то приходится сказать о познаниях римских инженеров, руководивших этими работами: они явно недостаточно были знакомы с основами физики. Взгляните на прилагаемый рисунок 56, воспроизведенный с картины Германского музея в Мюнхене. Вы видите, что трубы римского водопровода прокладывались не в земле, а на высоких каменных столбах. Для чего это делалось? Разве не проще было прокладывать трубы в земле, как делается теперь? Конечно, проще, — но римские инженеры того времени имели весьма смутное представление о законах сообщающихся сосудов. Они опасались, что в водоемах, соединенных очень длинной трубой, вода не установится на одинаковом уровне. Если трубы проложены в земле, следуя уклонам почвы, то в некоторых участках вода должна течь вверх, — и вот римляне боялись, что вода вверх не потечет. Поэтому они обычно придавали водопроводным трубам равномерный уклон вниз на всем их пути (а для этого требовалось нередко либо вести трубы в обход, либо возводить высокие арочные подпоры).

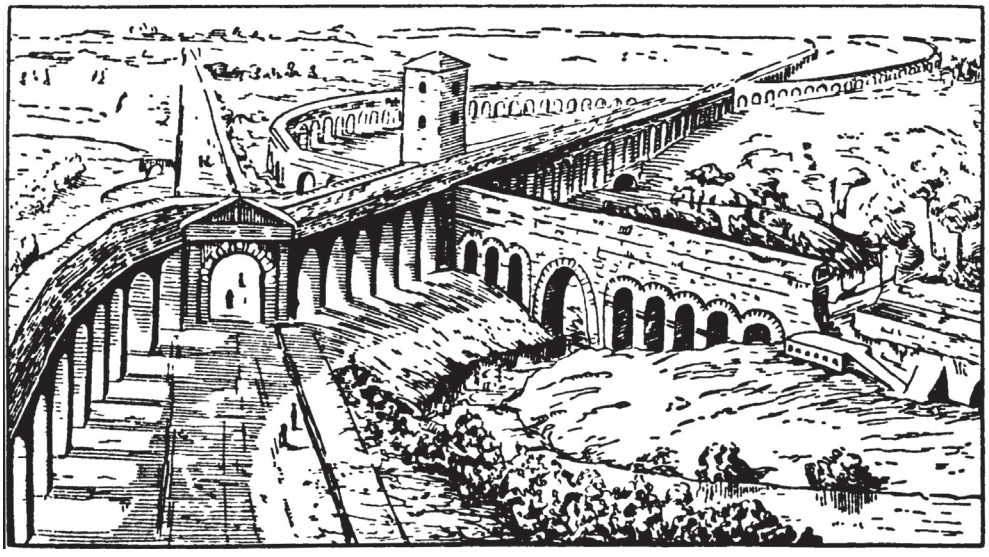


*Рис. 56. Водопроводные сооружения Древнего Рима в их первоначальном виде.*

Одна из таких труб, Аква Марциа, имеет в длину 100 км, между тем как прямое расстояние между ее концами вдвое меньше.

Полсотни километров каменной кладки пришлось проложить только из-за незнания элементарного закона физики!

### Жидкости давят… вверх!

О том, что жидкости давят вниз, на дно сосуда, и вбок, на стенки, знают даже и те, кто никогда не изучал физики. Но что они давят и *вверх*, многие даже не подозревают. Обыкновенное ламповое стекло поможет убедиться, что такое давление действительно существует. Вырежьте из плотного картона кружок таких размеров, чтобы он закрывал отверстие лампового стекла. Приложите его к краям стекла и погрузите в воду, как показано на рис. 57. Чтобы кружок не отпадал при погружении, его можно придерживать ниткой, протянутой через его центр, или просто прижать пальцем. Погрузив стекло до определенной глубины, вы заметите, что кружок хорошо держится и сам, не прижимаемый ни давлением пальца, ни натяжением нитки: его подпирает вода, надавливающая на него снизу вверх.

Вы можете даже измерить величину этого давления вверх. Наливайте осторожно в стекло воду; как только уровень ее внутри стекла приблизится

*Рис. 57. Простой способ убедиться, что жидкость давит снизу вверх.*

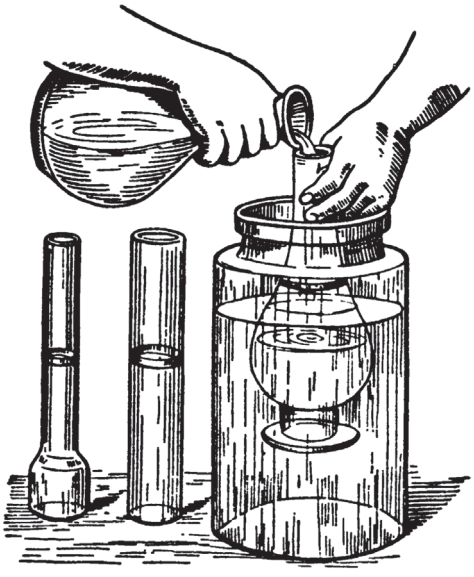


*Рис. 58. Давление жидкости на дно сосуда зависит только от площади дна и от высоты уровня жидкости. На рисунке показано, как проверить это правило.*

к уровню в сосуде, кружок отпадет. Значит, давление воды на кружок снизу уравновешивается давлением на него сверху столба воды, высота которого равна глубине кружка под водой. Таков закон давления жидкости на всякое погруженное тело. Отсюда, между прочим, и та «потеря» веса тел в жидкостях, о которой говорит нам знаменитый закон Архимеда.

Имея несколько ламповых стекол разной формы, но с одинаковыми отверстиями, вы сможете проверить и другой закон, относящийся к жидкостям, а именно: давление жидкости на дно сосуда зависит только от площади дна и высоты уровня; от формы же сосуда оно совершенно не зависит. Проверка будет состоять в том, что вы проделаете описанный сейчас опыт с разными стеклами, погружая их на одну и ту же глубину (для чего надо предварительно приклеить к стеклам бумажные полоски на равной высоте). Вы заметите, что кружок всякий раз будет отпадать при одном и том же уровне стояния воды в стеклах. Значит, давление водяных столбов различной формы одинаково, если только одинаковы их основание и высота. Обратите внимание на то, что здесь важна именно *высота*, а не *длина*, потому что длинный *наклонный* столб давит на дно совершенно так же, как и короткий отвесный столб одинаковой с ним *высоты* (при равных площадях оснований).

### Что тяжелее?

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

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

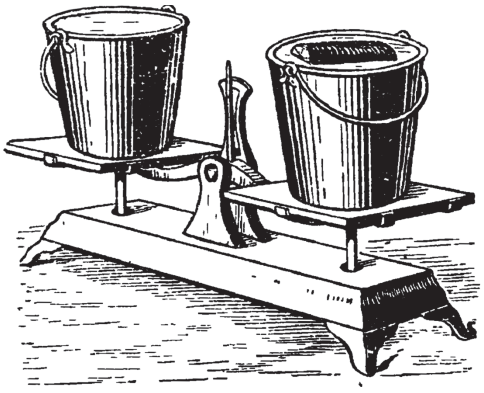


*Рис. 59. Оба ведра одинаковы и наполнены до краев; в одном плавает кусок дерева. Которое перетянет?*

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

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

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

Мы пришли к неправильному заключению, потому что вспомнили только об одной половине закона Архимеда, забыв о другой. Эта другая половина гласит, что погруженное тело, подверженное давлению со стороны жидкости, само давит — по закону противодействия — на жидкость с такою же силою. Поэтому вес, *«утраченный» телом, как бы сообщается жидкости*[1]. Насколько «легче» стала гирька, на столько же «тяжелее» стала вода в стакане; общий вес их не изменился, и потому равновесие чашек не нарушается.

## Естественная форма жидкости

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

Прованское масло плавает в воде, но тонет в спирте. Можно поэтому приготовить такую смесь из воды и спирта, в которой масло не тонет и не всплывает. Введя в эту смесь немного масла посредством шприца, мы увидим странную вещь: масло собирается в большую круглую каплю, которая не всплывает и не тонет, а висит неподвижно[2].

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

---

[1] Иными словами, гирька вытеснила часть воды, уровень жидкости в стакане повысился, и давление на дно увеличилось на добавочную силу, равную потере веса гирькой (*примеч. ред.*).

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

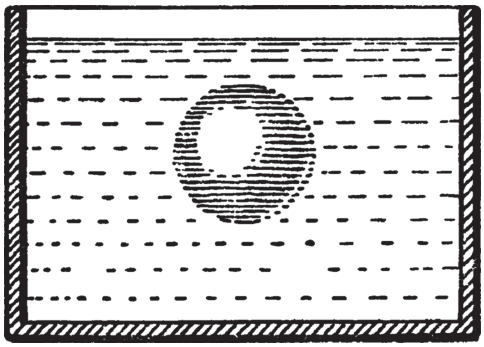


*Рис. 60. Масло внутри сосуда с разбавленным спиртом собирается в шар, который не тонет и не всплывает (опыт Плато).*

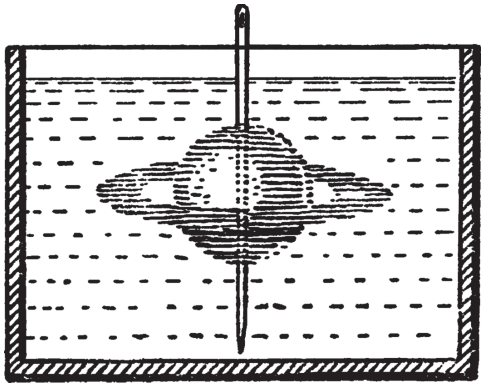


*Рис. 61. Если масляный шар в спирте быстро вращать при помощи воткнутого стерженька, от шара отделяется кольцо.*

Это, однако, еще не все. Пропустив через центр жидкого масляного шара длинный деревянный стерженек или проволоку, вращают их как ось. Масляный шар принимает участие в этом вращении. (Опыт удается лучше, если насадить на ось небольшой смоченный маслом картонный кружочек, который весь оставался бы внутри шара.) Под влиянием вращения шар начинает сначала сплющиваться, а затем через несколько секунд отделяет от себя кольцо. Разрываясь на части, кольцо это образует не бесформенные куски, а новые шарообразные капли, которые продолжают кружиться около центрального шара. Впервые этот поучительный опыт произвел бельгийский физик Плато.

Здесь описан опыт Плато в его классическом виде. Гораздо легче и не менее поучительно произвести его в ином виде, предложенном ленинградским физиком-педагогом В. Л. Розенбергом: «Маленький стакан споласкивают

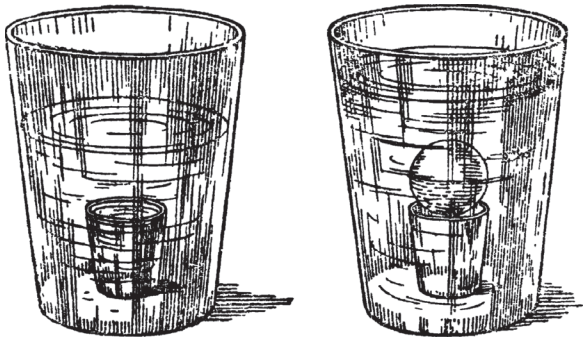


*Рис. 62. Упрощение опыта Плато.*

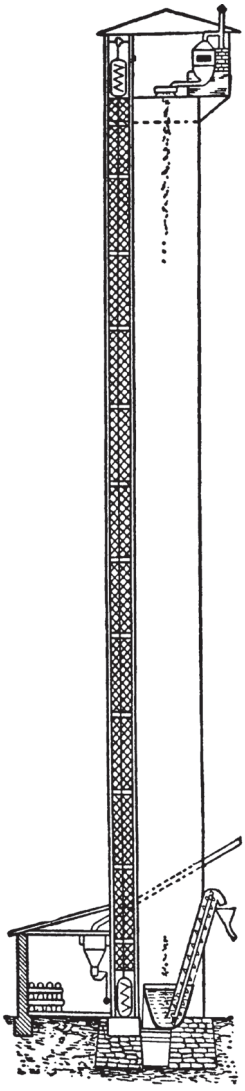


*Рис. 63. Башня дроболитейного завода.*

водой, наполняют прованским маслом и ставят на дно большого стакана; в последний наливают осторожно столько спирта, чтобы маленький стакан был весь в него погружен. Затем по стенке большого стакана из ложечки осторожно доливают понемногу воду. Поверхность масла в маленьком стакане становится выпуклой; выпуклость постепенно возрастает и при достаточном количестве подлитой воды поднимается из стакана, образуя шар довольно значительных размеров, висящий внутри смеси спирта и воды (рис. 62).

За неимением спирта можно проделать этот опыт с *анилином* — жидкостью, которая при обыкновенной температуре тяжелее воды, а при 75–80°С легче ее. Нагревая воду, мы можем, следовательно, заставить анилин плавать внутри нее, причем он принимает форму большой шарообразной капли»[1].

### Почему дробь круглая?

Сейчас мы говорили о том, что всякая жидкость, освобожденная от действия тяжести, принимает свою естественную форму — шарообразную. Если вспомните сказанное раньше о невесомости падающего тела и примете в расчет, что в самом начале падения можно пренебречь ничтожным сопротивлением воздуха[2], то сообразите, что падающие порции жидкости также должны принимать форму шаров. И действительно: падающие капли дождя имеют форму шариков. Дробинки — не что иное, как застывшие капли расплавленного свинца, который при заводском способе изготовления заставляют падать каплями с большой высоты в холодную воду: там они затвердевают в форме совершенно правильных шариков.

Так отлитая дробь называется «башенной», потому что при отливке ее заставляют падать с верхушки высокой «дроболитейной» башни. Башни дроболитейного

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

[2] Дождевые капли опускаются как свободно падающие тела только в самом начале падения; уже примерно ко второй половине первой секунды падения устанавливается, из-за возрастающего сопротивления воздуха, равномерное движение. Подробнее об этом см. мою «Занимательную механику», гл. 9-ю, статью «Скорость дождевых капель», с. 592.

завода — металлической конструкции и достигают в высоту 45 м; в самой верхней части располагается литейное помещение с плавильными котлами, внизу — бак с водой. Отлитая дробь подлежит еще сортировке и отделке. Капля расплавленного свинца застывает в дробинку еще во время падения; бак с водой нужен лишь для того, чтобы смягчить удар дробинки при падении и предотвратить искажение ее шарообразной формы. (Дробь диаметром больше 6 мм, так называемая *картечь*, изготовляется иначе — вырубкой из проволоки кусочков, потом обкатываемых.)

### «Бездонный» бокал

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

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

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

*Рис. 64. Поразительный опыт с булавками в бокале воды.*

Сделаем для ясности примерный подсчет.

Длина булавки — около 25 мм, толщина ее — полмиллиметра. Объем такого цилиндра нетрудно вычислить по известной формуле геометрии ($\frac{\pi D^2 h}{4}$); он равен 5 куб. мм. Вместе с головкой объем булавки не превышает 5½ куб. мм.

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

### Любопытная особенность керосина

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

Дело в том, что вы недостаточно плотно завинтили горелку, и керосин, стремясь растечься по стеклу, выполз на наружную поверхность резервуара. Если желаете оградить себя от подобных сюрпризов, вы должны возможно плотнее завинчивать горелку[1].

Эта ползучесть керосина весьма неприятным образом ощущается на судах, машины которых потребляют керосин (или нефть). На подобных судах, если не приняты меры, положительно невозможно перевозить никакие товары, кроме тех же керосина или нефти, потому что жидкости эти, выползая из баков через незаметные скважины, растекаются не только по металлической поверхности самих баков, но проникают решительно всюду, даже в одежду пассажиров, сообщая всем предметам свой неистребимый запах. Все попытки бороться с этим злом остаются часто безрезультатными.

Английский юморист Джером не очень преувеличивал, когда рассказывал о керосине следующее в шуточной повести «Трое в лодке»:

«Я не знаю вещества, более способного просачиваться всюду, чем керосин. Мы держали его на носу лодки, а он оттуда просочился на другой конец, пропитав своим запахом все, что попадалось ему по пути. Просачиваясь сквозь обшивку,

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

он капал в воду, портил воздух и небо, отравлял жизнь. Иногда дул северный керосин — новый ветер; иногда — южный, иногда — западный или восточный; но где бы он ни зарождался, к нам он прилетал, напоенный благоуханием керосина. По вечерам это благоухание уничтожало прелесть заката, а лучи месяца положительно источали керосин... Привязав лодку у моста, мы пошли прогуляться по городу, — но ужасный запах преследовал нас. Казалось, весь город был им пропитан». (На самом деле, конечно, пропитано было им лишь платье путешественников.)

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

**Копейка, которая в воде не тонет,**

существует не только в сказке, но и в действительности. Вы убедитесь в этом, если проделаете несколько легко выполнимых опытов. Начнем с более легких предметов — с иголок. Кажется невозможным заставить стальную иглу плавать на поверхности воды, а между тем это не так трудно сделать. Положите на поверхность воды лоскуток папиросной бумаги, а на него — совершенно сухую иголку. Теперь остается только осторожно удалить папиросную бумагу

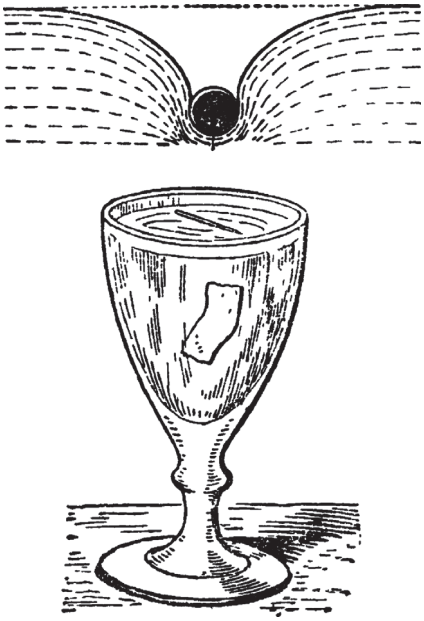


*Рис. 65. Игла, плавающая на воде.*
*Вверху: разрез иглы (2 мм толщины) и точная форма углубления на воде (увеличено в 2 раза).*
*Внизу: способ заставить иглу плавать на воде с помощью лоскутка бумаги.*

из-под иглы. Делается это так: вооружившись другой иглой или булавкой, слегка погружают края лоскутка в воду, постепенно подходя к середине; когда лоскуток весь намокнет, он упадет на дно, игла же будет продолжать плавать. При помощи магнита, подносимого к стенкам стакана на уровне воды, вы можете даже управлять движениями этой плавающей на воде иглы.

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

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

Причина плавания всех этих металлических предметов та, что вода плохо смачивает металл, побывавший в наших руках и потому покрытый тончайшим слоем жира. Оттого вокруг плавающей иглы на поверхности воды образуется вдавленность, ее можно даже видеть. Поверхностная пленка жидкости, стремясь распрямиться, оказывает давление вверх на иглу и тем поддерживает ее. Поддерживает иглу также и выталкивающая сила жидкости, согласно закону плавания: игла выталкивается снизу с силой, равной весу вытесненной ею воды[1].

Всего проще добиться плавания иглы, если смазать ее маслом; такую иглу можно прямо класть на поверхность воды, и она не потонет.

## Вода в решете

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

Решето осталось решетом, — в нем есть сквозные отверстия, через которые свободно проходит булавка, — но теперь вы можете, в буквальном смысле

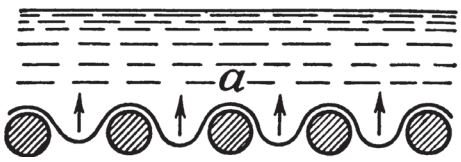



*Рис. 66. Почему вода не выливается из парафинированного решета.*

[1] При действии на тело капиллярных сил закон Архимеда в обычной форме не применим; в данном случае выталкивающая сила определяется глубиной погружения плавающей иглы (*примеч. ред.*).

слова, носить в нем воду. В таком решете удерживается довольно высокий слой воды, не проливаясь сквозь ячейки: надо только осторожно налить воду и оберегать решето от толчков.

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

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

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

## Пена на службе техники

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

Сущность флотации (т. е. всплывания) состоит в следующем. Тонко измельченная руда загружается в чан с водой и маслянистыми веществами,

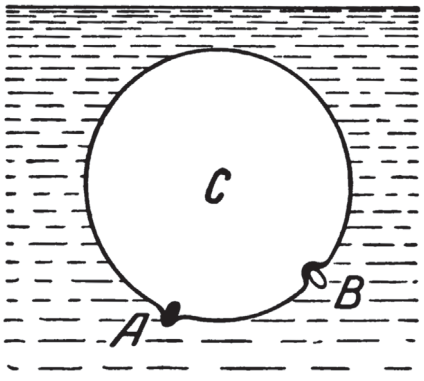



*Рис. 67. Как происходит флотация.*

которые способны обволакивать частицы полезного минерала тончайшими пленками, не смачиваемыми водой.

Смесь энергично перемешивается с воздухом, образуя множество мельчайших пузырьков — пену. При этом частицы полезного минерала, покрытые тонкой маслянистой пленкой, приходя в соприкосновение с оболочкой воздушного пузырька, пристают к ней и повисают на пузырьке, который и выносит их вверх, как воздушный шар в атмосфере поднимает гондолу (рис. 67). Частицы же пустой породы, не облеченные маслянистым веществом, не пристают к оболочке и остаются в жидкости. Надо заметить, что воздушный пузырек пены гораздо больше по объему, нежели минеральная частица, и плавучесть его достаточна для увлечения твердой крупинки вверх. В итоге частицы полезного минерала почти все оказываются в пене, покрывающей жидкость. Пену снимают и направляют в дальнейшую обработку — для получения так называемого концентрата, который в десятки раз богаче полезным минералом, нежели первоначальная руда.

Техника флотации в настоящее время разработана так тщательно, что надлежащим подбором примешиваемых жидкостей можно отделить каждый полезный минерал от пустой породы любого состава. Изготовление необходимых примесей держится зарубежными обогатительными фабриками в секрете. Однако советские химики самостоятельно нашли рецепты изготовления хороших и дешевых флотационных жидкостей, нисколько не уступающих заграничным. Поставлено в СССР и изготовление соответствующего машинного оборудования.

Несмотря на широкое применение флотации в промышленности, физическая сторона этого процесса выяснена еще не во всех подробностях. Здесь практика опережает теорию[1]. К самой идее флотации привела не теория, а внимательное наблюдение случайного факта. В конце XIX века американская учительница (Карри Эверсон), стирая загрязненные маслом мешки, в которых хранился раньше медный колчедан, обратила внимание на то, что крупинки колчедана всплывают с мыльной пеной. Это и послужило толчком к развитию способа флотации. Успешно применяется он лишь с начала XX века. Аппараты для флотации сравнительно несложны и обслуживаются небольшим числом рабочих.

### Мнимый «вечный» двигатель

В книгах иногда описывается в качестве настоящего «вечного» двигателя прибор такого устройства: масло (или вода), налитое в сосуд, поднимается фитилями сначала в верхний сосуд, а оттуда другими фитилями — еще выше; верхний сосуд имеет желоб для стока масла, которое падает на лопатки колеса,

[1] Всестороннее изучение теории флотации началось как раз в годы написания этих строк Я. П., в основном учеными из СССР и США (*примеч. ред.*).

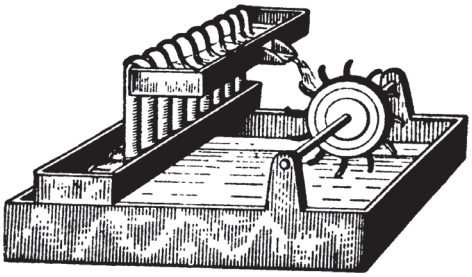


*Рис. 68. Неосуществимая вертушка.*

приводя его во вращение. Стекшее вниз масло снова поднимается по фитилям до верхнего сосуда. Таким образом, струя масла, стекающая по желобку на колесо, ни на секунду не прерывается, — и колесо вечно должно находиться в движении...

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

Это можно сообразить, впрочем, и не приступая к изготовлению вертушки. В самом деле, почему изобретатель думает, что масло должно стекать

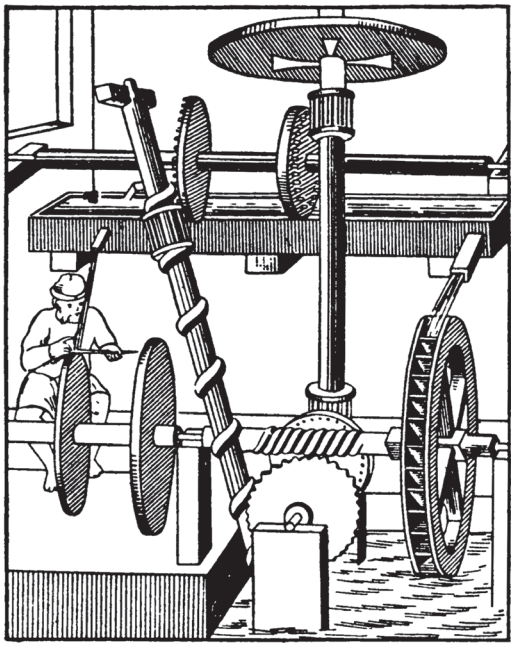


*Рис. 69. Старинный проект водяного «вечного» двигателя для точильного камня.*

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

Этот мнимый вечный двигатель напоминает другую водяную машину «вечного» движения, придуманную в 1575 г. итальянским механиком Страдою Старшим. Мы изображаем здесь этот забавный проект (рис. 69). Архимедов винт, вращаясь, поднимает воду в верхний бак, откуда она вытекает из лотка струей, ударяющей в лопатки наливного колеса (справа внизу). Водяное колесо вращает точильной станок и одновременно двигает с помощью ряда зубчатых колес тот самый архимедов винт, который поднимает воду в верхний бак. Винт вращает колесо, а колесо — винт!.. Если бы возможны были подобные механизмы, то проще всего было бы устроить так: перекинуть веревку через блок и привязать к ее концам одинаковые гири; когда один груз опускался бы, он поднимал бы тем самым другой груз, а тот, опускаясь с этой высоты, поднимал бы первый. Чем не «вечный» двигатель?

## Мыльные пузыри

Умеете ли вы выдувать мыльные пузыри? Это не так просто, как кажется. И мне казалось, что здесь никакой сноровки не нужно, пока не убедился на деле, что уменье выдувать большие и красивые пузыри — своего рода искусство, требующее упражнения.

Но стоит ли заниматься таким пустым делом, как выдувание мыльных пузырей?

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

Действительно, волшебные переливы красок на поверхности тончайших мыльных пленок дают физику возможность измерить длину световых волн, а исследование натяжения этих нежных пленок помогает изучить законы действия частичных сил[1], — тех сил сцепления, при отсутствии которых в мире не существовало бы ничего, кроме тончайшей пыли.

Те немногие опыты, которые описаны ниже, не преследуют столь серьезных задач. Это просто интересное развлечение, которое лишь познакомит нас с искусством выдувания мыльных пузырей. Английский физик Бойс в книге

[1] Т. е. законы действия сил между частицами (*примеч. ред.*).

«Мыльные пузыри» подробно описал длинный ряд разнообразных опытов с ними. Интересующихся мы и отсылаем к этой превосходной книге, здесь же опишем лишь простейшие опыты.

Их можно производить с раствором простого желтого мыла[1], но для желающих мы укажем на так называемое марсельское, а также чисто оливковое или миндальное мыло, которое наиболее пригодно для получения крупных и красивых мыльных пузырей. Кусок такого мыла разводят осторожно в чистой холодной воде, пока не получится довольно густой раствор. Всего лучше пользоваться чистой дождевой или снеговой водой, а за неимением их — кипяченой и охлажденной водой. Чтобы пузыри держались долго, Плато советует прибавлять к мыльному раствору ⅓ глицерина (по объему). С поверхности раствора удаляют ложкой пену и пузырьки, а затем погружают в него тонкую глиняную трубочку, конец которой изнутри и извне вымазан предварительно мылом. Достигают хороших результатов и с помощью соломинок, длиною сантиметров в десять, крестообразно расщепленных на конце.

Выдувают пузырь так: всосав в трубку немного раствора, осторожно дуют в нее, держа трубку отвесно. Так как пузырь наполняется при этом теплым воздухом наших легких, который легче окружающего комнатного воздуха, то выдутый пузырь тотчас же поднимается вверх.

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

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

Вот несколько занимательных опытов с пузырями.

*Мыльный пузырь вокруг цветка*. В тарелку или на поднос наливают мыльного раствора настолько, чтобы дно тарелки было покрыто слоем в 2–3 мм вышины; в середину кладут цветок или вазочку и накрывают стеклянной воронкой. Затем, медленно поднимая воронку, дуют в ее узкую трубочку, — образуется мыльный пузырь; когда же этот пузырь достигнет достаточных размеров, наклоняют воронку, как показано на рис. 70, высвобождая из-под нее пузырь. Тогда цветок окажется лежащим под прозрачным полукруглым колпаком из мыльной пленки, переливающей всеми цветами радуги.

Вместо цветка можно взять статуэтку, увенчав ее голову мыльным пузырьком (рис. 70). Для этого необходимо предварительно капнуть на голову статуэтки немного раствора, а затем, когда большой пузырь уже выдут, проткнуть его трубочкой и выдуть внутри его маленький.

[1] Туалетные сорта для этой цели менее пригодны.

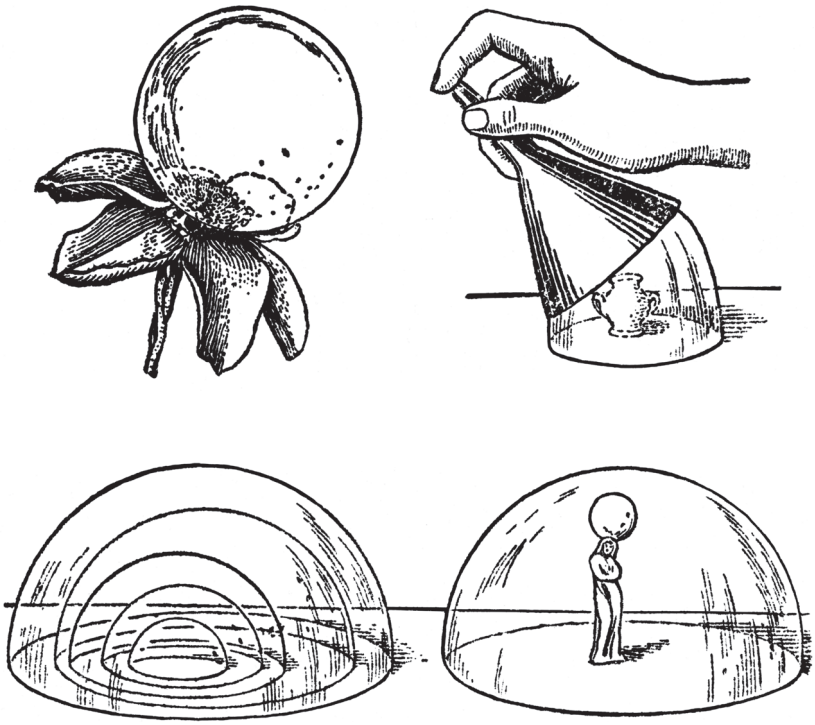


*Рис. 70. Опыты с мыльными пузырями: пузырь на цветке; пузырь вокруг вазы; ряд пузырей друг в друге; пузырь на статуэтке внутри другого пузыря.*

*Несколько пузырей друг в друге* (рис. 70). Из воронки, употребленной для описанного опыта, выдувают, как и в том случае, большой мыльный пузырь. Затем совершенно погружают соломинку в мыльный раствор так, чтобы только кончик ее, который придется взять в рот, остался сухим, и просовывают ее осторожно через стенку первого пузыря до центра; медленно вытягивая затем соломинку обратно, не доводя ее, однако, до края, выдувают второй пузырь, заключенный в первом, в нем — третий, четвертый и т. д.

*Цепь из пузырей*. Чтобы составить ее (рис. 71), нужно быстро сбрасывать в воздух, один за другим, несколько мыльных пузырей, по возможности одинаковых размеров.

*Цилиндр из мыльной пленки* (рис. 72) получается между двумя проволочными кольцами. Для этого на нижнее кольцо спускают обыкновенный шарообразный пузырь, затем сверху к пузырю прикладывают смоченное второе кольцо и, поднимая его вверх, растягивают пузырь, пока он не сделается цилиндрическим. Любопытно, что если вы поднимете верхнее кольцо на высоту бóльшую, чем длина окружности кольца, то цилиндр в одной половине сузится, в другой — расширится и затем распадется на два пузыря.

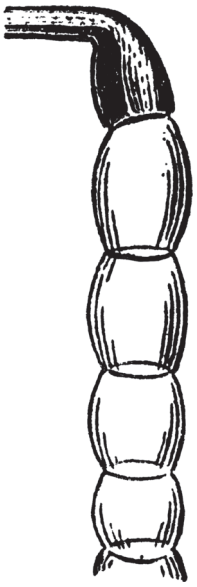


*Рис. 71. Цепь из мыльных пузырей.*

*Рис. 72. Как получить мыльную фигуру в форме цилиндра.*

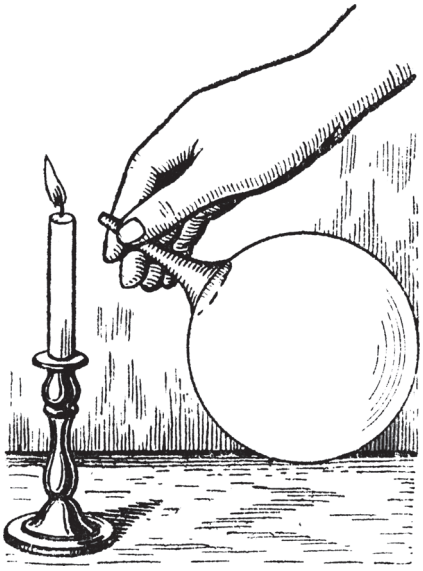


*Рис. 73. Воздух вытесняется стенками мыльного пузыря.*

Пленка мыльного пузыря все время находится в натяжении и давит на заключенный в ней воздух; направив соломинку к пламени свечи, вы можете убедиться, что сила тончайших пленок не так уж ничтожна; пламя заметно уклонится в сторону (рис. 73).

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

$$1000 \times 30 \times \tfrac{1}{273} = \text{около } 110 \text{ куб. см.}$$

Следует отметить еще, что обычные представления о недолговечности мыльных пузырей не вполне правильны: при надлежащем обращении удается сохранить мыльный пузырь в продолжение целых декад. Английский физик *Дьюар* (прославившийся своими работами по сжижению воздуха) хранил мыльные пузыри в особых бутылках, хорошо защищенных от пыли, высыхания и сотрясения воздуха; при таких условиях ему удалось сохранить некоторые пузыри месяц и более. Есть сведения, что удавалось сохранять мыльные пузыри в течение 20 лет!

### Что тоньше всего?

Немногие, вероятно, знают, что пленка мыльного пузыря представляет собой одну из самых тонких вещей, какие доступны невооруженному зрению. Обычные предметы сравнения, служащие в нашем языке для выражения тонкости, чрезвычайно грубы по сравнению с мыльной пленкой. «Тонкий как волос», «тонкий как папиросная бумага» — означают огромную толщину рядом с толщиной стенки мыльного пузыря, которая в 5000 раз тоньше волоса и папиросной бумаги. При увеличении в 200 раз человеческий волос имеет толщину около сантиметра, разрез же мыльной пленки даже в таком увеличении еще недоступен зрению. Надо увеличение еще в 200 раз, чтобы

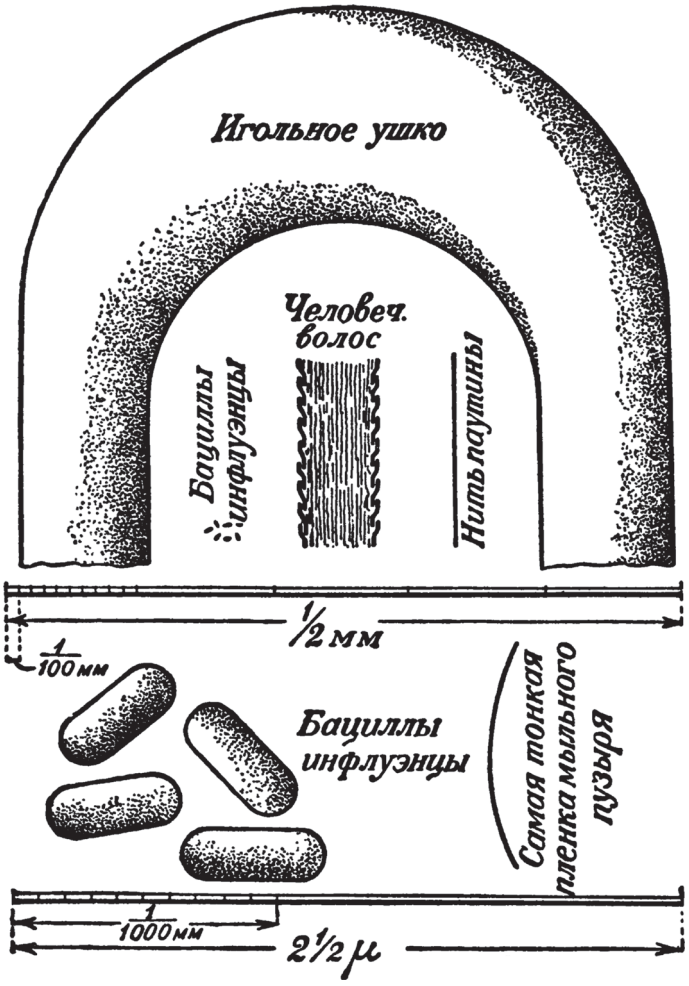



*Рис. 74. Вверху: игольное ушко, человеческий волос, бациллы и паутинная нить, увеличенные в 200 раз. Внизу: бациллы и толщина мыльной пленки, увеличенные в 40 000 раз.*

разрез стенки мыльного пузыря усматривался в виде тонкой линии; волос же при таком увеличении (в 40 000 раз!) будет иметь свыше 2 м в толщину. Рис. 74 дает наглядное представление об этих соотношениях.

### Сухим из воды

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

Эта, казалось бы, невозможная задача довольно просто решается с помощью стакана и горящей бумажки. Зажгите бумажку, положите ее горящей внутрь стакана и быстро поставьте стакан на тарелку близ монеты, дном вверх. Бумажка погаснет, стакан наполнится белым дымом, а затем под ним сама собой соберется вся вода с тарелки. Монета же, конечно, останется на месте, и через минуту, когда она обсохнет, вы сможете взять ее, не замочив пальцев.

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

Вместо бумажки можно пользоваться спичками, воткнутыми в пробочный кружок, как показано на нашем рисунке.

Весьма нередко приходится слышать и даже читать неверное объяснение этого старинного опыта[1]. А именно, говорят, что при этом «сгорает кислород», и потому количество газа под стаканом уменьшается. Такое объяснение грубо ошибочно. Главная причина только в *нагревании* воздуха, а вовсе не в поглощении части кислорода горящей бумажкой. Это следует, во-первых, из того, что можно обойтись и без горящей бумажки, а просто нагреть стакан,

*Рис. 75. Как вобрать всю воду на тарелке под стакан, опрокинутый вверх дном.*

[1] Первое его описание и правильное объяснение находим у древнего физика Филона Византийского, жившего около I века до нашей эры.

сполоснув его кипятком. Во-вторых, если вместо бумажки взять смоченную спиртом вату, которая горит дольше и сильнее нагревает воздух, то вода поднимается чуть не до половины стакана; между тем известно, что кислород составляет только ⅕ всего объема воздуха. Наконец, нужно иметь в виду, что вместо «сгоревшего» кислорода образуются углекислый газ и водяной пар; первый, правда, растворяется в воде, но пар остается, занимая отчасти место кислорода.

### Как мы пьем?

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

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

### Улучшенная воронка

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

Было бы поэтому весьма практично устраивать воронки так, чтобы суженная часть их имела продольные гребни на наружной поверхности, — гребни, мешающие воронке вплотную приставать к горлышку. Таких воронок мне в обиходе видеть не приходилось; только в лабораториях употребляются фильтры, устроенные подобным образом. Обращаю внимание наших заводов, производящих ширпотреб, и других предприятий на это маленькое усовершенствование.

### Тонна дерева и тонна железа

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

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

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

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

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

Так как тонна железа занимает объем в ⅛ куб. м, а тонна дерева — около 2 куб. м, то разность в весе вытесняемого ими воздуха должна составлять около 2½ кг[1]. Вот насколько тонна дерева в действительности тяжелее тонны железа!

### Человек, который ничего не весил

Быть легким не только как пушинка, но и стать легче воздуха[2], чтобы, избавившись от докучных оков тяжести, свободно витать высоко над землей, куда угодно, — вот мечта, которая с детства кажется многим заманчивой. При этом обыкновенно забывают об одном — что люди могут свободно двигаться на земле только потому, что они *тяжелее воздуха*. В сущности, «мы живем на дне воздушного океана», — как провозгласил Торичелли, и если бы почему-либо мы сделались вдруг в тысячу раз легче — стали бы легче воздуха, — то неизбежно должны были бы всплыть к поверхности этого воздушного океана. С нами случилось бы то же, что произошло с пушкинским гусаром: «Всю склянку выпил: верь не верь — но кверху вдруг взвился я пухом». Мы поднялись бы вверх на целые километры, пока не достигли бы области, где плотность

[1] Иными словами, чтобы железо и дерево весили в воздухе ровно 1 тонну, масса дерева должна быть на 2,5 кг больше массы железа (*примеч. ред.*).

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

разреженного воздуха равна плотности нашего тела. Мечты о свободном витании над горами и долинами рассыпались бы прахом, так как, освободившись от оков тяжести, мы сделались бы пленниками другой силы — атмосферного давления.

Писатель Уэллс избрал такое необыкновенное положение сюжетом для одного из своих научно-фантастических рассказов.

Чересчур полный человек желал во что бы то ни стало избавиться от своей полноты. А у рассказчика будто бы как раз имелся чудодейственный рецепт, который обладал способностью облегчать тучных людей от их чрезмерного веса. Толстяк выпросил у него рецепт, принял лекарство, — и вот какого рода неожиданные сюрпризы поразили рассказчика, когда, придя навестить своего знакомца, он постучал у его дверей:

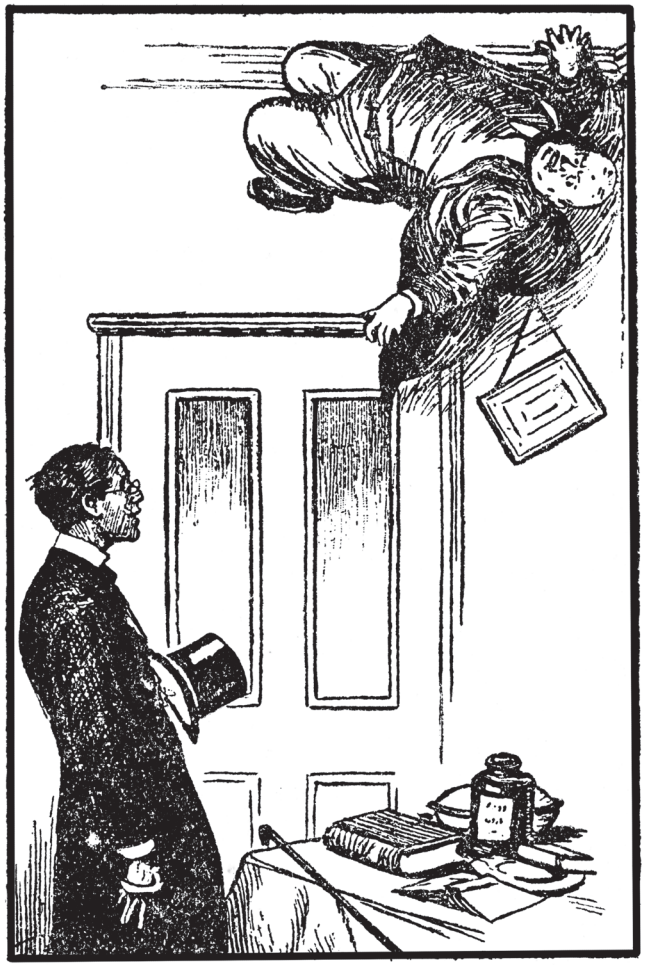


*Рис. 76. — Я здесь, старина, — сказал Пайкрафт.*

«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 желал увидеть Пайкрафта.

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

— Я здесь, старина! Закройте дверь, — сказал он. И тогда я нашел его.

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

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

— Я рад был бы этому, — заметил он.

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

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

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

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

Тут я все понял.

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

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

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

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

— О, что мне делать?! Скажите!..

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

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

— Я не могу спать, — пожаловался он.

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

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

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

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

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

Пайкрафт чуть не расплакался от радости.

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

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

В самом деле: по закону Архимеда, Пайкрафт должен был бы «всплыть» к потолку в том случае, если бы вес его платья, со всем содержимым его карманов, был меньше веса воздуха, вытесняемого тучным его телом. Чему равен вес воздуха в объеме человеческого тела, нетрудно вычислить, если вспомнить, что вес нашего тела почти равен весу такого же объема воды. Мы весим килограммов 60, вода в равном объеме — около того же, а воздух обычной плотности в 770 раз легче воды; значит, в объеме, равном объему нашего тела, воздух весит 80 г. Как ни грузен был мистер Пайкрафт, он едва ли весил больше 100 кг и, следовательно, не мог вытеснить больше 130 г. Неужели же костюм, обувь, часы, бумажник и все прочее, что было на Пайкрафте, весило не больше 130 г? Конечно, больше. А если так, то толстяк должен был оставаться на полу комнаты, правда, в довольно неустойчивом положении, но все же не всплывать к потолку «как привязанный воздушный шар». Только раздевшись донага, Пайкрафт должен был бы действительно всплыть к потолку. В одежде же он должен был бы уподобиться человеку, подвязанному к шару-прыгуну; небольшое усилие мускулов, легкий прыжок уносил бы его высоко над землей, откуда он в безветренную погоду плавно опускался бы обратно[1].

[1] Подробно о шарах-прыгунах см. гл. IV моей «Занимательной механики», с. 515.

## «Вечные часы»

В этой книге мы рассмотрели уже несколько мнимых «вечных двигателей» и выяснили безнадежность попыток их изобрести. Теперь побеседуем о сходном с ними «даровом» двигателе, т. е. о таком, который способен работать неопределенно долго без всяких забот с нашей стороны, так как черпает нужную ему энергию из неистощимых ее запасов в окружающей среде.

Все, конечно, видели барометр — ртутный или металлический. В первом барометре вершина ртутного столбика постоянно то поднимается, то опускается — в зависимости от перемен атмосферного давления; в металлическом от той же причины постоянно колеблется стрелка. В XVIII в. один изобретатель использовал эти движения барометра для завода часового механизма и таким образом построил часы, которые сами собой заводились и шли безостановочно, не требуя никакого ухода. Известный английский механик и астроном Фергюссон видел это интересное изобретение и отозвался о нем (в 1774 г.) так:

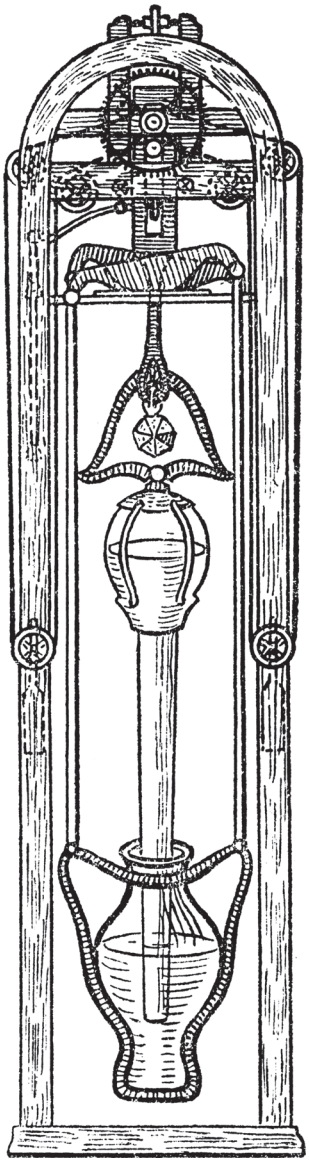


*Рис. 77. Устройство дарового двигателя XVIII века.*

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

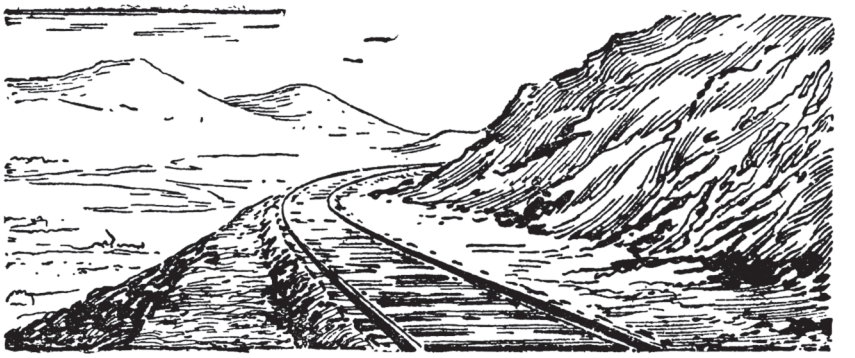
К сожалению, часы эти не сохранились до нашего времени, — они были похищены, и местонахождение их неизвестно. Остались, впрочем, чертежи их конструкции, выполненные упомянутым астрономом, так что есть возможность их восстановить.

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

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

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

Немного далее (с. 108) мы познакомимся с другими типами дарового двигателя и покажем на примере, почему промышленное использование подобных механизмов оказывается зачастую совершенно невыгодным.



*ГЛАВА ШЕСТАЯ*

# ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

**Когда Октябрьская железная дорога длиннее — летом или зимой?**

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

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

*Рис. 78. Изгибание трамвайных рельсов вследствие сильного нагревания.*

Неожиданный ответ этот не так нелеп, как может показаться. Если длиной железной дороги называть длину *сплошного* рельсового пути, то он и в самом деле должен быть летом длиннее, чем зимой. Не забудем, что от нагревания рельсы удлиняются — на каждый градус Цельсия более чем на одну 100 000-ю своей длины. В знойные летние дни температура рельса может доходить до 30–40° и выше: иногда рельс нагревается Солнцем так сильно, что обжигает руку. В зимние морозы рельсы охлаждаются до –25° и ниже. Если остановиться на разнице в 55° между летней и зимней температурой, то, умножив общую длину пути 640 км на 0,00001 и на 55, получим около ⅓ км! Выходит, что и в самом деле рельсовый путь между Москвой и Ленинградом летом на треть километра, т. е. примерно метров на триста, длиннее, нежели зимой.

Изменяется здесь, конечно, не длина дороги, а только сумма длин всех рельсов. Это не одно и то же, потому что рельсы железнодорожного пути не примыкают друг к другу вплотную: между их стыками оставляются небольшие промежутки — запас для свободного удлинения рельсов при нагревании[1]. Наше вычисление показывает, что сумма длин всех рельсов увеличивается за счет общей длины пустых промежутков; общее удлинение в летние знойные дни достигает 300 м по сравнению с величиной ее в сильный мороз. Итак, *железная* часть Октябрьской дороги действительно летом на 300 м длиннее, нежели зимой[2].

### Безнаказанное хищение

На линии Ленинград — Москва каждую зиму пропадает совершенно бесследно несколько сотен метров дорогой телефонной и телеграфной проволоки, — и никто этим не обеспокоен, хотя виновник исчезновения хорошо известен органам связи.

---

[1] Зазор этот, при длине рельсов 8 м, должен иметь при 0° размер 6 мм. Для полного закрытия такого зазора нужно повышение температуры рельса до 65°С. При укладке трамвайных рельсов нельзя, по техническим условиям, оставлять зазоров. Это обычно не вызывает искривления рельсов, так как вследствие погружения их в почву температурные колебания не так велики, да и самый способ скрепления рельсов препятствует боковому их искривлению. Однако в очень сильный зной трамвайные рельсы все же искривляются, как наглядно показывает прилагаемый рисунок 78, исполненный с фотографии.

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

[2] Стоит упомянуть, что с 1960-х годов в развитых странах при строительстве железных дорог широко используется технология бесстыкового («бархатного») пути; впрочем, в уравнительных пролетах таких рельсов все равно предусмотрены участки, компенсирующие тепловое расширение и сжатие (*примеч. ред.*).

Конечно, и вы знаете его: похититель этот — мороз. То, что мы говорили о рельсах, вполне применимо и к проводам, с той лишь разницей, что медная телефонная проволока удлиняется от теплоты в 1,5 раза больше, чем сталь. Но здесь уже нет никаких пустых промежутков, — и потому мы без всяких оговорок можем утверждать, что *телефонная линия Ленинград — Москва зимой метров на 500 короче, нежели летом*. Мороз безнаказанно каждую зиму похищает чуть не полкилометра проволоки, — не внося, впрочем, никакого расстройства в работу телефона или телеграфа и аккуратно возвращая похищенное при наступлении теплого времени.

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

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

## Высота Эйфелевой башни

Если теперь вас спросят, какова высота Эйфелевой башни, то, прежде чем ответить: «300 метров», вы, вероятно, осведомитесь:

— В какую погоду — холодную или теплую?

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

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

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

### От чайного стакана к водомерной трубке

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

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

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

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

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

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

Конечно, идеальной посудой была бы такая, которая вовсе не расширялась бы при нагревании. Чрезвычайно мало расширяется прозрачный минерал *кварц*: в 15–20 раз меньше, чем стекло. Толстый сосуд из прозрачного кварца может быть как угодно нагрет, — он не лопнет. Нагрев до красного каления, можно смело бросить кварцевый сосуд в ледяную воду, не опасаясь за его целость[1].

Не мешает помнить, что стаканы лопаются не только при быстром нагревании, но и при резком охлаждении. Причина — неравномерное *сжатие*: наружный слой, охлаждаясь, стягивается и сильно сдавливает внутренний слой,

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

еще не успевший охладиться и сжаться. Поэтому не следует, например, банку с горячим вареньем выставлять на резкий холод, погружать в холодную воду и т. п.

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

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

Словом, металлическая ложка в стакане — особенно если она массивна — сглаживает резкость нагревания стакана и тем предотвращает растрескивание стекла.

Но почему лучше, если ложка серебряная? Потому что серебро — хороший проводник тепла; серебряная ложка быстрее отнимает теплоту от воды, нежели медная. Вспомните, как серебряная ложка в стакане с горячим чаем обжигает руку![1] По этому признаку вы даже можете безошибочно определять материал ложки: медная ложка пальцев не обжигает.

Неравномерное расширение стеклянных стенок ставит под угрозу целость не только чайных стаканов, но и ответственных частей парового котла — его водомерных трубок, по которым определяется высота воды в котле. Внутренние слои этих стеклянных трубок, нагреваемые горячими паром и водою, расширяются больше наружных. К натяжению, порождаемому этой причиной, прибавляется еще сильное давление пара и воды в трубке, отчего она легко может лопнуть. Чтобы предотвратить это, изготавливают иногда водомерные трубки из двух слоев стекла разных сортов: внутренний слой имеет меньший коэфициент расширения, нежели наружный (*трубка Шотта*).

### Легенда о сапоге в бане

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

---

[1] В данном случае еще важней то, что теплоемкость серебра почти вдвое меньше теплоемкости меди, поэтому при прочих равных условиях серебро нагревается до более высоких температур (*примеч. ред.*).

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

Прежде всего, температура человеческого тела в бане почти не повышается[1]. Человеческий организм успешно борется с тепловыми влияниями окружающей среды и поддерживает собственную температуру на определенной точке.

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

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

### Как устраиваются чудеса

Древнегреческий механик Герон Александрийский — изобретатель фонтана, носящего его имя, — оставил нам описание двух остроумных способов, с помощью которых египетские жрецы обманывали народ, внушая ему веру в чудеса. На рис. 79 вы видите пустотелый металлический жертвенник, а под ним скрытый в подземелье механизм, приводящий в движение двери храма. Жертвенник стоял снаружи его. Когда разводят огонь, воздух внутри жертвенника вследствие нагревания сильнее давит на воду в сосуде, скрытом под полом; из сосуда вода вытесняется по трубе и выливается в ведро, которое, опускаясь, приводит в действие механизм, вращающий двери (рис. 80). Изумленные зрители, ничего не подозревающие о скрытой под полом установке, видят перед собой «чудо»: как только на жертвеннике запылает огонь, двери храма, «внемля молитвам жреца», растворяются словно сами собой...

Другое мнимое чудо, устраивавшееся жрецами, изображено на рис. 81. Когда на жертвеннике запылает пламя, воздух, расширяясь, выдавит масло из нижнего резервуара в трубки, скрытые внутри фигур жрецов, — и тогда масло чудесным образом само подливается в огонь... Но стоило жрецу, заведывавшему

[1] Повышение температуры тела в бане не превосходит 1°, много 2° (на полке́).

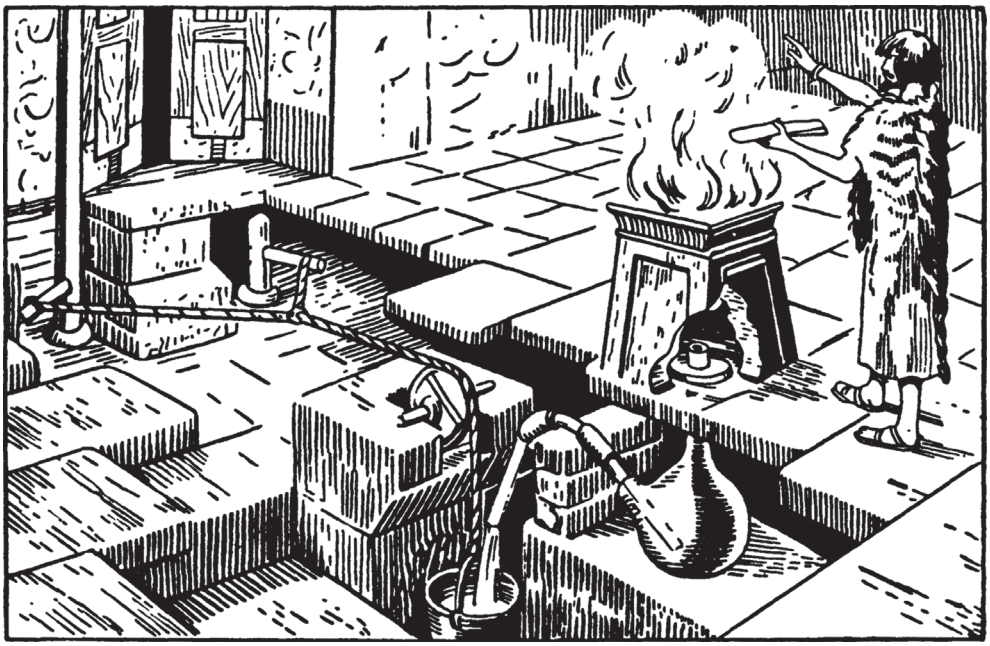


*Рис. 79. Разоблачение «чуда» египетских жрецов: двери храма открываются под действием жертвенного огня.*

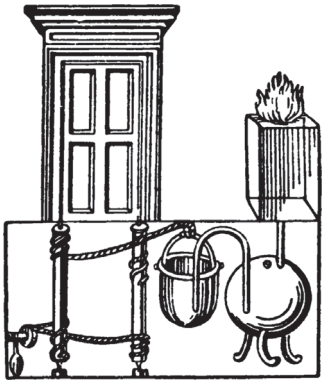


*Рис. 80. Схема устройства дверей храма, которые сами открываются, когда на жертвеннике пылает огонь (ср. рис. 79).*

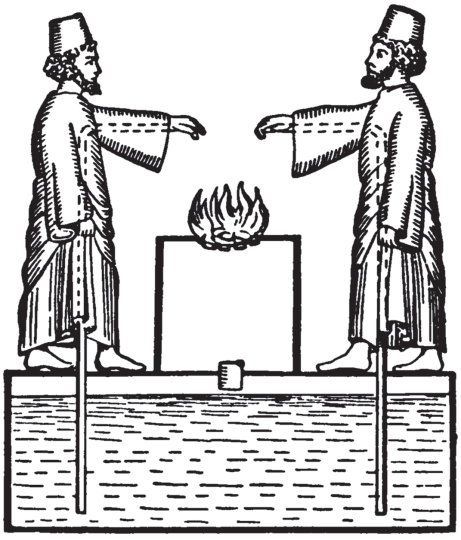


*Рис. 81. Другое мнимое чудо Древнего Египта: масло само подливается в жертвенное пламя.*

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

### Часы без завода

Мы уже описывали раньше (с. 99) часы без завода — вернее, без намеренного завода, — устройство которых основано на переменах в давлении атмосферы. Опишем теперь подобные же самозаводящиеся часы, основанные на тепловом расширении.

Механизм их изображен на рис. 82. Главная часть его — стержни $Z_1$ и $Z_2$, сделанные из особого металлического сплава с большим коэффициентом расширения. Стержень $Z_1$ упирается в зубцы колеса $X$ так, что *при удлинении* этого стержня *от нагревания* зубчатое колесо немного поворачивается. Стержень $Z_2$ зацепляет за зубцы колеса $Y$ *при укорочении от холода* и поворачивает его в том же направлении. Оба колеса насажены на вал $W_1$, при вращении которого поворачивается большое колесо с черпаками. Черпаки захватывают ртуть, налитую в нижний желоб, и переносят в верхний; отсюда ртуть течет к левому колесу, также с черпаками; наполняя последние, ртуть заставляет колесо вращаться; при этом приходит в движение цепь $KK$, охватывающая колеса $K_1$ (на общем валу $W_2$ с большим колесом) и $K_2$; последнее колесо закручивает заводную пружину часов.

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

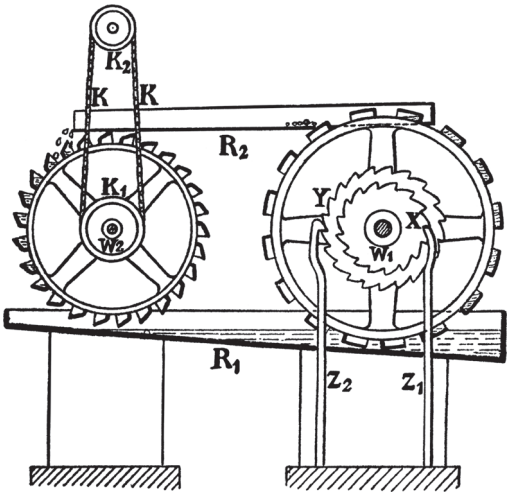



*Рис. 82. Часы, которые заводятся сами собой.*

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

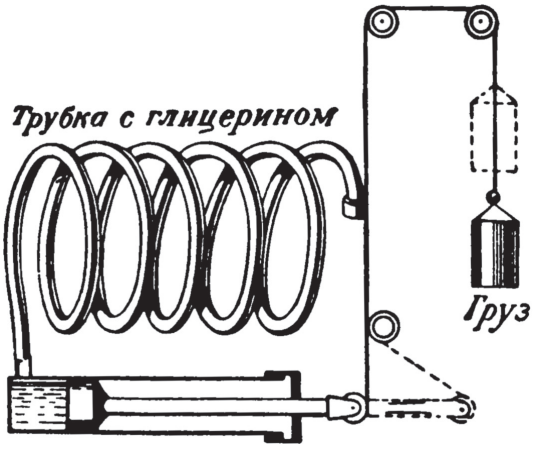



*Рис. 83. Схема устройства самозаводящихся часов другого образца.*

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

Другой образчик самозаводящихся часов сходного устройства изображен на рис. 83 и 84. Здесь главной частью является глицерин, расширяющийся при повышении температуры воздуха и поднимающий при этом некоторый грузик; падение груза и движет механизм часов. Так как глицерин затвердевает лишь при минус 30°С, а кипит при 290°С, то механизм этот пригоден для часов на городских площадях и других открытых местах. Колебания температуры на 2° уже достаточны для обеспечения хода таких часов. Один экземпляр их испытывался в течение года и показал вполне удовлетворительный ход, хотя в течение всего года к механизму не прикасалась ничья рука.

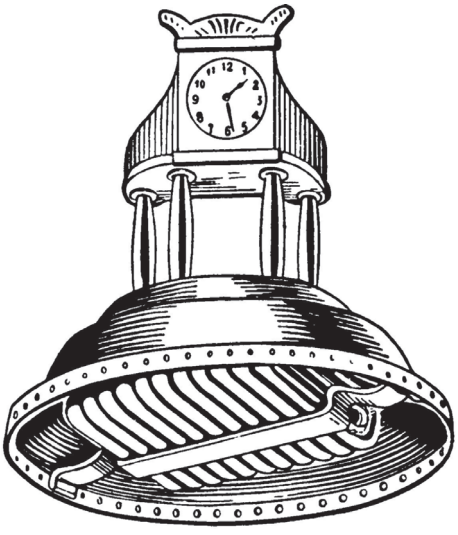


*Рис. 84. Самозаводящиеся часы; в цоколе часов скрыта трубка с глицерином.*

Выгодно ли по тому же принципу устраивать двигатели более крупные? На первый взгляд кажется, что подобный даровой двигатель должен быть очень экономичен. Вычисление дает, однако, иной результат. Для завода обыкновенных часов на целые сутки нужно энергии всего около ⅐ килограммометра. Это составляет *в секунду* круглым счетом 600 000-ю долю килограммометра; а так как лошадиная сила — 75 кгм в секунду, то мощность одного часового механизма составляет всего 45 000 000-ю долю лошадиной силы. Значит, если стоимость расширяющихся стержней первых часов или приспособления вторых оценим хотя бы в одну копейку, то капитальный расход на одну лошадиную силу подобного двигателя составит

1 коп. × 45 000 000 = 450 000 рублей.

Почти полмиллиона рублей на 1 лош. силу[1] — пожалуй, дороговато для «дарового» двигателя. Днепрогэс стоил дешевле...

### Поучительная папироса

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

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

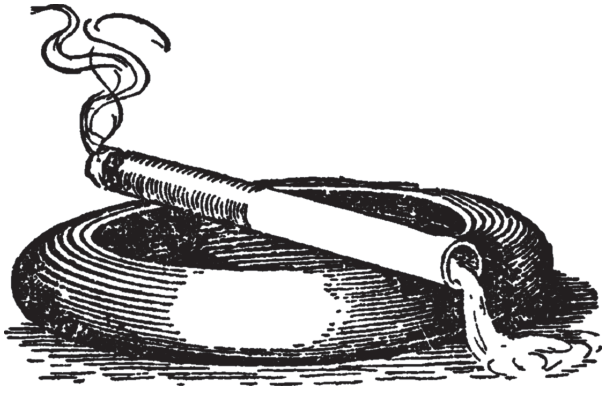


*Рис. 85. Почему дым папиросы у одного конца поднимается вверх, у другого опускается вниз?*

[1] Или — в системе СИ — около 600 000 рублей на 1 кВт (*примеч. ред.*).

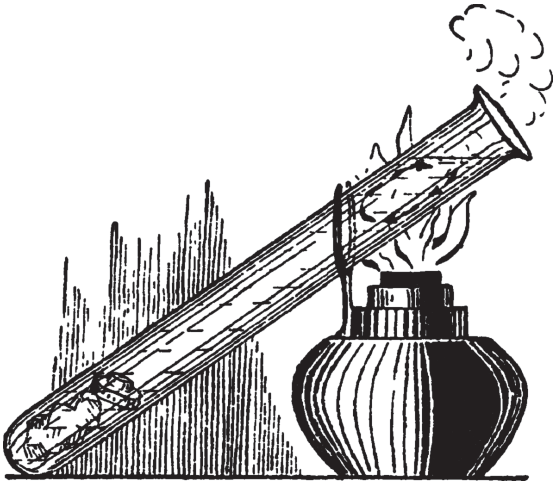


*Рис. 86. Вода в верхней части кипит, между тем как лед внизу не тает.*

### Лед, не тающий в кипятке

Возьмите пробирку, наполните водой, погрузите в нее кусочек льда, а чтобы он не всплыл вверх (лед легче воды), придавите его свинцовой пулей, медным грузиком и т. п.; при этом, однако, вода должна иметь свободный доступ ко льду. Теперь приблизьте пробирку к спиртовой лампочке так, чтобы пламя лизало лишь верхнюю часть пробирки (рис. 86). Вскоре вода начнет кипеть, выделяя клубы пара. Но странная вещь: лед на дне пробирки не тает! Мы имеем перед собой словно маленькое чудо: лед, не тающий в кипящей воде...

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

### На лед или под лед?

Желая нагреть воду, мы помещаем сосуд с водой над пламенем, а не сбоку от него. И поступаем вполне правильно, так как воздух, нагреваемый пламенем, становится более легким, вытесняется со всех сторон *кверху* и обтекает наш сосуд. Следовательно, помещая нагреваемое тело *над* пламенем, мы используем теплоту источника самым выгодным образом.

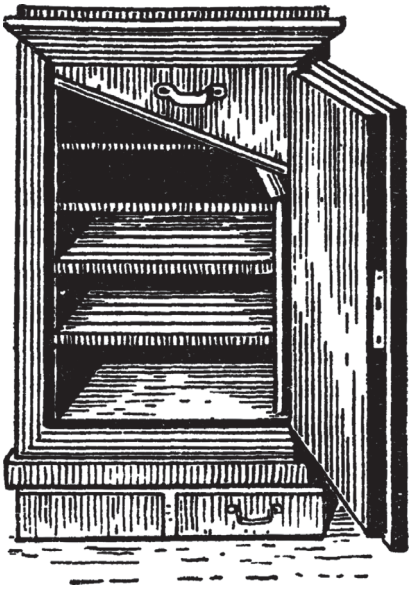


*Рис. 87. Внутренний вид комнатного ледника; выдвижной ящик для льда устроен вверху шкафа.*

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

Поясним подробнее. Если поставить сосуд с водой на лед, то охладится лишь самый нижний слой жидкости, остальная же часть будет окружена неохлажденным воздухом. Напротив, если положить кусок льда *поверх* крышки сосуда, то охлаждение его содержимого пойдет несравненно быстрее по двум причинам. Во-первых, охлажденный верхний слой жидкости сам опустится, пока не охладится вся жидкость в сосуде[1]. Во-вторых, охлажденный воздух вокруг льда также будет опускаться вниз и окружит собою сосуд[2]. Не без основания в комнатных ледниках помещают лед всегда не в нижней их части, а вверху, у крышки.

---

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

[2] Неверно поэтому замечание одного рецензента, будто сказанное относится лишь к случаю сосуда, наполненного до краев.

## Почему дует от закрытого окна?

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

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

Эти течения в комнате легко обнаружить с помощью детского воздушного шара, если подвязать к нему небольшой груз, чтобы шар не упирался в потолок, а свободно парил в воздухе. Выпущенный близ натопленной печки, такой шар путешествует по комнате, увлекаемый невидимыми воздушными течениями: от печки под потолком к окну, там опускается к полу и возвращается к печке для нового оборота по комнате.

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

## Таинственная вертушка

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

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

Пока приборчик не обнаруживает ничего таинственного. Но приблизьте к нему руку, как показано на рис. 88; приближайте осторожно, чтобы бумажка не была сметена током воздуха. Вы увидите странную вещь: бумажка начнет вращаться, сначала медленно, потом все быстрее. Отодвиньте руку — вращение прекратится. Приблизьте — опять начнется.

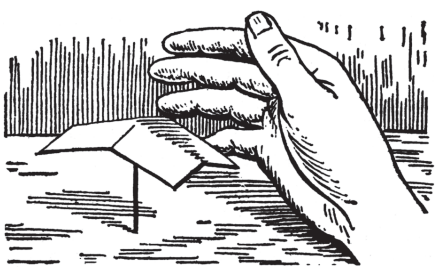


*Рис. 88. Почему бумажка вертится?*

Это загадочное вращение одно время — в семидесятых годах XIX века — давало многим повод думать, что тело наше обладает какими-то сверхъестественными свойствами. Любители мистического находили в этом опыте подтверждение своим туманным учениям об исходящей

из человеческого тела таинственной силе. Между тем причина вполне естественна и очень проста: воздух, нагретый снизу вашей рукой, поднимается вверх и, напирая на бумажку, заставляет ее вращаться, подобно всем известной спиральной «змейке» над лампой, потому что, перегибая бумажку, вы придали ее частям легкий уклон.

Внимательный наблюдатель может заметить, что описанная вертушка вращается в определенном направлении — от запястья, вдоль ладони, к пальцам. Это можно объяснить разницей температур названных частей руки: концы пальцев всегда холоднее, нежели ладонь; поэтому близ ладони образуется более сильный восходящий ток воздуха, который и ударяет в бумажку сильнее, чем ток, порождаемый теплотой пальцев[1].

## Греет ли шуба?

Что сказали бы вы, если бы вас стали уверять, будто шуба нисколько *не греет*? Вы подумали бы, конечно, что с вами шутят. А если бы вам стали доказывать это утверждение на ряде опытов? Проделайте, например, такой опыт.

Заметьте, сколько градусов показывает термометр, и закутайте его в шубу. Через несколько часов выньте. Вы убедитесь, что он не нагрелся даже и на четверть градуса: сколько показывал раньше, столько показывает и теперь. Вот и доказательство, что шуба не греет. Вы могли бы заподозрить, что шубы даже *холодят*. Возьмите два пузыря со льдом; один закутайте в шубу, другой оставьте в комнате незакрытым. Когда лед во втором пузыре растает, разверните шубу: вы увидите, что здесь он почти и не начинал таять. Значит, шуба не только не согрела льда, но как будто даже холодила его, замедляя таяние!..

Что можно здесь возразить? Как опровергнуть эти доказательства?

Никак. Шубы действительно не греют, — если под словом «греть» разуметь *сообщение теплоты*. Лампа греет, печка греет, человеческое тело греет, потому что все эти предметы являются источниками теплоты для более холодных тел. Но шуба в этом смысле слова нисколько не греет. *Она своего тепла не дает, а только мешает теплоте нашего тела уходить из него*. Вот почему теплокровное животное, тело которого само является источником тепла, будет чувствовать себя в шубе теплее, чем без нее. Но термометр не порождает собственного тепла, — и его температура не изменится от того, что мы закутаем его в шубу. Лед, обернутый в шубу, дольше сохраняет свою низкую

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

температуру, потому что шуба, как весьма плохой проводник теплоты, замедляет доступ к нему тепла извне, от комнатного воздуха.

В таком же смысле, как шуба, греет землю и снег: будучи, подобно всем порошкообразным телам, дурным проводником теплоты, он мешает теплу уходить из покрытой им почвы. В почве, защищенной слоем снега, термометр показывает нередко градусов на десять больше, чем в почве, не покрытой снегом. Это «греющее» действие снежного покрова хорошо знакомо крестьянам.

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

## Какое время года у нас под ногами?

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

Вы думаете, что и там лето? Ошибаетесь! Времена года на поверхности земли и в почве вовсе не одни и те же, как привыкли думать. Почва чрезвычайно дурно проводит теплоту. В Ленинграде водопроводные трубы на глубине 2 м не замерзают в самые суровые морозы. Колебания температуры, происходящие на поверхности земли, распространяются в глубь почвы очень медленно и достигают разных слоев ее с большим опозданием. Непосредственные измерения, например, в Слуцке[1] (Ленинградской области), показали, что на глубину трех метров самый теплый момент года приходит с опозданием в 76 дней, а самый холодный — с опозданием в 108 дней. Это значит, что если самый жаркий день *над* землей был, скажем, 25 июля, то на глубине трех метров он наступит лишь 9 октября! Если самый холодный день был 15 января, то на указанной глубине он наступит в мае! Для более глубоких слоев почвы опоздания будут еще значительнее.

С углублением в почву температурные колебания не только опаздывают, но и ослабевают, а на некоторой глубине затухают совершенно: круглый год, в течение целых столетий, неизменно царит здесь одна и та же постоянная температура, именно — средняя годовая температура данного места. В погребах Парижской обсерватории, на глубине 28 м, полтора столетия[2] хранится термометр, помещенный сюда еще Лавуазье, — и за полтораста лет он даже не дрогнул, неизменно показывая одну и ту же температуру (+11,7° по Цельсию).

Итак, в почве, которую мы попираем ногами, никогда не бывает того же времени года, какое стоит на ее поверхности. Когда над почвой зима, на глубине трех метров еще осень, — правда, не та осень, которая была раньше, на поверхности земли, а с более умеренным понижением температуры; когда же над землей лето, в глубину достигают слабые отголоски зимних морозов.

---

[1] В 1918–1944 гг. так назывался г. Павловск (*примеч. ред.*).

[2] Антуан Лавуазье установил этот термометр в 1783 г. (*примеч. ред.*).

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

### Зимнее отопление летним солнцем

Начнем с немногих интересных цифр. Ученым удалось измерить, сколько калорий[1] посылает Солнце, заливающее своими лучами какую-нибудь определенную площадку. Если взять Москву, то каждый квадратный метр ее площади получает от Солнца в три зимних месяца (ноябрь, декабрь, январь) 30 тыс. калорий, зато в весенние и летние месяцы — 500 тыс. калорий. Сколько квадратных метров занимает наша столица, столько раз по полмиллиона калорий дает ей Солнце в течение теплого периода года. Куда же девается все это огромное количество теплоты? Бóльшая часть его вновь теряется и рассеивается в те же самые сутки, когда теплота накопилась. Только очень незначительная часть прогревает почву на небольшую глубину, да и то ненадолго: едва наступят первые осенние холода, накопленная в почве теплота снова выходит и рассеивается.

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

Над этой идеей размышлял в последние годы своей жизни выдающийся московский физик проф. В. А. Михельсон[2], скончавшийся в феврале 1927 г. Мысли его вылились в строгий и стройный план использования летнего солнечного тепла для зимнего отопления московских зданий и постепенного улучшения климата нашей столицы. Проект этот, тщательно разработанный покойным ученым, был напечатан в свое время в специальном «Журнале прикладной физики».

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

---

[1] *Калория* — внесистемная единица количества теплоты; в нашей стране продолжает применяться в промышленной области. 1 калория точно равна 4,1868 Дж (*примеч. ред.*).

[2] *Михельсон Владимир Александрович* (1860–1927) — физик и метеоролог, один из основоположников отечественной актинометрии. Описанный в статье проект вполне работоспособен, но предполагает слишком глобальные изменения городской инфраструктуры (*примеч. ред.*).

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

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

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

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

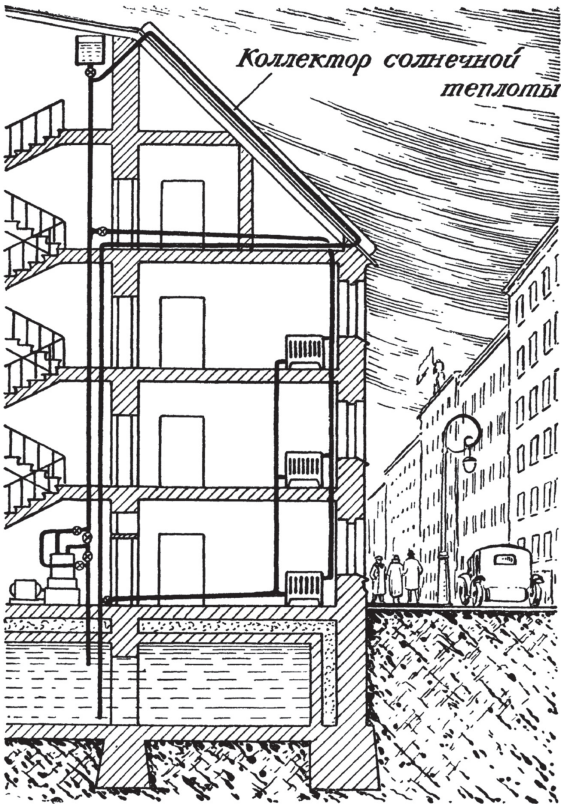



*Рис. 89. Проект зимнего отопления домов теплотой летнего солнца.*

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

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

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

На такую глубину внешние температурные колебания не проникают — это слой постоянной температуры, равной в Москве плюс 6°С. Циркулируя по проложенным в почве трубам, вода, нагревшаяся на крыше, будет отдавать почве избыток тепла, а остыв, вновь будет перекачана на крышу, чтобы, нагревшись, опять поступить под почву, и т. д. Короче, теплота, полученная летом от Солнца, будет запасаться в почвенных слоях под домом (рис. 89).

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

Конечно, необходим некоторый расход топлива (или электрической энергии), чтобы поддерживать циркуляцию — впрочем, очень медленную — воды по трубам от крыши в почву, а также для работы насоса при испарителе и сгустителе. Но расход этот весьма невелик. Расчет показывает, что в установке Михельсона топливо используется в три раза выгоднее, чем в самой совершенной из существующих систем отопления. Другими словами, проект обещает

экономию топлива в 60%. Если вспомним, что отопление жилищ составляет главную статью расхода топлива, поглощающую больше, чем вся промышленность, то значение подобной экономии станет в наших глазах еще важнее.

Конечно, для осуществления всего этого потребуются капитальные подземные работы.

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

Одни и те же трубы, наполненные водою, будут служить как для летнего прогревания почвы, так и для отопления города зимой. Летом подземная сеть труб через посредство насосов соединяется с сетью поглощательной, расположенной на крышах. Зимой подземная сеть соединяется с испарителями всех отопительных машин, которые повышают температуру до 55° и питают котлы водяного отопления. В темные месяцы (ноябрь-февраль) поглотители солнечной энергии выключаются. В ясные дни марта, когда отопление все же нужно, можно совершенно исключить подземную сеть и питать испарители отопительных машин непосредственно подогретой водой, спускающейся с крыш».

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

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

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

## Бумажная кастрюля

Взгляните на рис. 90: яйцо варится в воде, налитой в бумажный колпак! «Но ведь бумага сейчас загорится и вода зальет лампу», — скажете вы. Попробуйте же сделать опыт, взяв для него плотную пергаментную бумагу и надежно прикрепив ее к проволоке. Вы убедитесь, что бумага нисколько не пострадает от огня. Причина в том, что вода может быть нагрета в открытом сосуде только до температуры кипения, т. е. до 100°С; поэтому нагреваемая вода, обладающая к тому же большой теплоемкостью, поглощая избыток теплоты бумаги, не дает ей нагреться заметно выше 100°, т. е. настолько, чтобы она могла воспламениться. (Практичнее, пожалуй, будет пользоваться небольшой бумажной коробкой в форме, изображенной на рис. 91.) Бумага не загорается, хотя пламя и лижет ее.

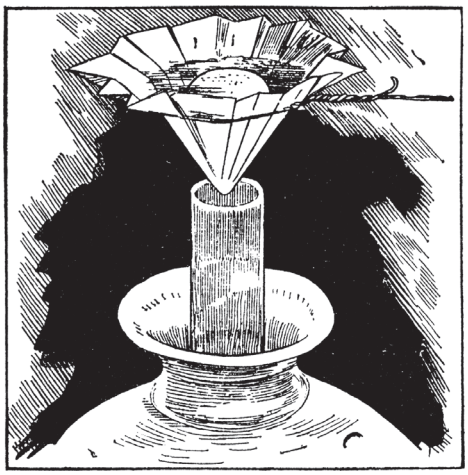


*Рис. 90. Яйцо варится в бумажной кастрюле.*

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

Вы можете, далее, расплавить, например, свинцовую пломбу в коробочке, сделанной из игральной карты. Надо только подвергать действию пламени именно то место бумаги, которое непосредственно соприкасается со свинцом:

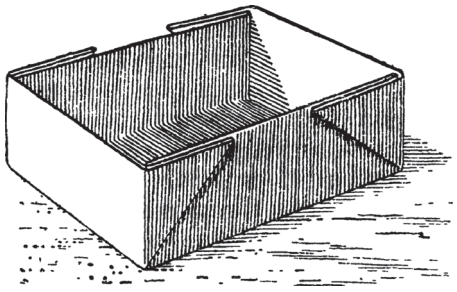


*Рис. 91. Бумажная коробка для кипячения воды.*

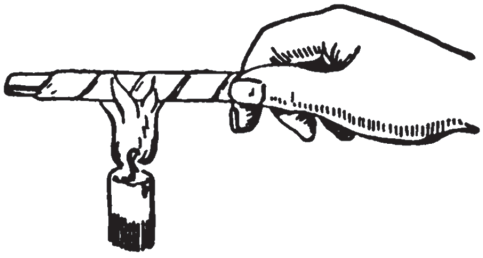


*Рис. 92. Несгораемая бумажка.*

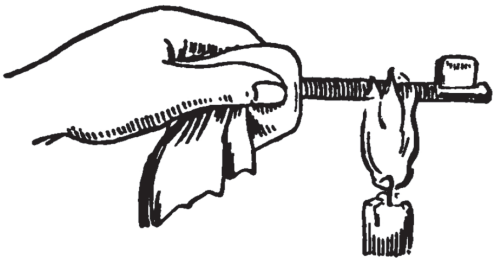


*Рис. 93. Несгораемая нитка.*

металл, как сравнительно хороший проводник тепла, быстро отнимает от бумаги тепло, не давая ей нагреться заметно выше температуры плавления, т. е. 327°С (для свинца); такая температура недостаточна для воспламенения бумаги[1].

Хорошо удается также следующий опыт: толстый гвоздь или железный (еще лучше медный) прут обмотайте *плотно* узкой бумажной полоской, наподобие винта. Затем внесите прут с бумажной полоской в пламя. Огонь будет лизать бумагу, закоптит ее, но не сожжет, пока прут не раскалится. Разгадка опыта — в хорошей *теплопроводности* металла; со стеклянной палочкой подобный опыт не удался бы. Рис. 93 изображает сходный опыт с «несгораемой» ниткой, *туго* намотанной на ключ.

### Единственное скользкое тело в природе

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

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

Разберем, что происходит, когда мы катаемся в санях или на коньках. Стоя на коньках, мы опираемся на очень маленькую площадь — всего в несколько кв. сантиметров. И на эту небольшую площадь целиком давит вес нашего тела.

---

[1] Для проведения опыта лучше взять олово (температура плавления 232°С), поскольку обычные в наши дни сорта бумаги при большей температуре обуглятся (*примеч. ред.*).

Если вспомните сказанное прежде (в главе второй) о давлении, вы поймете, что конькобежец давит на лед со значительной силой. Под бóльшим давлением лед тает при пониженной температуре; если, например, лед имеет температуру минус 5°, а давление коньков понизило точку плавления льда, попираемого коньками, более чем на 5°, то эти части льда будут таять[1]. Что же получается? Теперь между полозьями коньков и льдом находится тонкий слой воды, — неудивительно, что конькобежец скользит. И как только он переместит ноги в другое место, там произойдет то же самое. Всюду под коньками лед превращается в тонкий слой воды. Такими свойствами из всех существующих тел обладает только лед; один советский физик[2] назвал его «единственным скользким телом в природе». Прочие тела гладки, но не скользки[3].

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

Понижением точки таяния льда под значительным давлением объясняется и множество других явлений обыденной жизни. Благодаря этой особенности льда отдельные куски его смерзаются вместе, если их сильно сдавливать. Мальчик, сжимая в руках комья снега при игре в снежки, бессознательно пользуется именно этим свойством ледяных крупинок (снежинок) смерзаться под усиленным давлением, понижающим температуру их таяния. Катая снежный ком для «снежной бабы», мы опять-таки пользуемся указанной особенностью льда: снежинки в местах соприкосновения, в нижней части кома, смерзаются под тяжестью надавливающей на них массы. Вы понимаете теперь, конечно,

---

[1] Теоретически можно вычислить, что для понижения точки таяния льда на 1° требуется весьма значительное давление в 130 кг на кв. сантиметр (тонна на кв. дюйм). Производят ли сани или конькобежец такое огромное давление на лед? Если распределить вес саней (или конькобежца) на поверхность полозьев (или коньков), то получатся числа гораздо меньшие. Однако это не колеблет теоретического расчета, хорошо подтвержденного опытами, а доказывает только, что ко льду прилегает вплотную далеко не вся поверхность полоза, а лишь незначительная часть ее.

[Поскольку вода, образующаяся при плавлении, в отличие от льда находится при атмосферном давлении, для понижения точки таяния льда требуется меньшее давление, чем указано в расчете Я. П. Кроме того, не учтен сложный механизм передачи тепла стальным полозьям коньков (*примеч. ред.*).]

[2] Б. П. Вейнберг в статье «Снег, иней, град, лед и ледники» (*примеч. ред.*).

[3] Впрочем, аналогичным свойством обладают висмут, галлий, германий, сурьма и некоторые сплавы (*примеч. ред.*).

почему в сильные морозы снег образует рассыпающиеся снежки, а «баба» плохо лепится. Под давлением ног прохожих снег на тротуарах постепенно уплотняется в лед[1]: снежинки смерзаются в сплошной наст[2].

### Задача о ледяных сосульках

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

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

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

На самом деле так и есть: снег на склоне крыши тает, потому что солнечные лучи нагревают его *выше* нуля, а стекающие капли воды у края крыши замерзают, потому что здесь температура *ниже* нуля. (Конечно, мы говорим не о том случае образования сосулек, который обусловлен теплотой отапливаемого под крышей помещения.)

Представьте такую картину. Ясный день; мороз всего в 1–2 градуса. Солнце заливает все своими лучами; однако же эти косые лучи не нагревают землю настолько, чтобы снег мог таять. Но на склон крыши, обращенный к Солнцу, лучи падают *не полого, как на Землю*, а круче, *под углом, более близким к прямому*. Известно, что освещение и нагревание лучами тем больше, чем больший угол составляют лучи с плоскостью, на которую они падают. (Действие лучей пропорционально *синусу* этого угла; для случая, изображенного на рис. 94, снег на крыше получает тепла в 2½ раза больше, нежели равная площадь снега на горизонтальной поверхности, потому что синус 60° больше синуса 20° в 2,5 раза.) Вот почему скат крыши нагревается сильнее, и снег на нем может таять. Оттаявшая вода стекает и каплями свисает с края крыши. Но под крышей температура *ниже* нуля, и капля, охлаждаемая к тому же испарением, замерзает. На замерзшую каплю натекает следующая, также замерзающая; затем третья капля и т. д.; постепенно образуется маленький ледяной бугорок.

---

[1] В данном случае важнее то, что утоптанный и испачканный снег сильнее нагревается солнечными лучами, подтаивает, затем, при понижении температуры, вновь замерзает, вследствие чего на нем и образуется ледяная корка (*примеч. ред.*).

[2] В этой статье Я. П. изложил классическое объяснение скользкости льда, данное в конце XIX в. О. Рейнольдсом и Д. Тиндалем. В наши дни его можно считать опровергнутым. Новейшие исследования указывают, что скользкость льда обусловлена структурой и свойствами его поверхности, граничащей с паром или жидкостью: молекулы воды на верхнем уровне льда колеблются гораздо сильней, чем молекулы внутренних уровней, тем самым как бы образуя на поверхности льда макроскопическую водяную пленку (*примеч. ред.*).

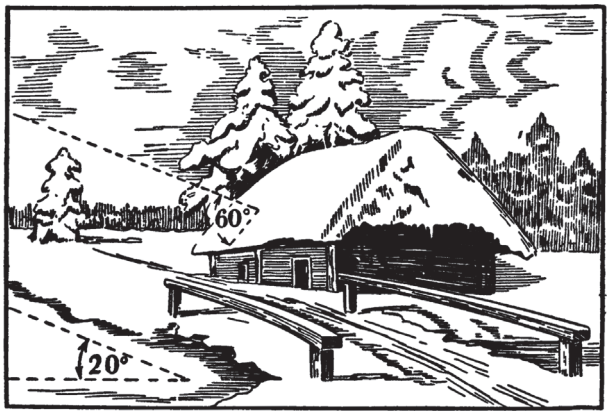



*Рис. 94. Лучи Солнца греют наклонную крышу сильнее, чем горизонтальную землю.*

В другой раз при такой же погоде эти ледяные наплывы еще удлиняются, и в результате образуются сосульки, вырастающие наподобие известковых сталактитов в подземных пещерах. Так возникают сосульки на крышах сараев и вообще неотапливаемых помещений.

Та же причина вызывает на наших глазах и более грандиозные явления: ведь различие в климатических поясах и временах года обусловлено в значительной степени[1] изменением угла падения солнечных лучей. Солнце не дальше от нас зимой, чем летом, оно одинаково удалено от полюсов и экватора (различия в расстоянии настолько ничтожны, что не могут здесь иметь значения). Но наклон солнечных лучей к поверхности Земли близ экватора больше, чем у полюсов; летом этот угол больше, чем зимой. Это вызывает заметные различия в температуре дня и, следовательно, в жизни всей природы.

Некоторые читатели прежних изданий этой книги возражали, что образование сосулек можно объяснить гораздо проще: снег, непосредственно прилегающий к крыше, подвержен давлению вышележащих слоев, и потому температура его плавления понижается; снег тает, а вытекшая вода, освободившись от давления на морозе, вновь замерзает.

Объяснение это не выдерживает, однако, количественной проверки. Чтобы снег давил на нижний свой слой с силою 130 кг на кв. см (см. примечание [1] на с. 122), необходим пласт толщиной в... десять километров! Допуская, что поверхность соприкосновения значительно меньше поверхности крыши, все же получаем совершенно неправдоподобную высоту снежного покрова.

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

*ГЛАВА СЕДЬМАЯ*

# ЛУЧИ СВЕТА

## Пойманные тени

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

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

В наши дни благодаря фотографии каждый имеет возможность получить свой портрет или запечатлеть черты дорогих ему людей. Но в XVIII веке люди не были так счастливы: портреты, заказываемые художникам, стоили больших денег и были доступны лишь немногим. Вот почему так распространены были *силуэты*; до известной степени они заменяли тогда современные фотографии. Силуэты — пойманные и закрепленные тени. Они получались механическим путем, и в этом отношении напоминают противоположную им светопись. Мы пользуемся *светом*, предки наши для той же цели пользовались его отсутствием — *тенью*.

Как зарисовывались силуэты, понятно из рис. 95. Голову поворачивали так, чтобы тень давала характерный профиль, и обводили карандашом

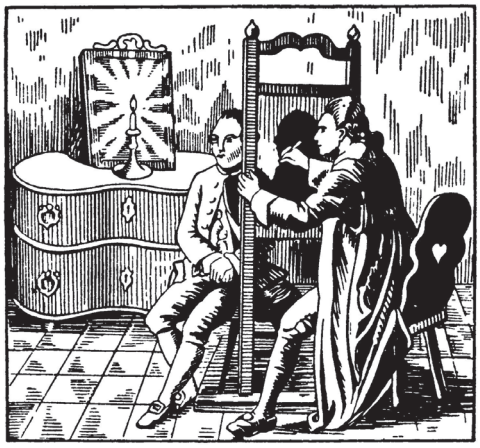


*Рис. 95. Старинный способ получения силуэтных портретов.*

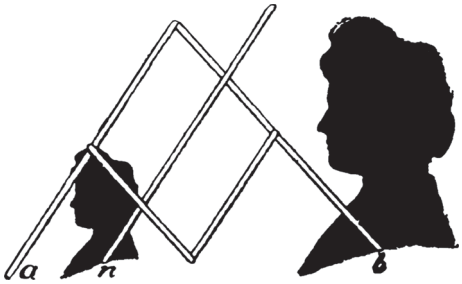



*Рис. 96. Уменьшение силуэтного портрета.*

ее очертания. Затем контур заливали тушью, вырезали и наклеивали на белую бумагу: силуэт готов. При желании уменьшали его с помощью особого прибора — пантографа (рис. 96).

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

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

Курьезно происхождение самого слова «силуэт»: оно заимствовано от фамилии французского министра финансов середины XVIII века Этьена де Силуэт, призывавшего своих расточительных современников к разумной бережливости и упрекавшего французскую знать в чрезмерных тратах на картины и портреты. Дешевизна теневых портретов подала повод шутникам называть их портретами *«à la Silhouette»* («по Силуэту»).

*Рис. 97. Силуэт Шиллера (1780 г.).*

С недавнего времени силуэтные изображения получили у нас полезное применение в практике научных исследований — именно для учета изменений формы органов животных и человека. Органы эти нельзя, из-за их мягкости и нежности, измерять обычными приемами (например, штангенциркулем). Особый прибор, построенный для этой цели советскими учеными («силуэтомер» проф. Немилова), основан на том, что вместо самих органов измеряют их теневые изображения.

## Цыпленок в яйце

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

Между зажженной лампой и экраном поставьте на проволоке овальный кусок картона, и тогда на экране появится, конечно, силуэт яйца. (Правая лампа пока не зажжена.) Теперь вы заявляете гостям, что приведете в действие «аппарат Рентгена», который обнаружит внутри яйца... цыпленка! И действительно, через мгновение гости видят, как силуэт яйца словно светлеет по краям, а в середине его довольно отчетливо вырисовывается силуэт цыпленка (рис. 98).

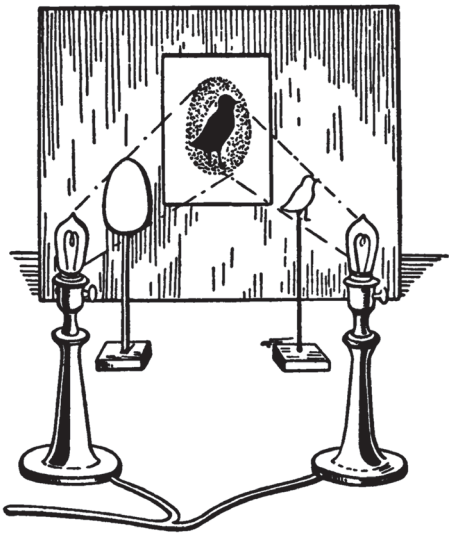


*Рис. 98. Мнимый рентгеновский снимок.*

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

## Сигнал с Луны

Кто видел поучительный фильм «Космический рейс»[1], тот, вероятно, помнит эпизод с яркой вспышкой на Луне, произведенной, чтобы сигнализировать земным астрономам о благополучном прибытии первых космических путешественников на место назначения. У многих зрителей при этом рождается сомнение, правдоподобна ли эта деталь: мыслимо ли в земные телескопы уловить световой сигнал, посланный с Луны? Не потребуется ли для этого чересчур невероятная, совершенно недостижимая яркость?

[1] Научно-фантастический фильм о покорении космоса, созданный в 1935 г. на киностудии «Мосфильм» при участии Константина Эдуардовича Циолковского (*примеч. ред.*).

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

## Карикатурные фотографии

Многие не знают, что фотографический аппарат можно устроить и без увеличительного стекла (объектива), пользуясь просто маленьким круглым отверстием. Изображения получаются при этом менее яркие. Любопытное видоизменение такой камеры без объектива представляет «щелевая» камера,

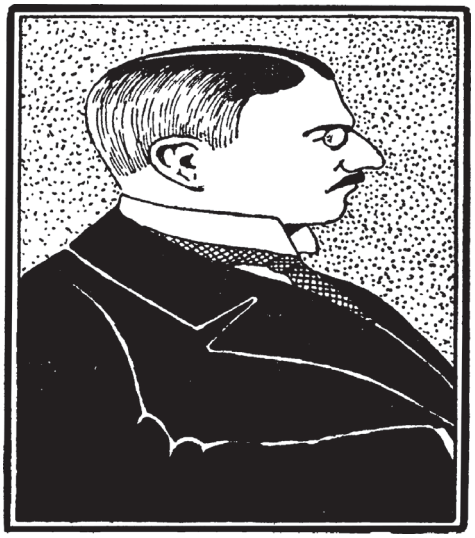


*Рис. 99. Фотография-карикатура, полученная с помощью щелевой камеры. Изображение растянуто горизонтально.*

*Рис. 100. Карикатурная фотография, вытянутая вертикально (получена щелевой камерой).*

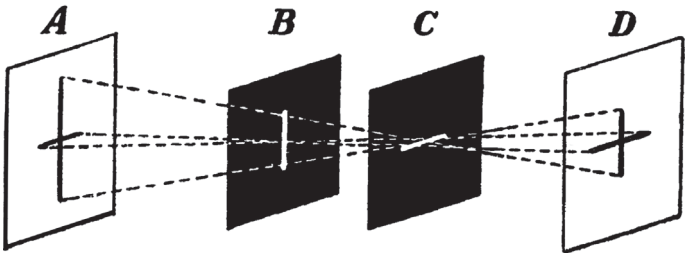



*Рис. 101. Почему щелевая камера дает искаженные изображения.*

в которой вместо дырочки имеются две пересекающиеся щели. В передней части камеры помещаются две дощечки; в одной сделана вертикальная щель, в другой — горизонтальная. Если обе дощечки прилегают друг к другу вплотную, изображение получается такое же, как и у камеры с дырочкой, т. е. неискаженное. Совсем иное наблюдается, если дощечки отстоят одна от другой (их нарочно делают подвижными); тогда изображение курьезным образом искажается (рис. 99 и 100). Получается скорее карикатура, нежели фотография.

Чем же объясняется такое искажение?

Рассмотрим случай, когда горизонтальная щель находится впереди вертикальной (рис. 101). Через первую щель *C* лучи от вертикальной линии фигуры *D* (креста) пройдут как через простое отверстие; задняя же щель нисколько не изменит хода этих лучей. Следовательно, изображение вертикальной линии получится на матовом стекле *A* в том масштабе, который отвечает расстоянию стекла *A* от щели *C*.

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

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

Наоборот, при обратном расположении щелей должны получиться изображения, вытянутые в горизонтальном направлении (ср. рис. 99, 100).

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

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

### Задача о солнечном восходе

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

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

Для многих, вероятно, будет полной неожиданностью, что такой ответ совершенно неверен. Ведь Солнце «восходит» оттого, что наш земной шар повертывает в уже *освещенное пространство* новые точки своей поверхности. Поэтому при мгновенном распространении света вы заметили бы восход Солнца *в тот же самый момент*, что и при последовательном его распространении, т. е. ровно в 5 часов[1].

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

### Скорость света

Свет распространяется со скоростью 300 000 км в секунду; это известно каждому, кто знаком с начатками физики. Но мало кто подозревает, какие изумительные, почти чудесные следствия можно вывести из столь простого

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

факта. Знаменитый французский астроном К. Фламмарион в своей повести «По волнам бесконечности» изложил эти любопытные следствия в форме беседы между неким ученым *Кверенсом* и воображаемым «духом» его учителя *Люмена*, умершего в 1864 году; дух будто бы рассказывает ученику о своих странствованиях во Вселенной.

Эту беседу мы и приводим далее в сжатом извлечении[1].

## ПО ВОЛНАМ БЕСКОНЕЧНОСТИ

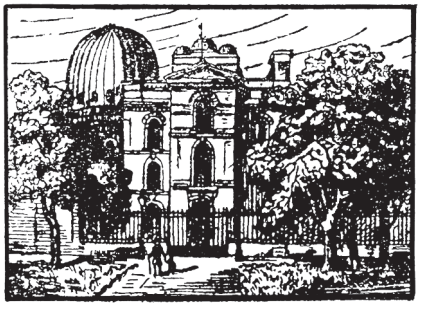
К. Фламмариона

### I. Очевидец прошлого

*Люмен*. — Не могу объяснить, какая сила заставила меня мчаться с непостижимой быстротой в небесном пространстве. Вскоре я заметил, что приближаюсь к великолепному Солнцу, сияющему чистым, белым светом. Солнце это было окружено множеством планет, из которых каждая охвачена одним или несколькими кольцами. Под влиянием той же таинственной силы я очутился на одном из этих колец.

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

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



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

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

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

Прежде всего я определил положение Земли. Данные эти помогли мне узнать звезду, в системе которой я находился. Этой звездой могла быть единственно лишь Альфа в созвездии Возничего, называемая также Капеллой. Я был на одной из планет, принадлежащих к системе этой звезды. Я мог вспомнить расстояние, отделяющее эту звезду от Земли; зная расстояние, нетрудно вычислить, в какое время пробежит его свет: луч, исходящий из Капеллы, достигнет Земли не ранее чем через 71 год 8 месяцев и 24 дня. Понятно, что и луч, исходящий от Земли, употребит такое же время, чтобы достигнуть Капеллы.

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

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

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

## II. Десятилетия протекают в один час

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

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

*Кверенс*. — Как! Самого себя?

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

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

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

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

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

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

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

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

## III. Обратный ход мировой истории

Спустя несколько времени я захотел опять взглянуть на Землю и, после внимательного исследования, увидел полуостров, который в виде треугольника сероватого цвета врезался в Черное море. На западном берегу его я различил войска, состоящие из земных моих братьев и умерщвляющие друг друга с яростным ожесточением.

Я стал размышлять о варварском обычае войны и с грустью подумал, что в этом уголке Крыма пало 800 000 человек... Затем облака закрыли от меня Европу.

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

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

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

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

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

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

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

Еще позже я увидел, что владычество над природою переходит к какой-то крупной породе обезьян, к медведям, львам, гиенам, носорогам. Наконец пришло время, когда я не только не мог рассмотреть ни одного человека на поверхности этого небесного тела, но даже не встретил нигде и следа того, что там существовал когда-то

человеческий род. Планета походила на огромный шар расплавленного металла, окруженный металлическими же парáми. Солнце, которое прежде освещало его, теперь уже не превосходило его блеском и само стало увеличиваться в объеме, так что для меня сделалось ясно, что планета должна будет кончить свое существование, слившись с солнечной атмосферой.

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

«Так вот он, конец мира!».

«Это не конец, — возразил мне какой-то внутренний голос, — а начало Земли. Ты видел перед собою всю историю Земли, постоянно удаляясь от этой планеты с быстротой, превосходящей скорость света»...

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

## IV. Сражение навыворот

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

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

## V. Вверх по реке времен

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

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

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

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

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

## Так ли?

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

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

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

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

Рассмотрим каждое утверждение особо.

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

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

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

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

Замените ядра световыми волнами, а себя — Люменом: вы легко поймете, что Люмен должен был бы при подобных условиях видеть Землю не там, где она находится, а как раз в противоположной точке. Земные явления предстали бы

пред ним не только в *обратной последовательности*, но и видны были бы совсем не там, где Люмен ожидал их увидеть[1].

## По океану Вселенной

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

«Когда мы наблюдаем, — говорит один английский физик[2], — как плотина размывается во время шторма, нам легко верится, что морские волны производят давление на берег, о который они ударяются. Но трудно поверить, что микроскопические световые волны также давят на всякий предмет, на который они падают; что зажженная лампа, например, посылает волны, производящие давление на самый источник света и на всякую поверхность, которую они освещают. А между тем нам теперь достоверно известно, что свет производит подобного рода давление».

Спешу прибавить, что давление это крайне ничтожно; лучи Солнца давят на земную поверхность с силою около *полумиллиграмма* на каждый квадратный метр или полкило на квадратный километр[3]. Вся обращенная к Солнцу сторона земного шара испытывает от солнечных лучей давление в 60 тысяч тонн. Цифра эта кажется, конечно, колоссальной, но она много потеряет в ваших глазах, если я скажу вам, что она меньше той силы, с которой Земля притягивается Солнцем, в 60 *миллионов миллионов* раз! В сущности, это давление представляет ведь «только» вес тысячи паровозов.

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

Отсюда вытекает любопытное следствие. Так как отталкивающая сила лучей Солнца с уменьшением поперечника освещаемого тела убывает медленнее, нежели притягательная, то ясно, что при некоторой достаточно малой величине тела обе силы должны сравняться. Вычислено, что микроскопически маленькая водяная капелька (или частица другого вещества плотности воды)

---

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

[2] Проф. Пойнтинг в книге «Давление света».

[3] См. примечание на с. 36 (*примеч. ред.*).

диаметром менее тысячной доли миллиметра, находясь на расстоянии Земли, испытывает со стороны Солнца давление, равное его притяжению. Другими словами, такая капелька как бы не притягивается Солнцем. Для еще более мелких капель сила светового давления должна уже *превышать силу* солнечного притяжения, т. е. такая капля *будет отталкиваться лучами Солнца*. Перевес светового давления над притяжением дает, правда, в данном случае ничтожную силу, — но ведь и масса этой капельки неизмеримо мала.

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

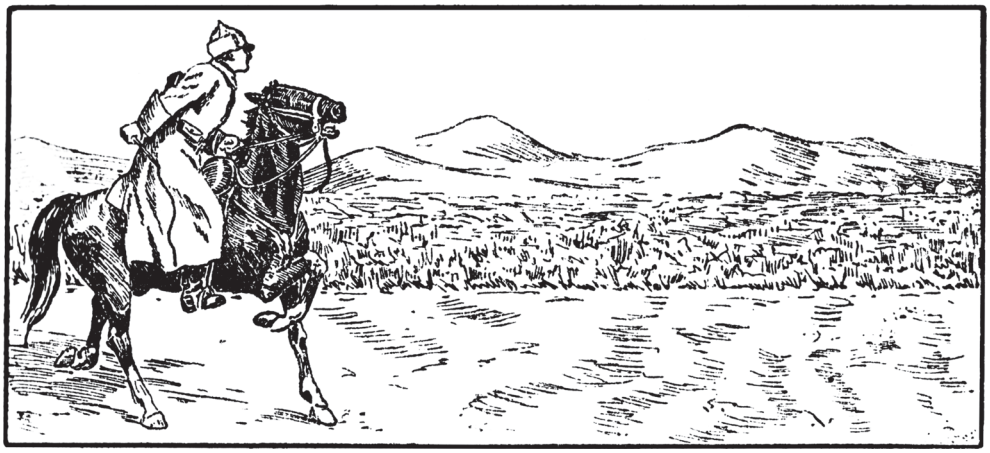
Теперь не покажется странным, что мельчайшие бактерии и особенно их споры (зародыши) могли бы, достигнув верхних границ атмосферы, покидать нашу планету и уноситься в беспредельное мировое пространство с огромной, притом все возрастающей скоростью в тысячи километров в секунду. Шведский ученый Сванте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

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

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

Технически это совершенно неосуществимо, и мысль (нередко высказываемая романистами) странствовать по океану Вселенной, пользуясь давлением световых лучей, — является несбыточной мечтой[1].

[1] Разбор этой идеи имеется в моей книге «Межпланетные путешествия».



*ГЛАВА ВОСЬМАЯ*

# ОТРАЖЕНИЕ И ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА

## Видеть сквозь стены

Не знаю, имеется ли теперь в продаже любопытный прибор в виде трубки, который в 1890-х годах продавался под громким названием «рентгеновский аппарат». Помню, как я был озадачен, когда еще школьником впервые взял в руки эту остроумную выдумку: трубка давала возможность видеть буквально сквозь непрозрачные предметы! Я различал окружающее не только через толстую бумагу, но и через лезвие ножа, непроницаемое даже для подлинных рентгеновских лучей. Нехитрый секрет устройства этой игрушки сразу станет

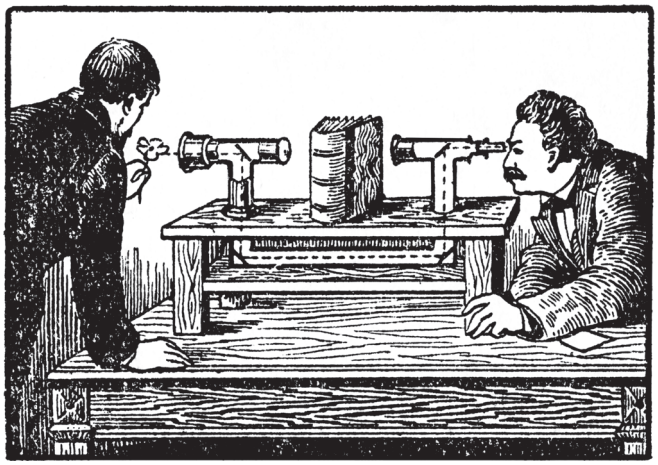


*Рис. 102. Мнимый рентгеновский аппарат.*

вам ясен, если вы взглянете на рис. 102, изображающий старинный прообраз описываемой трубки. Четыре зеркальца, наклоненные под углом в 45°, отражают лучи несколько раз, ведя их, так сказать, в обход непрозрачного предмета.

В Павильоне занимательной науки, устроенном по моему проекту на Елагином острове в Ленинграде, воскрешен этот старинный экспонат: посетители с изумлением смотрели на окружающую зелень сквозь собственную ладонь, далеко не всегда догадываясь самостоятельно, в чем тут дело.

В военном деле широко пользуются подобными же приборами. Сидя в траншее, можно следить за неприятелем, не поднимая головы над землей и, следовательно, не подставляя себя под огонь неприятеля, если смотреть в прибор, который называется «перископом» (рис. 103).

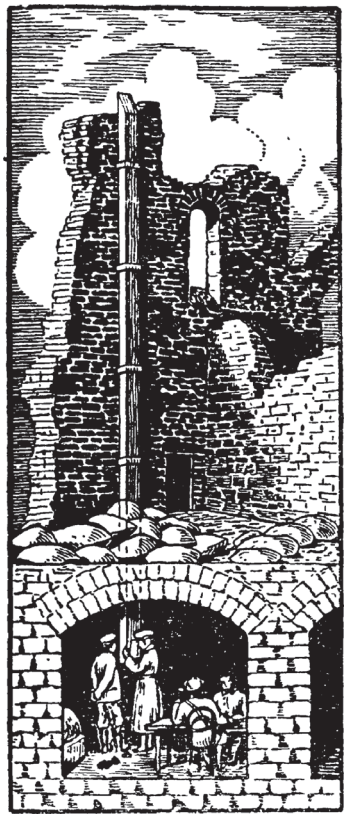


*Рис. 103. Перископ, употреблявшийся немцами в войну 1914–1918 гг.*

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

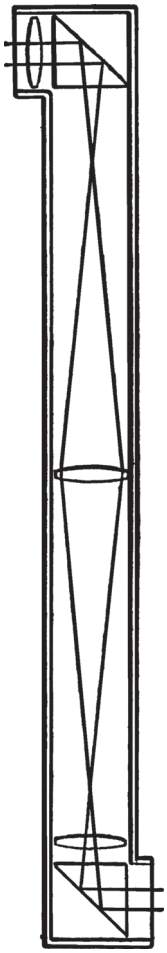


*Рис. 104. Схема перископа подводной лодки.*

Капитан подводной лодки наблюдает за атакуемым судном также посредством перископа — длинной трубки, конец которой выступает над водой. Эти перископы гораздо сложнее, чем сухопутные, но сущность та же: лучи отражаются от зеркала (или призмы), укрепленного в выступающей части перископа, идут вдоль трубы, вновь отражаются в нижней ее части и отсюда попадают в глаз наблюдателя (рис.104).

## Говорящая отрубленная голова

«Чудо» это нередко показывалось в странствовавших по провинции «музеях» и «паноптикумах». В 1935 году сходный трюк могли видеть на сцене посетители Ленинградского театра «Мюзик-Холл». Непосвященного он положительно ошеломляет: вы видите перед собой небольшой столик с тарелкой, а на тарелке лежит... живая человеческая голова, которая двигает глазами, говорит, ест! Под столиком спрятать туловище как будто негде. Хотя подойти вплотную к столу нельзя, — вас отделяет от него барьер, — все же вы ясно видите, что под столом ничего нет.

Когда вам придется быть свидетелем такого «чуда», попробуйте закинуть в пустое место под столиком скомканную бумажку. Загадка сразу разъяснится: бумажка отскочит от... зеркала! Если она и не долетит до стола, то все же обнаружит существование зеркала, т. к. в нем появится ее отражение.

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

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

Иногда фокус обставлялся еще эффектнее. Фокусник показывает сначала пустой столик: ни под ним, ни над ним ничего нет. Затем приносится

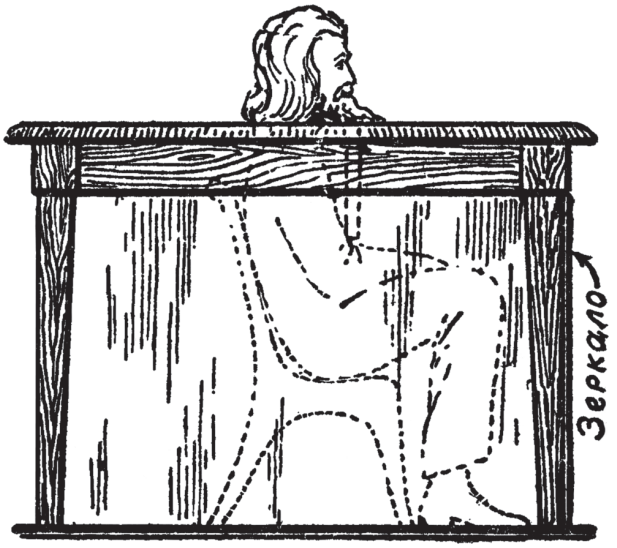



*Рис. 105. Секрет «отрубленной» головы.*

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

### Впереди или сзади?

Есть немало вещей домашнего обихода, с которыми многие люди обращаются нецелесообразно. Мы уже указывали раньше, что иные не умеют пользоваться льдом для охлаждения — ставят охлаждаемые напитки *на* лед, вместо того чтобы помещать их *под* лед. Оказывается, что и обыкновенным зеркалом не все умеют пользоваться. Сплошь и рядом, желая хорошо разглядеть себя в зеркале, ставят лампу *позади* себя, чтобы «осветить свое отражение», вместо того чтобы осветить самих себя!

Девяносто девять женщин из ста поступают таким образом. Наша читательница, без сомнения, будет та сотая, которая догадается поместить лампу *впереди* себя.

### Можно ли видеть зеркало?

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

Те, кто убежден, что зеркало можно видеть, — ошибаются. Хорошее чистое зеркало невидимо. Можно видеть раму зеркала, его края, предметы, в нем отражающиеся, — но самого зеркала, если только оно не загрязнено, видеть нельзя. Всякая *отражающая* поверхность — в отличие от поверхности *рассеивающей* — сама по себе невидима. (*Рассеивающей* называется такая поверхность, которая разбрасывает лучи света по всевозможным направлениям. В общежитии мы называем отражающие поверхности полированными, а рассеивающие — матовыми[1].)

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

---

[1] Строго говоря, любая поверхность может быть и рассеивающей, и матовой — это зависит от целого ряда факторов, в первую очередь от величины угла падения света (*примеч. ред.*).

## Животные у зеркала

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

«Зеркало было прибито в открытом вольере к стене, на уровне пола. Утром два гамадрила хотели выйти в наружную клетку, но, увидев в ней новый предмет, испугались и убежали. Долго они выглядывали, не решаясь выйти. Привлекаемые блеском нового предмета и ободренные его неподвижностью, они наконец медленно вышли в вольер, отвертываясь и держась на почтительном расстоянии от зеркала. Повернувшись, чтобы еще раз взглянуть на этот загадочный предмет, они неожиданно увидели свои изображения, но, приняв их за новых товарищей, радостно закричали и побежали сообщить новость другим гамадрилам.

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

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

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

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

## Кого мы видим, глядя в зеркало?

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

Не угодно ли, однако, убедиться в этом сходстве? У вас на правой щеке родинка — у вашего двойника правая щека чиста, но на левой щеке есть пятнышко, которого у вас на этой щеке не имеется. Вы зачесываете волосы *направо*, ваш двойник зачесывает их *налево*. У вас правая бровь выше и гуще левой; у него, напротив, эта бровь ниже и реже, нежели левая. Вы носите часы в правом кармане жилета, а записную книжку — в левом кармане пиджака; ваш зеркальный двойник имеет иные привычки: его записная книжка хранится в правом кармане пиджака, часы — в левом жилетном. Обратите внимание на циферблат его часов. У вас таких часов никогда не бывало: расположение и начертание цифр на нем необычайное; например, цифра восемь изображена так, как ее нигде не изображают — IIX, и помещена на месте двенадцати; двенадцати же нет совсем; после шести следует пять и т. д.; кроме того, движение стрелок на часах вашего двойника обратно обычному.

Наконец, у вашего зеркального двойника есть физический недостаток, от которого вы, надо думать, свободны: он левша[1]. Он пишет, шьет, ест левой рукой, и если вы выразите готовность с ним поздороваться, он протянет вам левую руку.

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

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

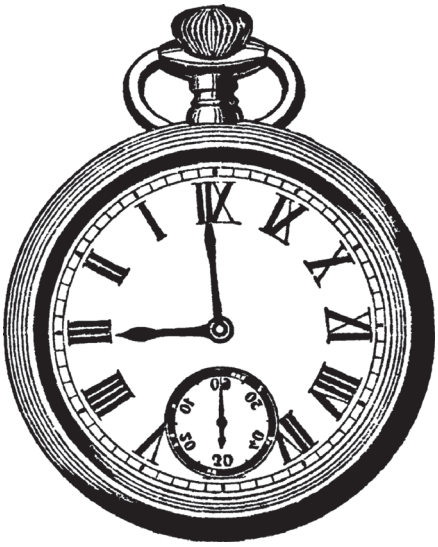


*Рис. 106. Такие часы имеет при себе двойник, которого вы видите в зеркале.*

Шутки в сторону: если вы думаете, что, глядя в зеркало, видите самих себя, — вы заблуждаетесь. Лицо, туловище

[1] Леворукость повсеместно считалась физическим недостатком приблизительно до 1970–1980-х гг. (*примеч. ред.*).

и одежда у большинства людей не строго симметричны (хотя мы этого обычно не замечаем): правая половина не вполне сходна с левой. В зеркале все особенности правой половины переходят к левой и — наоборот, так что перед нами является фигура, производящая зачастую совсем иное впечатление, чем наша собственная.

### Рисование перед зеркалом

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

Поставьте перед собою отвесно на стол зеркало, положите перед ним бумажку и попробуйте нарисовать на ней какую-нибудь фигуру, например прямоугольник с диагоналями. Но не смотрите при этом прямо на свою руку, а следите лишь за движениями руки, отраженной в зеркале.

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

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

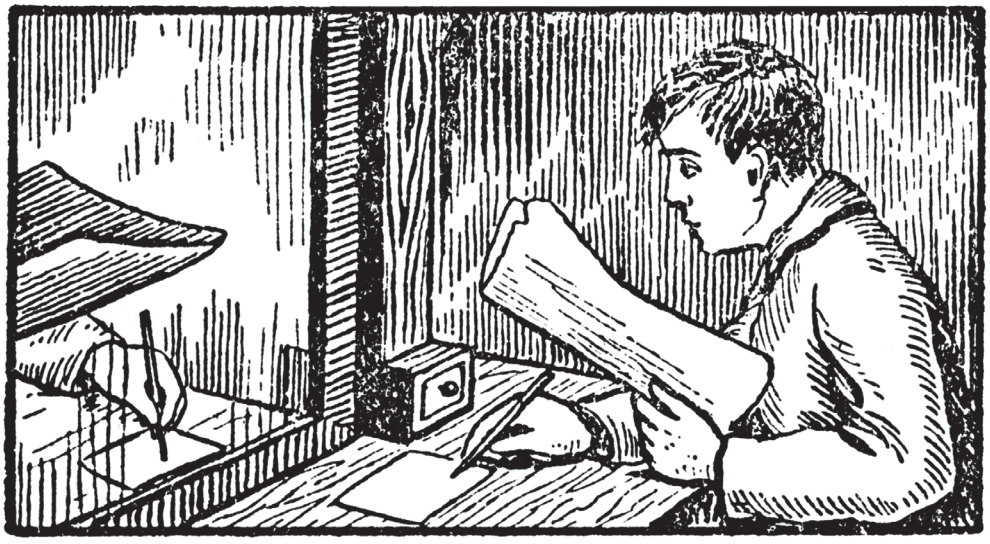


*Рис. 107. Рисование перед зеркалом.*

Те отпечатки, которые получаются на пропускной бумаге[1], — тоже изображения симметричные. Рассмотрите надписи, испещряющие вашу пропускную бумагу, и попробуйте прочесть их. Вам не разобрать ни одного слова, даже вполне отчетливого: буквы имеют необычный наклон вправо, а главное — последовательность штрихов в них не та, к какой вы привыкли. Но приставьте к бумаге зеркало под прямым углом, — и увидите в нем все буквы написанными так, как вы привыкли их видеть. Зеркало дает симметричное отражение того, что само является симметричным изображением обыкновенного письма.

### Расчетливая поспешность

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

Проследим за его путем. Пусть буква *A* на рис. 108 обозначает источник света, линия *MN* — зеркало, а линия *ABC* — путь луча от свечи до глаза *C*. Прямая *KB* перпендикулярна к *MN*.

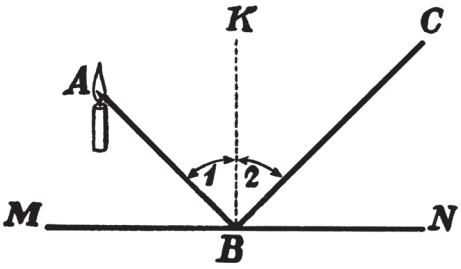



*Рис. 108. Угол отражения 2 равен углу падения 1.*

По законам оптики угол отражения 2 равен углу падения 1. Зная это, легко доказать, что из всех возможных путей от *A* к *C*, с попутным достижением зеркала *MN*, путь *ABC* — самый скорый. Для этого сравним путь луча *ABC* с каким-нибудь другим, например с *ADC* (рис. 109). Опустим перпендикуляр *AE* из точки *A* на *MN* и продолжим его далее до пересечения с продолжением луча *BC* в точке *F*. Соединим также точки *F* и *D*. Убедимся прежде всего в равенстве треугольников *ABE* и *EBF*. Они прямоугольные, и у них общий катет *EB*; кроме того, углы *EFB* и *EAB*

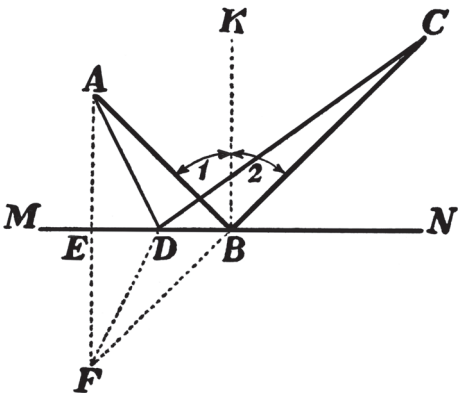



*Рис. 109. Свет, отражаясь, избирает кратчайший путь.*

[1] Т. е. на промокательной, на «промокашке» (*примеч. ред.*).

равны между собой, так как соответственно равны углам 2 и 1 (линии *KB* и *AF* параллельны). Отсюда вытекает равенство прямоугольных треугольников *AED* и *EDF* по острому углу и катету и, следовательно, равенство *AD* и *DF*.

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

Где бы ни находилась точка *D*, — путь *ABC* всегда будет короче пути *ADC*, если только угол отражения равен углу падения. Значит, свет действительно избирает самый короткий и самый скорый путь из всех возможных между источником, зеркалом и глазом[1].

## Полет вороны

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

На ветке дерева сидит ворона. Внизу на дворе рассыпаны зерна. Ворона спускается с ветки, схватывает зерно и садится на забор. Спрашивается, где должна она схватить зерно, чтобы путь ее был кратчайшим (рис. 110)?

Задача эта совершенно сходна с той, которую мы только что рассмотрели. Нетрудно поэтому дать правильный ответ: ворона должна подражать лучу света, т. е. лететь так, чтобы угол 1 был равен углу 2 (рис. 111).

Мы уже видели, что в таком случае путь оказывается кратчайшим.

*Рис. 110. Задача о вороне. Найти кратчайший путь до забора.*

*Рис. 111. Решение задачи о вороне.*

[1] На это обстоятельство впервые указал еще Герон Александрийский, замечательный греческий механик и математик II века.

## Новое и старое о калейдоскопе

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

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

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

Но в широкой публике калейдоскоп не вызывает уже того живого интереса, с каким встречен он был лет сто назад[1], когда был еще новинкой. Его воспевали в прозе и стихах.

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

«Прочитав объявление о калейдоскопе, достаю сие чудесное орудие —

Смотрю — и что ж в моих глазах?
В фигурах разных и звездах
Сапфиры, яхонты, топазы,
И изумруды, и алмазы,
И аметисты, и жемчу́г,
И перламутр — все вижу вдруг!
Лишь сделаю рукой движенье —
И новое в глазах явленье!

[1] Текст (в данной редакции) написан в 1918 г. (*примеч. ред.*).

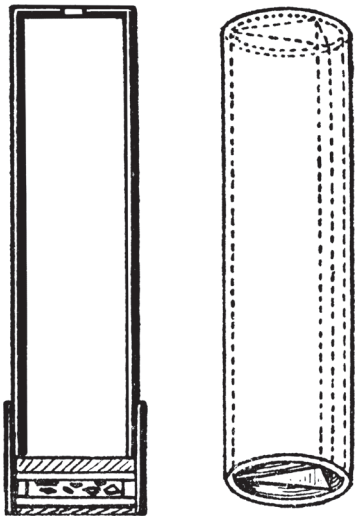


*Рис. 112.*

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

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

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

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

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

### Дворцы иллюзий и миражей

Какие ощущения испытали бы мы, если бы, уменьшенные до размеров стеклянного осколка, очутились внутри калейдоскопа? Существует способ выполнить такой опыт на деле. Эту чудесную возможность имели в 1900 г. посетители всемирной Парижской выставки, где большим успехом пользовался так называемый «Дворец иллюзий» — нечто вроде калейдоскопа, но только неподвижного. Вообразите шестиугольный зал, каждая стена которого представляет собой огромное зеркало идеальной полировки. В углах зеркального зала устроены архитектурные украшения в виде колонн

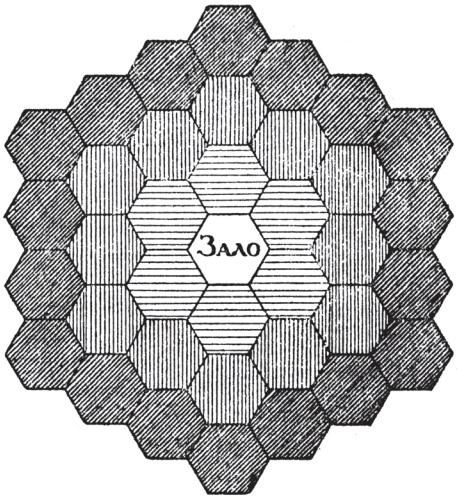



*Рис. 113. Троекратное отражение стен центрального зала дает 36 зал.*

и карнизов, сливающихся с лепкой потолка. Зритель внутри такого зала видел себя словно затерянным в невообразимой толпе похожих на него людей в бесконечной анфиладе зал и колонн; они окружали его со всех сторон и простирались вдаль, насколько видел глаз.

Залы, заштрихованные на рис. 113 слева направо, получаются вследствие однократного отражения; в результате двукратного отражения получатся изображения, заштрихованные перпендикулярно первым, т. е. еще 12 зал. Троекратное отражение присоединяет к ним еще 18 зал (косая штриховка); залы множатся с каждым отражением, и общее число их зависит от совершенства полировки и от параллельности зеркал, занимающих противоположные грани призматического зала. Практически различались еще залы, получавшиеся в результате 12-го отражения, т. е. видимый горизонт обнимал 468 зал.

Причина «чуда» ясна всякому, кто знаком с законами отражения света: ведь тут имеются три пары параллельных зеркал и десять пар зеркал, поставленных под углом, — неудивительно, что они дают такое множество отражений.

Еще любопытнее те оптические эффекты, которые были достигнуты на Парижской выставке в так называемом «Дворце миражей». Устроители этого «дворца» присоединили к бесчисленным

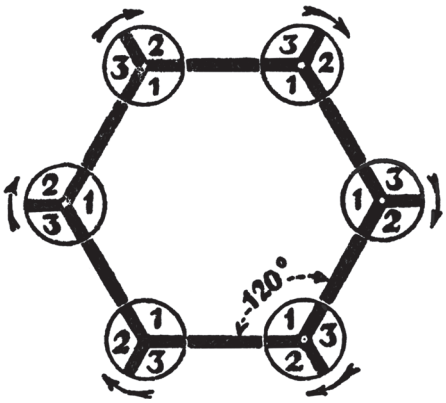



*Рис. 114.*

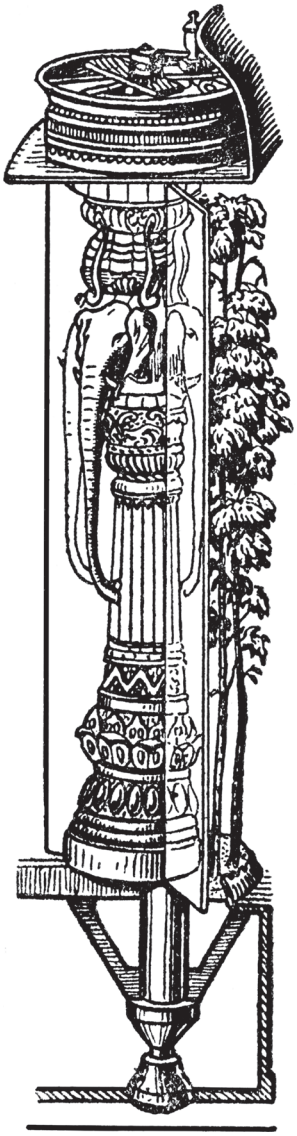


*Рис. 115. Секрет «Дворца миражей».*

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

Перемена обстановки в этом «Дворце миражей» достигалась следующим образом: зеркальные стены на некотором расстоянии от ребер разрезаны вдоль, и полученный угол может вращаться вокруг оси, заменяясь другим. Из рис. 114 видно, что можно произвести три замены, соответствующие углам 1, 2 и 3. Теперь представьте себе, что все углы, обозначенные цифрой 1, заключают в себе обстановку тропического леса, все углы 2 — обстановку арабского зала, а углы 3 — индийского храма. Одним движением скрытого механизма, поворачивающего углы, тропический лес превращается в храм или в арабский зал. Весь секрет волшебства основан на таком простом физическом явлении, как отражение световых лучей.

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

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

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

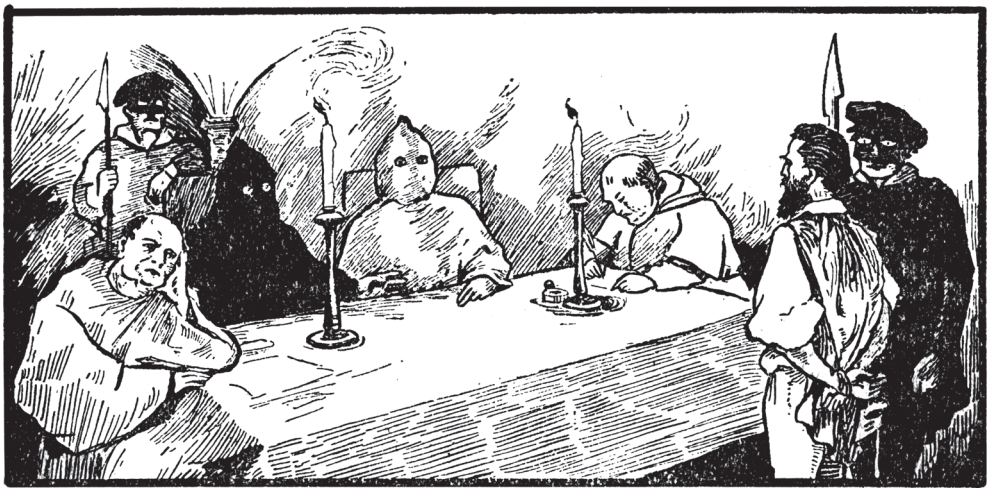


*Рис. 116. «За столом сидел инквизитор»...*

## Пытка зеркалами

Рассказ

(Перевод с английского)

### I

За столом сидел инквизитор. Он сказал:

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

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

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

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

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

## II

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Но не так действовала инквизиция! На следующее утро зеркала снова появились, с той разницей, что раньше они были совершенно гладки, теперь же их заменили искривленными. Каждый, когда-либо смотревший в кривое зеркало, знает, что это значит. Мои отражения, бывшие просто бесчисленными, теперь сделались

безобразными. Чудовищные губы, уродливые глаза усмехались мне со стен, и ужасные, несоразмерные существа неожиданно изменялись при каждом моем движении. Дьявольское жилище не могло быть хуже моей камеры. Мне хотелось броситься на пол, но я знал, что там встретит меня какая-нибудь страшная карикатура на меня...

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

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

На следующее утро я с жаром ждал появления руки. Когда она просунулась в люк, я подпрыгнул и схватился за нее. Раздался дикий крик; человеческое тело рухнуло из отверстия на пол.

Не медля ни минуты, я сорвал с убитого или оглушенного тюремщика плащ и маску и надел их на себя. Потом посадил моего пленника и, став на его плечо, как на подножку, подпрыгнул к люку, который вел в комнату наверху.

Я добрался до трапа и благополучно вылез из камеры.

Что почувствует мой пленник, когда он очнется, окруженный адскими зеркалами? Думая об этом, я пожалел, что ко мне не попал сам великий инквизитор.

## Почему и как преломляется свет

То, что при переходе из одной среды в другую луч света изламывает свой путь, многим представляется странным капризом природы. Кажется непонятным, почему свет не сохраняет в новой среде первоначального своего направления, а избирает ломаный путь. Кто так думает, тот, вероятно, с удовлетворением узнает, что луч света претерпевает в сущности то же самое, что происходит и с марширующей колонной бойцов, пересекающей границу между почвой, удобной для ходьбы, и почвой неудобной. Вот что говорит об этом Джон Гершель, знаменитый астроном и физик прошлого века.

«Представьте себе отряд солдат, идущий по местности, разделенной прямой границей на две полосы, из которых одна гладкая, ровная и удобная для ходьбы, другая — кочковатая, затруднительная, так что ходьба по ней не может совершаться столь быстро. Предположим сверх того, что фронт отряда составляет угол с пограничной линией между двумя полосами, так что солдаты достигают этой границы не все одновременно, а последовательно один за другим. Тогда каждый солдат, переступив границу, очутится на почве, по которой он не может более подвигаться так быстро, как до того времени. Он не сможет уже держаться на одной линии с остальной частью шеренги, еще находящейся на лучшей почве, и будет от нее отставать с каждой секундой все больше. Так как каждый солдат, достигая границы, испытывает

одинаковое затруднение в ходьбе, то, если солдаты не нарушат строя, не рассеются, а будут продолжать маршировать правильной колонной, вся та часть колонны, которая переступила границу, будет неизбежно отставать от остальной и составит с ней поэтому тупой угол в точке пересечения границы. И так как необходимость ходить в ногу, не перебивая дороги друг другу, заставит каждого солдата шагать прямо перед собой, под прямым углом к новому фронту, то путь, который он пройдет по переходе границы, будет, во-первых, перпендикулярен к новому фронту, а во-вторых, так относиться к тому пути, какой был бы пройден в случае отсутствия замедления, как новая скорость к прежней».

В малом виде вы можете воспроизвести это наглядное подобие преломления света у себя на столе. Накройте половину стола скатертью (рис. 117) и, слегка наклонив стол, заставьте скатываться по нему пару колесиков, наглухо посаженных на общую ось (например, от сломанного детского паровоза или другой игрушки). Если направление движения колес встречает край скатерти под прямым углом, преломления пути не происходит. Вы имеете в этом случае иллюстрацию оптического правила: луч, перпендикулярный к плоскости раздела сред, не преломляется. При направлении, наклонном к краю скатерти, путь колес изламывается на этом краю, т. е. на границе между средами с различной скоростью движения в них. Легко заметить, что при переходе из части стола, где скорость движения больше (непокрытая часть), в ту часть, где скорость меньше (скатерть), направление пути («луч») приближается к «перпендикуляру падения». В обратном случае наблюдается удаление от этого перпендикуляра.

Из этого можно, между прочим, почерпнуть важное указание, вскрывающее сущность рассматриваемого явления, а именно, что преломление обусловлено различием скорости света в обеих средах. Чем больше различие в скорости, тем значительнее преломление; так называемый показатель преломления, характеризующий величину излома лучей, есть не что иное, как отношение этих скоростей. Когда вы читаете, что показатель преломления при переходе из воздуха в воду есть ⅓, то вы вместе с тем узнаете, что свет движется в воздухе примерно в 1,3 раза скорее, чем в воде.

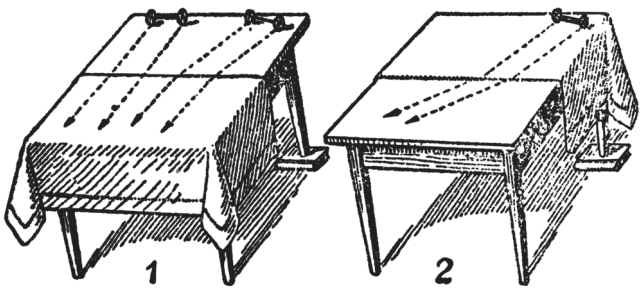



*Рис. 117. Опыт, поясняющий преломление света.*

А в связи с этим находится и другая поучительная особенность распространения света. Если в случае отражения световой луч следует *кратчайшим* путем, то в случае преломления он избирает *скорейший* путь: никакое другое направление не приводит луч так скоро к «месту назначения», как этот изломанный путь.

### Когда длинный путь быстрее короткого?

Но неужели ломаный путь может быстрее привести к цели, чем прямой? Да, в тех случаях, когда скорость движения в различных частях пути различна. Вспомните, что приходится делать жителям деревни, расположенной между двумя железнодорожными станциями в соседстве одной из них. Чтобы попасть скорее на дальнюю станцию, они едут на лошади сначала в *обратном* направлении, к ближайшей станции, там садятся в поезд и едут на место назначения. Им *короче* было бы, разумеется, *прямо* ехать туда на лошади, — но они предпочитают более длинный путь на лошади и в вагоне, потому что он приводит к цели *скорее*. Здесь длинный путь *быстрее* короткого.

Уделим минуту внимания еще одному примеру. Кавалерист должен прибыть с донесением из точки *A* к палатке командира в точке *C* (рис. 118). Его отделяют от палатки полоса глубокого песка и полоса луга, разграниченные между собою прямой линией *EF*. По песчаной почве лошадь движется *вдвое медленнее*, чем по лугу. Какой же путь должен выбрать кавалерист, чтобы достигнуть палатки в кратчайшее время?

На первый взгляд кажется, что самый скорый путь — прямая линия, проведенная от *A* до *C*. Но это совершенно ошибочно, и я не думаю, чтобы нашелся кавалерист, который выбрал бы такой путь. Медленное движение по песку наведет его на правильную мысль сократить эту медленную часть пути, прорезав песчаную полосу по менее косой линии; конечно, тем самым удлинится вторая часть пути — по лугу; но так как по лугу можно двигаться вдвое быстрее, то удлинение пути не перевесит полученной выгоды, и в общем итоге путь будет проделан в меньший промежуток времени. Другими словами,

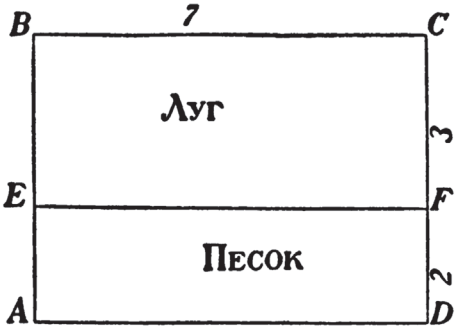



*Рис. 118. Задача о кавалеристе. Найти скорейший путь из A в C.*

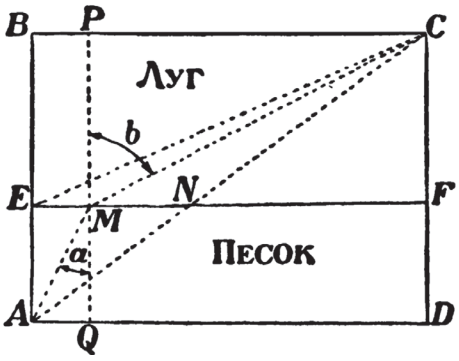



*Рис. 119. Решение задачи о кавалеристе. Скорейший путь AMC.*

путь кавалериста должен *преломиться* на границе обоих родов почвы и притом так, чтобы путь по лугу составлял с перпендикуляром к границе больший угол, чем путь по песчаной почве.

Кто знаком с геометрией, именно с теоремой Пифагора, тот может проверить, что прямой путь *AC* действительно не является путем скорейшим и что при тех размерах для ширины полос и расстояний, которые мы здесь имеем в виду, можно скорее достичь цели, если направиться, например, по ломаной *AEC* (рис. 119).

На рис. 118 указано, что ширина песчаной полосы 2 км, луговой — 3 км, а расстояние *BC* — 7 км. Тогда вся длина *AC* (рис. 119) равна, по теореме Пифагора, $\sqrt{5^2+7^2}=\sqrt{74}$ = 8,60 км. Часть *AN* — путь по песку — этого отрезка составляет, как легко сообразить, ⅖ этой величины, т. е. 3,44 км. Так как по песку движение происходит вдвое медленнее, чем по лугу, то 3,44 км песчаного пути равнозначны, в смысле требуемого времени, 6,88 км по лугу. И, следовательно, весь смешанный путь по прямой *AC*, равный 8,60 км, соответствует 12,04 км пути по лугу.

Теперь сделаем такое же «приведение к лугу» и для ломаного пути *AEC*. Часть *AE* = 2 км и соответствует 4 км пути по лугу. Часть $EC=\sqrt{3^2+7^2}=\sqrt{58}=$ = 7,61 км. Итого, весь ломаный путь *AEC* отвечает 4 + 7,61 = 11,61 км.

Итак, «короткий» прямой путь соответствует 12,04 км движения по лугу, а «длинный» ломаный — всего только 11,61 км по той же почве. «Длинный» путь, как видите, дает выгоду в 12,04 – 11,61 = 0,43, почти в полкилометра! Но мы не указали еще *самого* быстрого пути. Быстрейший путь, как учит теория, будет тот, при котором — нам придется здесь обратиться к услугам тригонометрии — синус угла *b* так относится к синусу угла *a*, как скорость на лугу относится к скорости на песке, т. е. как 2 : 1. Другими словами, нужно выбрать направление так, чтобы sin *b* был вдвое больше sin *a*. Для этого нужно перешагнуть границу между полосами в такой точке *M*, которая находится в одном километре от *E*. Действительно, тогда

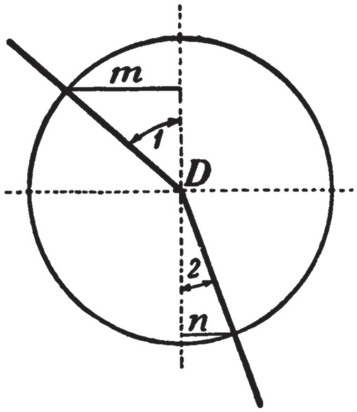



*Рис. 120. Что такое «синус»? Отношение m к радиусу есть синус угла 1; отношение n к радиусу — синус угла 2.*

$$\sin b = \frac{6}{\sqrt{3^2+6^2}}, \text{ а } \sin a = \frac{1}{\sqrt{1^2+2^2}},$$

отношение

$$\frac{\sin b}{\sin a} = \frac{6}{\sqrt{45}} : \frac{1}{\sqrt{5}} = \frac{6}{3\sqrt{5}} : \frac{1}{\sqrt{5}} = 2,$$

т. е. как раз отношению скоростей.

А какова будет в таком случае «приведенная к лугу» длина пути? Вычислим $AM = \sqrt{5} =$ = 2,23, — что отвечает 4,47 км пути по лугу. $MC = \sqrt{45} = 6{,}71$ км. Длина всего пути 4,47 + 6,71 = 11,18, т. е. на 860 м *короче* прямолинейного пути, который, как мы уже знаем, соответствует 12,04 км.

Вы видите, какие выгоды доставляет при данных условиях изламывание пути. Световой луч как раз и избирает такой скорейший путь, потому что закон преломления света строго удовлетворяет требованию математического решения задачи: синус угла преломления относится к синусу угла падения как скорость света в новой среде к скорости его в покидаемой среде; с другой стороны, это отношение равно показателю преломления света в указанных средах.

Объединяя в одно правило особенности и отражения и преломления, мы можем сказать, что световой луч *во всех* случаях следует по *быстрейшему* пути, т. е. подчиняется правилу, которое физики называют «принципом скорейшего прихода»[1].

Если среда неоднородна и преломляющая ее способность меняется постепенно, как, например, в нашей атмосфере, — то и в таком случае вполне осуществляется быстрейший приход. Этим объясняется то небольшое искривление лучей небесных светил в атмосфере, которое на языке астрономов называется «атмосферной рефракцией». В атмосфере, постепенно уплотняющейся книзу, луч света изгибается так, что вогнутость его обращена к Земле. Тогда луч остается дольше в высоких слоях, которые слабее замедляют его путь, и проводит меньше времени в «медленных» низких слоях; в итоге он приходит к цели быстрее, чем по пути строго прямолинейному.

Принцип быстрейшего прихода — или, как его еще называют, принцип Ферма, — справедлив не для одних лишь световых явлений: ему в полной мере

[1] А также «принципом минимального времени распространения», «принципом кратчайшего оптического пути» или просто «принципом Ферма́»; был сформулирован Пьером Ферма в 1662 г. в качестве самого общего закона геометрической оптики (*примеч. ред.*).

подчиняется также распространение *звука* и всех вообще *волновых* движений, какова бы ни была природа этих волн.

Читатель, без сомнения, желал бы узнать, чем объясняется это странное свойство волнообразных движений, свойство, которое, к слову сказать, в новейших физических теориях[1] играет чрезвычайно важную роль. Приведу поэтому относящиеся сюда соображения, высказанные недавно[2] замечательным современным физиком Шредингером. Он исходит из знакомого уже нам примера марширующих солдат и имеет в виду случай движения светового луча в среде с постепенно изменяющейся плотностью:

«Пусть, — пишет он, — для того, чтобы сохранить строгую правильность фронта, солдаты соединены длинным шестом, который каждый из них крепко удерживает в руках. Команда гласит: всем бежать возможно быстрее! Если характер почвы медленно меняется от точки к точке, то сначала, скажем, правое, а позднее левое крыло фронта будет подвигаться быстрее — и поворот фронта осуществится сам собой. Мы заметим при этом, что пройденный путь — не прямолинейный, а искривленный. То, что путь этот строго совпадает с кратчайшим в смысле времени прибытия в данный пункт при заданных свойствах почвы, — довольно понятно, так как ведь каждый солдат старался подвигаться как можно быстрее».

## Новые Робинзоны

Без сомнения, вы знаете, как герои романа Жюля Верна «Таинственный остров», заброшенные на необитаемую землю, добыли огонь без спичек и огнива. Робинзону явилась на помощь молния, зажегшая дерево, — новым же робинзонам Жюля Верна помогла не случайность, а находчивость сведущего инженера и твердое знание им законов физики. Помните, как удивился наивный моряк Пенкроф, когда, возвратившись с охоты, нашел инженера и журналиста перед пылающим костром.

«— Но кто же зажег огонь? — спросил моряк.

— Солнце, — ответил Спилетт.

Журналист не шутил. Действительно, Солнце доставило огонь, которым так восторгался моряк. Он не верил своим глазам и был до того изумлен, что даже не мог расспрашивать инженера.

— Значит, у вас было зажигательное стекло? — спросил инженера Герберт.

---

[1] Я. П. имеет в виду квантовую теорию и теорию относительности (*примеч. ред.*).

[2] В докладе, прочитанном в Стокгольме при получении так называемой Нобелевской премии (в 1933 г.).

[Я. П. уничижительно отзывается о Нобелевской премии — вполне в духе 1930-х гг., когда в СССР ее официально считали (и не без оснований) чрезмерно политизированной и, как следствие, мало престижной (*примеч. ред.).*]

— Нет, но я его изготовил.

И он его показал. Эго были просто два стекла, снятые инженером со своих часов и часов Спилетта. Он соединил их края глиной, предварительно наполнив водою, — и таким образом получилась настоящая зажигательная чечевица, с помощью которой, сосредоточив солнечные лучи на сухом мхе, инженер добыл огонь».

Читатель пожелает, я думаю, узнать, зачем нужно заполнять водою пространство между часовыми стеклами: разве наполненная воздухом двояковыпуклая чечевица не сосредоточивает лучей?

Именно нет. Часовое стекло ограничено двумя параллельными (концентрическими) поверхностями — наружной и внутренней; а известно из физики, что, проходя через среду, ограниченную такими поверхностями, лучи не изменяют своего направления. Проходя затем через второе такое же стекло, они и здесь не отклоняются, а следовательно, не собираются в фокусе. Чтобы сосредоточить лучи в одной точке, необходимо заполнить пространство между стеклами каким-нибудь прозрачным веществом, которое преломляло бы лучи сильнее, нежели воздух. Так и поступил инженер в романе Жюля Верна.

Обыкновенный графин с водой, если имеет шарообразную форму, также может служить зажигательной чечевицей. Это знали уже древние, которые заметили и то, что сама вода при этом остается холодной. Случалось даже, что стоящий на открытом окне графин с водой зажигал занавески, скатерть, обугливал стол. Те огромные шаровые бутыли с окрашенной водой, которые по старинному обычаю украшали раньше витрины аптек, бывали иногда причиной настоящих катастроф, вызывая взрыв легковоспламеняющихся веществ, расположенных весьма близко, — спичек, табака, серы, спирта, сухой бумаги темного цвета и т. п.

Небольшой круглой колбой, наполненной водой, можно даже при небольших размерах колбы довести до кипения воду, налитую на часовое стеклышко: для этого достаточна колба сантиметров в 12 диаметром. При 15 см в фокусе[1] получается температура в 120°. Чем больше колба, тем сильнее жар, так как в фокусе сосредоточивается больше лучей. Зажечь папироску с помощью колбы с водой так же легко, как и стеклянной чечевицей, о которой еще Ломоносов в своем стихотворении «О пользе стекла» писал:

Мы пламень солнечный стеклом здесь получаем,
И Прометею тем безбедно подражаем.
Ругаясь подлости нескладных оных врак,
Небесным без греха огнем курим табак.

Любопытно, что это свойство стеклянных чечевиц известно было еще древним грекам, более чем за тысячелетие раньше изобретения очков и зрительных труб. О нем упоминает Аристофан в знаменитой комедии «Облака».

[1] Фокус получается при этом весьма близко к колбе.

Сократ предлагает Стрептиаду задачу: «Если бы кто писал обязательство на тебя в пяти талантах, как бы ты уничтожил оное?

*Стрептиад*. Нашел я, как истребить обязательство, да такой способ, что ты и сам признаешь его прехитрым! Видал ты, конечно, в аптеках камень прекрасный, прозрачный, которым зажигают?

*Сократ*. Зажигательное стекло?

*Стрептиад*. Точно так.

*Сократ*. Что же далее?

*Стрептиад*. Пока нотариус пишет, я, став позади его, направлю лучи солнца на обязательство, да слова-то все и растоплю...»

Напомню для пояснения, что греки времен Аристофана писали на навощенных дощечках, которые от теплоты легко растапливались.

### Необыкновенная причина пожаров

Как неожиданны и странны бывают подчас причины пожаров, показывает следующий крайне любопытный рассказ известного исследователя полярных стран М. Е. Жданко[1]:

«Это было давно, — кажется, в 1877 году, в Архангельске. Зайдя однажды к своему знакомому, я невольно обратил внимание на то, что в его столовой буфет был переставлен на другое место, к другой стене, а на нижней дверке этого буфета ясно выступала совершенно обуглившаяся полоса в виде пологой дуги шириною приблизительно в палец.

Я спросил хозяина, что это значит.

— А вот, видите ли, — отвечал он, — вчера у меня чуть пожар не случился.

— Почему?

— Полюбуйтесь.

С этими словами он подвел меня к окну, которое выходило на юг, и указал на заметную в нем неровность. Стекло было не из дорогих, самое простое оконное стекло, и на нем в одном месте было нечто вроде пузыря, диаметром около двух дюймов.

Эта неровность игрою случая получила форму двояковыпуклого стекла, и фокус этой линзы был как раз равен расстоянию от окна до буфета, когда он стоял на старом месте.

И вот, в один из ясных дней Солнце, совершая свой дневной путь, очень низкий над горизонтом (полуденная высота Солнца в Архангельске в декабре месяце равна всего лишь 4°), своими лучами, проходившими через эту случайную чечевицу, выжгло на нижней дверке буфета борозду. Пожар не случился, быть может, только потому, что буфет был из твердого дерева (карельской березы), а будь это ель, кедр или какое-либо другое смолистое и мягкое дерево, оно, весьма возможно, вспыхнуло бы.

---

[1] *Жданко Михаил Ефимович* (1855–1921) — выдающийся морской путешественник, военный гидрограф-геодезист (*примеч. ред.*).

Я тогда же подумал: какая масса пожаров может случиться от подобной же причины в наших деревнях, где стекла в окнах самые примитивные, неровные, а в хатах много тряпья, стружек и другого легковоспламеняющегося хлама! И очень может быть, что немало пожаров, причины которых остались невыясненными, загадочными, обязаны своим возникновением именно дурным оконным стеклам».

От себя замечу, что такие пузыри в оконном стекле могут вызвать воспламенение лишь тех предметов, которые находятся в небольшом отдалении от окна, потому что фокусное расстояние подобных чечевиц бывает невелико — не более 30–40 см.

### Как добыть огонь с помощью льда?

Материалом для двояковыпуклой линзы, а следовательно, и для добывания огня, может послужить также лед, если он достаточно прозрачен. При этом лед, преломляя лучи, сам не нагревается и не тает. Показатель преломления льда лишь немногим меньше, чем у воды, и если, как мы видели, можно добыть огонь с помощью шара, наполненного водою, то возможно сделать это и с помощью чечевицы из льда.

Ледяная чечевица сослужила хорошую службу в жюль-верновом «Путешествии капитана Гаттераса». Доктор Клаубонни таким именно образом зажег костер, когда путники потеряли огниво и очутились без огня, при страшном морозе в 48 градусов.

«— Это несчастье, — сказал Гаттерас доктору.

— Да, — отвечал тот.

— У нас нет даже подзорной трубы, с которой мы могли бы снять чечевицу и добыть огня.

— Знаю, — ответил доктор, — и очень жаль, что нет; солнечные лучи достаточно сильны, чтобы зажечь трут.

— Что делать, придется утолить голод сырой медвежатиной, — заметил Гаттерас.

— Да, — задумчиво проговорил доктор, — в крайнем случае. Но отчего бы нам не...

— Что вы задумали? — полюбопытствовал Гаттерас.

— Мне пришла в голову мысль...

— Мысль? — воскликнул боцман. — Если вам пришла мысль, значит, мы спасены!

— Не знаю, как удастся, — колебался доктор.

— Что же вы придумали? — спросил Гаттерас.

— У нас нет чечевицы, но мы ее изготовим.

— Как? — поинтересовался боцман.

— Отшлифуем из куска льда.

— Неужели вы полагаете...

— Отчего бы и нет? Ведь нужно только, чтобы лучи Солнца были сведены в одну точку, а для этой цели лед может заменить нам лучший хрусталь. Только я предпочел бы кусочек пресноводного льда: он крепче и прозрачнее.

— Вот, если не ошибаюсь, эта ледяная глыба, — указал боцман на льдину шагах в ста от путешественников, — судя по ее цвету, есть как раз то, что вам надо.

— Вы правы. Возьмите-ка свой топор. Пойдемте, друзья мои.

Все трое направились к указанной ледяной глыбе. Действительно, лед оказался пресноводным.

Доктор велел отрубить кусок льда, имеющий фут в диаметре, и начал обравнивать его топором. Потом отделал его ножом, наконец постепенно отшлифовал рукою. Получилась прозрачная чечевица, словно из лучшего хрусталя. Солнце было довольно яркое. Доктор подставил чечевицу его лучам и сосредоточил их на труте. Через несколько секунд трут загорелся».

*Рис. 121. «Доктор сосредоточил лучи Солнца на труте».*

*Рис. 122. Чашка для изготовления ледяной чечевицы.*

Рассказ Жюля Верна не фантастичен: опыты зажигания дерева при помощи ледяной чечевицы, впервые успешно выполненные в Англии с весьма большой чечевицей еще в 1763 г., с тех пор неоднократно производились с полным успехом. Конечно, трудно изготовить *прозрачную* ледяную чечевицу с помощью таких орудий, как топор, нож и «просто рука» (при 48-градусном морозе!), — но можно изготовить ледяную чечевицу проще: налить воды в чашку надлежащей формы и заморозить, а затем, слегка подогрев чашку, вынуть из нее готовую чечевицу.

Проделывая подобный опыт, не забывайте, что он удается лишь в ясный морозный день и на открытом воздухе, но не в комнате за оконным стеклом: стекло поглощает значительную часть энергии солнечных лучей, и остающейся недостаточно, чтобы вызвать сильное нагревание.

### С помощью солнечных лучей

Проделайте такой опыт, тоже легко выполнимый в зимнее время. Положите на снег, заливаемый солнечным светом, два одинаковой величины лоскутка ткани — светлый и черный. Через час или два вы убедитесь, что черный лоскуток погрузился в снег, между тем как светлый остался на прежнем уровне. Доискаться причины подобного различия нетрудно: под черным лоскутком снег тает сильнее, так как темная ткань поглощает бóльшую часть падающих на нее солнечных лучей; светлая же, напротив, бóльшую часть их рассеивает и потому слабее нагревается, нежели черная.

Поучительный опыт этот впервые проделан был знаменитым борцом за независимость Соединенных Штатов Веньямином Франклином, обессмертившим себя, как физик, изобретением громоотвода:

«Я взял у портного несколько квадратных кусочков сукна различных цветов, — писал он. — Между ними были: черный, темно-синий, светло-синий, зеленый, пурпуровый, красный, белый и различные другие цвета и оттенки. В одно светлое солнечное утро я положил все эти куски на снег. Через несколько часов черный кусок, нагревшийся сильнее других, погрузился так глубоко, что лучи солнца более его не достигали; темно-синий погрузился почти настолько же, как и черный; светло-синий гораздо менее; остальные цвета опустились тем менее, чем они светлее. Белый же остался на поверхности, т. е. вовсе не опустился.

К чему годна была бы теория, если бы из нее нельзя было извлечь никакой пользы? — восклицает по этому поводу американский физик и продолжает: — Разве не можем мы из этого опыта вывести то, что черное платье в теплом солнечном климате менее годно, чем белое, так как оно на солнце сильнее нагревает наше тело, и если мы при этом еще будем делать движения, которые сами по себе нас согревают, то образуется излишняя теплота? Не должны ли мужские и женские летние шляпы быть белого цвета, чтобы устранить ту жару, которая вызывает у некоторых солнечный удар?.. Далее, вычерненные стены не могут разве поглотить в течение дня столько солнечной теплоты, чтобы ночью остаться до некоторой степени теплыми и предохранить фрукты от мороза? Не может разве внимательный наблюдатель натолкнуться еще и на другие частности, большей или меньшей важности?»

Каковы могут быть эти выводы и полезные применения, показывает пример немецкой южнополярной экспедиции 1903 г. на корабле «Гаусс». Судно вмерзло в лед, и все обычные способы освобождения не привели ни к каким результатам. Взрывчатые вещества и пилы, пущенные в дело, удалили всего несколько сот кубометров льда и не освободили корабля. Тогда обратились к помощи солнечных лучей: из темной золы и угля устроили на льду полосу в два километра длины и в десяток метров ширины; она вела от корабля до ближайшей широкой щели во льду. Стояли ясные долгие дни полярного лета, — и солнечные лучи сделали то, чего не могли сделать динамит и пила. Лед, подтаяв, сломался вдоль насыпанной полосы, и корабль освободился от льда.

Самое удивительное и неожиданное применение того же физического явления предложил советский метеоролог Жуков[1]. Мысль его состоит в том, чтобы искусственным растоплением ледниковых скоплений в горах нашей Средней Азии увеличить количество воды в тех реках, которые питаются этими ледниками. Растопление льдов достигается искусственным зачернением ледника. Испытание этого способа в 1934 г. (Тянь-Шанской обсерваторией на леднике Давыдова) дало очень хорошие результаты. Оказалось, что зачернение ледника в летние месяцы ускоряет таяние льда при ясном небе в 4–5 раз, а при пасмурном небе — в два раза. Опыты эти не закончены[2] (еще не выбрано окончательно красящее вещество), но уже и то, что выяснено, является весьма многообещающим.

Неожиданный путь от темного лоскутка на снегу до искусственного растопления горных ледников и увеличения водоносности рек целого края — прекрасный образец могущества того метода исследования природы, которым пользуется физика в условиях социалистического строительства.

[1] *Жуков Михаил Степанович* (1893–1937) — метеоролог, синоптик, исследователь влияния солнечной деятельности на социальные (биопсихологические) явления (*примеч. ред.*).

[2] Эти опыты были свернуты, когда выяснилось, что доля ледникового питания рек Средней Азии невелика. Однако разработка методов искусственного регулирования таяния ледников продолжается и поныне (*примеч. ред.*).

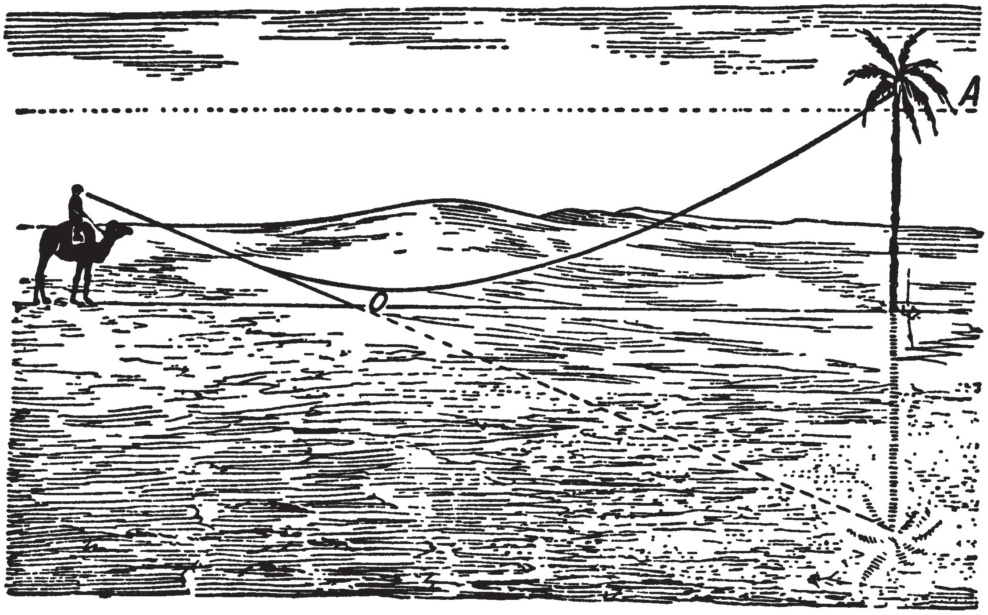



*Рис. 123. Как возникает мираж в пустыне. Этот рисунок, обычно воспроизводимый в учебниках, представляет путь светового луча наклоненным к земле преувеличенно круто.*

## Старое и новое о миражах

Вероятно, всем известно, в чем заключается физическая причина обыкновенного миража. Раскаленный зноем песок пустыни приобретает зеркальные свойства оттого, что прилегающий к нему нагретый слой воздуха имеет меньшую плотность, нежели вышележащие слои. Наклонный луч света от весьма далекого предмета, достигнув этого воздушного слоя, искривляет в нем свой путь так, что в дальнейшем следовании он вновь удаляется от земли и попадает в глаз наблюдателя, словно отразившись от зеркала под очень большим углом падения. И наблюдателю кажется, что перед ним расстилается в пустыне водная гладь, отражающая прибрежные предметы (рис. 123).

Правильнее было бы, впрочем, сказать, что нагретый слой воздуха близ раскаленной почвы отражает лучи не наподобие зеркала, а наподобие водной поверхности, рассматриваемой из глубины воды. Здесь происходит не простое отражение, а то, что на языке физики называется «полным внутренним отражением». Для этого необходимо, чтобы луч света вступал в воздушные слои очень полого, — более полого, чем показано на нашем упрощенном рисунке 123; иначе не будет превзойден «предельный угол» падения луча, а без этого не получается внутреннего отражения.

Отметим попутно один пункт этой теории, могущий породить недоразумение. Изложенное объяснение требует такого расположения воздушных

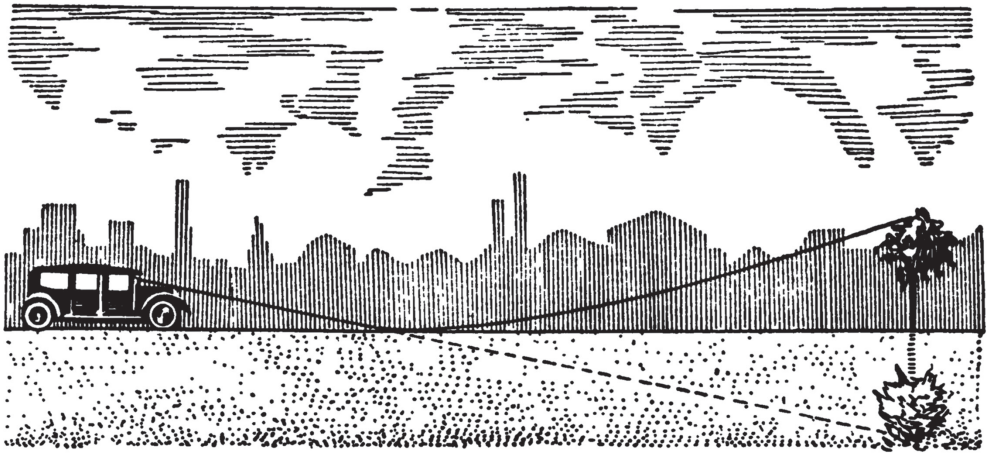
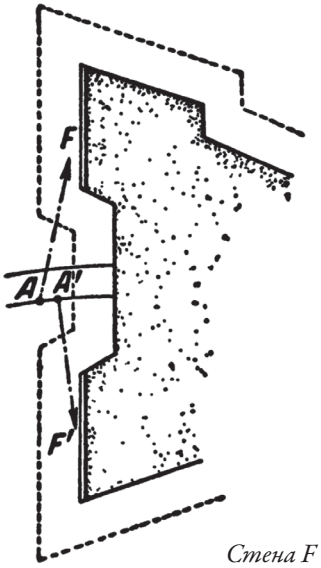


*Рис. 124. Мираж на гудронированном шоссе.*

слоев, при котором более плотные слои находились бы выше, чем менее плотные. Мы знаем, однако, что плотный, тяжелый воздух всегда стремится опуститься и вытеснить лежащий под ним легкий слой газа вверх. Как же может существовать то расположение слоев плотного и разреженного воздуха, которое необходимо для появления миража?

Разгадка кроется в том, что требуемое расположение воздушных слоев бывает не в неподвижном воздухе, а в воздухе, находящемся в движении. Нагретый почвой слой воздуха не покоится на ней, а непрерывно вытесняется вверх и тотчас сменяется новым слоем нагретого воздуха. Непрерывная смена обусловливает то, что к раскаленному песку всегда прилегает некоторый слой разреженного воздуха — пусть не одного и того же, это безразлично для хода лучей.




Тот род миража, который мы рассматриваем, известен с глубокой древности. В современной метеорологии его называют «нижним» миражом (в отличие от «верхнего», порождаемого отражением лучей света слоями разреженного воздуха верхних областей атмосферы). Большинство людей убеждено, что этот классический мираж может наблюдаться только в знойном воздухе южных пустынь и никогда не бывает в более северных широтах. Между тем, нижний мираж нередко случается

*Рис. 125. План форта, где наблюдался мираж. Стена F казалась зеркальной из точки A, стена F′ — из точки A′.*

наблюдать и в наших краях. Особенно часты подобные явления в летнее время на асфальтовых и гудронированных дорогах, которые, благодаря темному цвету, сильно нагреваются на солнце. Матовая поверхность дороги кажется тогда издали словно политой водою и отражает отдаленные предметы. Ход лучей света при этом мираже показан на рис. 124. При некоторой наблюдательности подобные явления можно видеть не так редко, как принято думать.

Есть и еще род миража — мираж *боковой*, о существовании которого в широких кругах обычно даже не подозревают. Это — отражение от нагретой отвесной стены. Такой случай описан одним французским автором. Приближаясь к форту крепости, он заметил, что ровная бетонная стена форта вдруг заблистала, как зеркало, отражая в себе окружающий ландшафт, почву, небо. Сделав еще несколько шагов, он заметил ту же перемену и с другою стеною форта. Казалось, будто серая неровная поверхность внезапно заменяется полированною. Стоял знойный день, и стены должны были сильно накалиться, — в чем и заключалась разгадка их зеркальности. На прилагаемом рис. 125 показано расположение стен форта ($F$ и $F'$) и местоположение наблюдателя ($A$ и $A'$). Оказалось, что мираж наблюдается всякий раз, когда стена достаточно нагреется солнечными лучами. Удалось даже сфотографировать это явление.

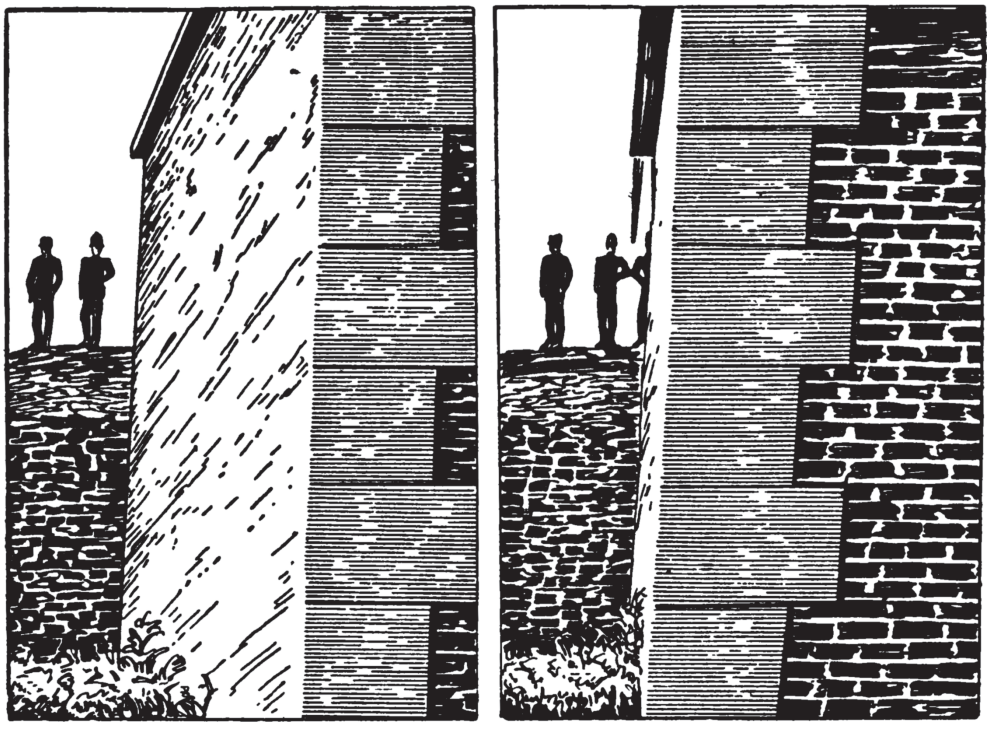


*Рис. 126. Серая неровная стена (налево) внезапно делается словно полированной, отражающей (направо).*

На рис. 126 изображена (слева) стена *F* форта, — сначала матовая, а затем блестящая (справа), как зеркало (снята из точки *A'*). На левом снимке — обыкновенный серый бетон, в котором, конечно, не могут отражаться стоящие близ стены фигуры двух солдат. Направо — та же стена в большей своей части приобрела зеркальные свойства, и ближайшая фигура солдата дает в ней свое *симметричное* изображение. Конечно, отражает лучи тут не сама поверхность стены, а лишь прилегающий к ней слой нагретого воздуха.

В знойные летние дни следовало бы обращать внимание на накалившиеся стены больших зданий и искать, не обнаружатся ли явления миража. Без сомнения, при пристальном внимании число таких случаев миража должно заметно участиться.

## «Зеленый луч»

«Наблюдали ли вы когда-нибудь Солнце, заходящее за горизонт моря? Да, без сомнения. Проследили ли вы за ним до того момента, когда верхний край диска соприкасается с линией горизонта и затем исчезает? Вероятно, да. Но заметили ли вы явление, происходящее в то мгновение, когда лучезарное светило бросает последний свой луч, если при этом небо свободно от облаков и совершенно прозрачно? Быть может, нет. Не пропускайте же случая сделать подобное наблюдение: в ваш глаз ударит не красный луч, а зеленый, дивного зеленого цвета, такого, какого ни один художник не может получить на своей палитре и какого не воспроизводит сама природа ни в разнообразных оттенках растительности, ни в цвете самого прозрачного моря».

Подобная заметка в одной английской газете привела в восторженное состояние молодую героиню романа Жюля Верна «Зеленый луч» и побудила ее предпринять ряд путешествий с единственной целью — собственными глазами увидеть зеленый луч. Юной шотландке не удалось, как повествует романист, наблюдать это красивое явление природы. Но оно все же существует. Зеленый луч — не легенда, хотя с ним и связано много легендарного. Это — явление, которым может восхищаться каждый любитель природы, если будет искать его с должным терпением.

Почему появляется зеленый луч?

Вы поймете причину явления, если вспомните, в каком виде представляются нам предметы, когда мы смотрим на них сквозь стеклянную призму. Проделайте такой опыт: держите призму у глаза горизонтально, широкой стороной вниз, и рассматривайте через нее листок бумаги, приколотый на стене. Вы заметите, что листок, во-первых, поднялся значительно выше своего истинного положения, а во-вторых, имеет вверху фиолетово-синюю кайму, внизу — желто-красную. Поднятие зависит от преломления света, цветные каемки — от *дисперсии* стекла, т. е. свойства стекла *неодинаково преломлять лучи разного цвета*. Фиолетовые и синие лучи преломляются сильней

прочих — поэтому мы видим вверху фиолетово-синюю кайму; красные преломляются всего слабее, и потому нижний край нашего бумажного листка имеет красную кайму.

Для лучшего понимания дальнейшего необходимо остановиться на происхождении этих цветных каемок. Призма разлагает белый свет, исходящий от бумаги, на все цвета спектра, давая множество цветных изображений бумажного листка, расположенных, частью налагаясь одно на другое, в порядке преломляемости. От одновременного действия этих наложенных друг на друга цветных изображений глаз получает ощущение белого цвета (сложение спектральных цветов), но вверху и внизу выступают каемки не смешивающихся цветов. Знаменитый поэт Гёте, проделавший этот опыт и не понявший его смысла, вообразил, что он разоблачил таким образом ложность учения Ньютона о цветах, и написал затем собственную «Науку о цветах», которая почти всецело основана на превратных представлениях. Наш читатель, надо полагать, не повторит заблуждения великого поэта и не будет ожидать, что призма перекрасит для него все предметы.

Земная атмосфера является для наших глаз как бы огромной воздушной призмой, обращенной основанием вниз. Глядя на Солнце у горизонта, мы смотрим на него сквозь газовую призму. Диск Солнца получает вверху каемку синего и зеленого цвета, внизу — красно-желтую. Пока Солнце стоит выше горизонта, свет диска своею яркостью перебивает гораздо менее яркие цветные полоски, и мы их не замечаем вовсе. Но в моменты восхода и захода Солнца, когда почти весь его диск скрыт под горизонтом, мы можем видеть синюю кайму верхнего края. Она двухцветная: выше расположена синяя полоска, ниже — голубая, от смешения синих и зеленых лучей. Когда воздух близ горизонта совершенно чист и прозрачен, мы видим синюю кайму, — «синий луч». Но чаще синие лучи рассеиваются атмосферой, и остается одна зеленая кайма: явление «зеленого луча». Наконец, в большинстве случаев рассеиваются мутной атмосферой также синие и зеленые лучи — тогда не замечается никакой каемки: Солнце закатывается багровым шаром.

Пулковский астроном Г. А. Тихов, посвятивший «зеленому лучу» специальное исследование, сообщает некоторые приметы видимости этого явления. «Если Солнце имеет при закате красный цвет и на него легко смотреть простым глазом, то можно с уверенностью сказать, что зеленого луча не будет». Причина понятна: красный цвет солнечного диска указывает на сильное рассеяние атмосферой синих и зеленых лучей, т. е. всей верхней каемки диска. «Наоборот, — продолжает астроном, — если Солнце мало изменило свой обычный беловато-желтый цвет и заходит очень ярким (т. е. если поглощение света атмосферой невелико. — *Я. П.*), то можно с большою вероятностью ожидать зеленого луча. Но тут как раз важно, чтобы горизонт представлял резкую линию, без всяких неровностей, близкого леса, построек и т. п. Эти условия всего лучше выполняются на море; вот почему зеленый луч так хорошо известен морякам».

Итак, чтобы увидеть «зеленый луч», нужно наблюдать Солнце в момент заката или восхода при очень чистом небе. В южных странах небо у горизонта прозрачнее, чем у нас; поэтому явление «зеленого луча» наблюдается там чаще. Но и у нас оно не так редко, как думают многие, вероятно, под влиянием романа Жюля Верна. Настойчивые поиски «зеленого луча» рано или поздно вознаграждаются успехом. Случалось улавливать это красивое явление даже в зрительную трубу. Два эльзасских астронома так описывают подобное наблюдение:

«...В последнюю минуту, предшествующую заходу Солнца, когда, следовательно, еще видна заметная часть его, диск, имеющий волнообразную движущуюся, но резко очерченную границу, окружен зеленым ободком. Пока Солнце не зашло окончательно, этот ободок не виден простым глазом. Он становится виден лишь в момент полного исчезновения Солнца за горизонтом. Если же смотреть в зрительную трубу с достаточно сильным увеличением (примерно в 100 раз), можно проследить

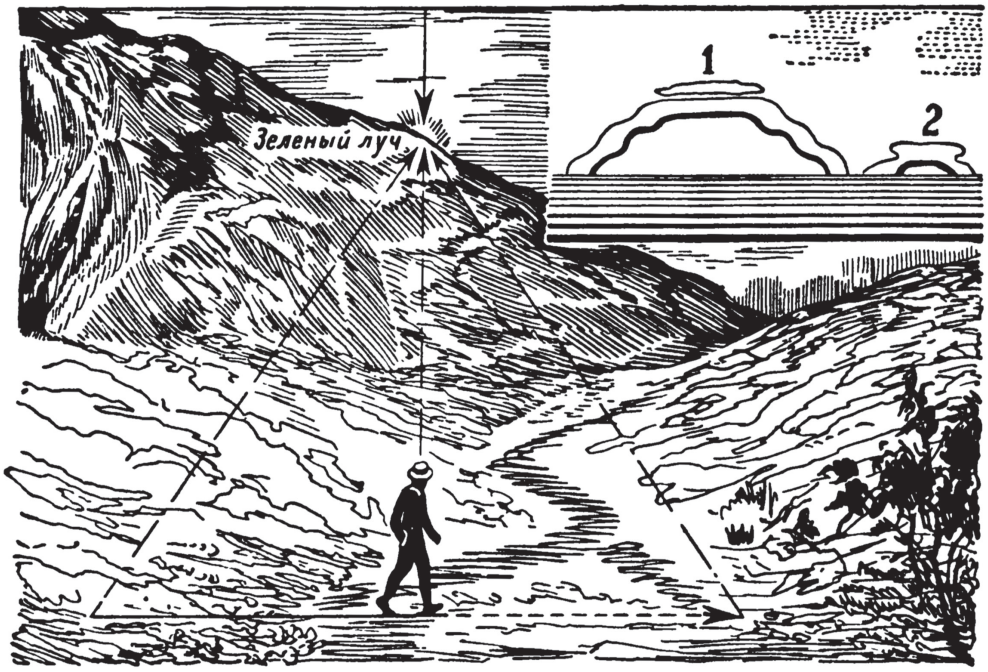



*Рис. 127. Длительное наблюдение «зеленого луча»: наблюдатель видел «зеленый луч» за горным хребтом в течение 5 минут. Выше направо — «зеленый луч», видимый в подзорную трубу. Диск Солнца имеет неправильные контуры. В положении 1 блеск солнечного диска ослепляет глаз и мешает видеть зеленую каемку простым глазом. В положении 2, когда диск Солнца почти исчезает, «зеленый луч» становится доступным простому глазу.*

подробно все явления: зеленая кайма становится заметной самое позднее за 10 минут до захода Солнца; она ограничивает верхнюю часть диска, тогда как от нижней наблюдается красная кайма. Ширина каймы, вначале очень малая (всего несколько секунд дуги), возрастает по мере захождения Солнца; она достигает иногда до полуминуты дуги. Над зеленым ободком часто наблюдаются зеленые же выступы, которые при постепенном исчезновении Солнца как бы скользят по его краю до высшей точки; иногда они отрываются от ободка и светятся несколько секунд отдельно, пока не погаснут» (рис. 127).

Обычно явление длится секунду-две. Но при исключительной обстановке продолжительность его заметно удлиняется. Отмечен случай, когда «зеленый луч» наблюдался более 5 минут! Солнце садилось за отдаленной горой, и быстро шагавший наблюдатель видел зеленую кайму солнечного диска, словно скользящего по склону горы (рис. 127).

Очень поучительны случаи наблюдения «зеленого луча» при *восходе* Солнца, когда верхний край светила начинает показываться из-под горизонта. Это опровергает часто высказываемую догадку, будто «зеленый луч» — оптический обман, которому поддается глаз, утомленный ярким блеском только что закатившегося солнца.

Солнце — не единственное светило, посылающее «зеленый луч». Случалось видеть это явление, порождаемое заходящей Венерой; известны два наблюдения такого рода.

Как и некоторые другие явления атмосферной оптики, «зеленый луч» разъяснен не во всех подробностях. Причина та, что он еще сравнительно недавно привлек к себе внимание физиков и представлен недостаточным числом наблюдений. Подробные сообщения очевидцев несомненно принесут пользу науке; добросовестные наблюдения друзей физики являются здесь весьма желательными.

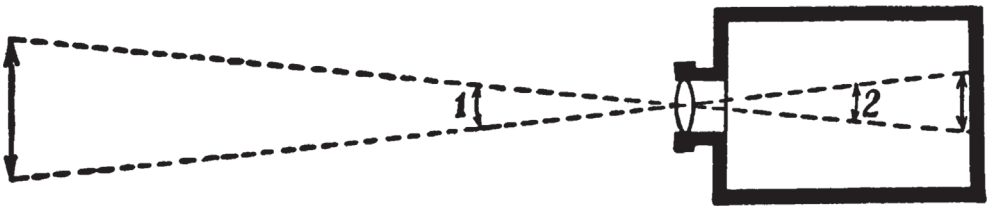



*Рис. 128. В фотографическом аппарате угол 1 равен углу 2.*

## *ГЛАВА ДЕВЯТАЯ*

# ЗРЕНИЕ ОДНИМ И ДВУМЯ ГЛАЗАМИ

### Когда не было фотографии

Фотография успела сделаться в нашем быту столь привычной вещью, что мы и не представляем себе, как обходились без нее наши предки, даже и не очень отдаленные. В «Записках Пиквикского клуба» Диккенс забавно рассказывает, каким образом запечатлевали внешность человека в государственных учреждениях Англии в начале XIX века. Действие происходит в долговой тюрьме, куда привели Пиквика.

«Пиквику сказали, что он должен посидеть, пока с него не снимут портрета.

— Снимут с меня портрет! — воскликнул м-р Пиквик.

— Образ ваш и подобие, сэр, — отвечал дюжий тюремщик. — Мы ведь мастера портреты снимать, было бы вам это известно. Не успеете повернуться, и рисунок будет готов. Сядьте, сэр, и будьте как дома.

Повинуясь приглашению, м-р Пиквик сел, и тогда Самуэль (слуга Пиквика) шепнул ему на ухо, что выражение „снимать портрет“ должно понимать здесь в фигуральном смысле:

— Это значит, сэр, что тюремщики станут присматриваться к вашему лицу, чтобы различить вас от других арестантов.

Сеанс начался. Толстый тюремщик беспечно посматривал на м-ра Пиквика, тогда как его товарищ стал напротив нового арестанта и устремил на него пристальный взгляд. Третий джентльмен остановился перед самым носом м-ра Пиквика и принялся изучать его черты с напряженным вниманием.

Наконец, портрет был снят, и м-ру Пиквику сказали, что он может идти в тюрьму».

Еще ранее роль таких «портретов», запечатлеваемых памятью, играл перечень «примет». Помните, в «Борисе Годунове» Пушкина, описание Григория Отрепьева в царском указе: «А ростом он мал, грудь широкая, одна рука короче другой, глаза голубые, волоса рыжие, на щеке бородавка, на лбу другая»? В наши дни просто прилагается фотокарточка. Впрочем, перечень примет был у нас в употреблении еще незадолго до революции. В сохранившемся у меня дореволюционном воинском билете имеются следующие рубрики для примет:

| | | |
|---|---|---|
| Рост | Глаза | Подбородок |
| Волосы | Нос | Лицо |
| Брови | Рот | Особые приметы |

**Чего многие не умеют?**

Фотография проникла к нам в 1840-х годах сначала в виде так называемой дагерротипии[1] — снимков на металлических пластинках. Неудобство этого способа светописи состояло в том, что приходилось позировать перед аппаратом довольно долго — десятки минут...

«Мой дед, — рассказывал ленинградский физик проф. Б. П. Вейнберг[2], — просидел перед фотографической камерой, чтобы получился с него один и притом не размножаемый дагерротип, — сорок минут!»

Но все же возможность получать портреты без участия художника представлялась настолько новой, почти чудесной, что публика не скоро привыкла к этой мысли. В старинном русском журнале (1845 года) рассказан по этому поводу забавный случай:

«Многие еще до сих пор не хотят верить, что дагерротип мог действовать сам. Один весьма почтенный человек пришел заказать свой портрет. Хозяин (т. е. фотограф. — *Я. П.*) усадил его, приладил стекла, вставил дощечку, посмотрел на часы и вышел. Пока хозяин был в комнате, почтенный человек сидел как вкопанный; но лишь только хозяин вышел за дверь, господин, желавший иметь свой портрет, не счел нужным сидеть смирно, встал, понюхал табаку, осмотрел со всех сторон дагерротип (аппарат), приставил глаз к стеклу, покачал головой, проговорил „хитрая штука“ и начал прохаживаться по комнате.

Хозяин возвратился и, с изумлением остановившись у двери, воскликнул:

— Что вы делаете? Ведь я вам сказал, чтобы вы сидели смирно!

— Ну, я сидел. Я только встал, когда вы ушли.

— Тогда и надо было сидеть.

— Зачем же я буду сидеть напрасно?»

---

[1] По имени изобретателя этого способа — Дагерра.

[2] См. примечание на с. 382 (*примеч. ред.*).

Вам кажется, читатель, что теперь мы далеки от всяких наивных представлений о фотографии. Однако и в наше время большинство людей не освоилось еще вполне с фотографией, и, между прочим, мало кто умеет *смотреть* на готовые снимки. Вы думаете, нечего тут и уметь: взять снимок в руки и смотреть на него. Но это вовсе не так просто: фотографические снимки принадлежат к тем предметам обихода, с которыми, при всей их распространенности, мы не умеем правильно обращаться. Большинство фотографов, любителей и профессионалов, — не говоря уже об остальной публике, — рассматривают снимки *не совсем так, как надо*. Давно известно искусство фотографии, и тем не менее большинство людей не знает, как, собственно, следует рассматривать фотографические снимки[1].

## Искусство рассматривать фотографии

По устройству своему фотографическая камера — большой глаз; то, что рисуется на ее матовом стекле, зависит от расстояния между объективом и снимаемыми предметами. Фотографический аппарат закрепляет на пластинке перспективный вид, который представился бы нашему глазу (заметьте — *одному* глазу!), помещенному на месте объектива. Отсюда следует, что, раз мы желаем получить от снимка такое же зрительное впечатление, как и от самой натуры, мы должны:

1) рассматривать снимок *только одним глазом* и

2) держать снимок в *надлежащем расстоянии от глаза*.

Нетрудно понять, что, рассматривая снимок *двумя* глазами, мы неизбежно должны увидеть перед собой *плоскую* картину, а не изображение, имеющее

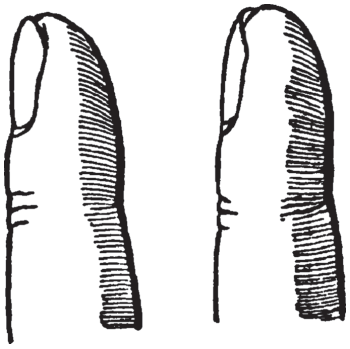


*Рис. 129. Каким кажется палец правому и левому глазу, если держать его недалеко от лица.*

[1] Многие читатели «Занимательной физики», — в их числе люди, близко прикосновенные к физике и фотографии, — признавались мне, что только из этой книги они впервые узнали правильный способ рассматривать фотографические снимки.

*глубину*. Это с необходимостью вытекает из особенностей нашего *зрения*. Когда мы рассматриваем *объемный* предмет, на сетчатках наших глаз получаются изображения *неодинаковые*: правый глаз видит не совсем то же, что рисуется левому (рис. 129). Эта неодинаковость изображений и есть, в сущности, главная причина того, что предметы представляются нам объемными: сознание наше сливает оба неодинаковых впечатления в один *рельефный* образ (на этом, как известно, основано устройство стереоскопа). Иное дело, если перед нами предмет *плоский* — например поверхность стены; оба глаза получают тогда вполне тождественные впечатления; одинаковость эта является для сознания признаком плоскостного протяжения предмета.

Теперь ясно, в какую ошибку впадаем мы, когда рассматриваем фотографии *двумя* глазами; этим мы навязываем своему сознанию убеждение, что перед ним именно *плоская* картина! Когда мы предлагаем *обоим* глазам снимок, предназначенный только для *одного*, мы мешаем себе видеть то, что должна дать нам фотография; вся иллюзия, в таком совершенстве создаваемая фотографической камерой, разрушается этим промахом.

### На каком расстоянии надо держать фотографию?

Столь же важно и второе правило — держать снимок в *надлежащем расстоянии* от глаза; в противном случае нарушается правильная перспектива.

Каково же должно быть это расстояние?

Для получения полного впечатления надо рассматривать снимок под тем же углом зрения, под каким объектив аппарата «видел» изображение на матовом стекле камеры, или — что то же самое — под каким он «видел» снимаемые предметы (рис. 128). Отсюда следует, что снимок надо приблизить к глазу на расстояние, которое во столько же раз меньше расстояния предмета от объектива, во сколько раз изображение предмета меньше натуральной величины. Другими словами, надо держать снимок от глаза на расстоянии, которое приблизительно равно фокусной длине объектива[1], т. е. расстоянию от центра диафрагмы до матового стекла (*глубине* камеры).

Если примем во внимание, что в большинстве любительских аппаратов фокусное расстояние равно 12–15 см[2], то поймем, что мы никогда не рассматриваем таких снимков на правильном расстоянии от глаза: расстояние лучшего зрения для нормального глаза (25 см) почти вдвое более указанного. Плоскими кажутся и фотографии, висящие на стене, — их рассматривают с еще большего расстояния.

---

[1] Это правило неприменимо лишь для камер с так называемым телеобъективом, где лучи преломляются сначала в собирающей, затем в рассеивающей линзах.

[2] Здесь и далее Я. П. приводит примеры с указанием фототехники 1930-х гг.; его рассуждения полностью применимы и в наши дни, хотя технические характеристики фотоаппаратов изменились (*примеч. ред.*).

Только близорукие люди, с коротким расстоянием лучшего зрения (а также дети, способные ясно видеть на близком расстоянии), 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 отделяется от заднего почти как в стереоскопе.

Читатель, надеюсь, согласится теперь, что в большинстве случаев мы только по собственному неведению не получаем от фотографических снимков в полной мере того удовольствия, какое они могут доставить, и часто напрасно жалуемся на их безжизненность. Все дело в том, что мы не помещаем своего глаза в надлежащей точке относительно снимка и смотрим *двумя* глазами на изображение, предназначенное только для *одного*.

### Странное действие увеличительного стекла

Близорукие люди, как мы сейчас объяснили, легко могут обыкновенные фотографии видеть рельефными. Но как быть людям с нормальными глазами? Они не могут придвигать изображение очень близко к глазу, — но им пособит здесь увеличительное стекло. Смотря на снимок через чечевицу с увеличением в два раза, такие люди легко могут приобрести указанные выгоды близорукого, т. е., не напрягая глаз, могут видеть, как фотография приобретает рельефность и глубину. Разница между получаемым при этом впечатлением и тем, что мы видим, глядя на фотографию двумя глазами с большого расстояния, — огромна. Такой способ рассматривать обыкновенные фотографии почти заменяет эффекты стереоскопа.

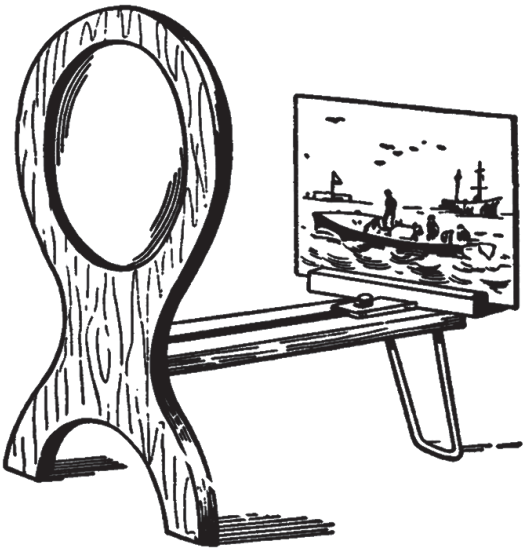


*Рис. 130. Лупа для рассматривания фотографий.*

Теперь становится понятным, почему фотоснимки часто приобретают рельефность, если смотреть на них одним глазом в увеличительное стекло. Факт этот общеизвестен; в фотографических магазинах бывают даже в продаже особые, основанные на этом приборы для рассматривания снимков (рис. 130). Но правильное объяснение явления приходится слышать редко. Один из рецензентов «Занимательной физики» писал мне по этому поводу:

«В следующем издании рассмотрите вопрос, отчего в обыкновенную лупу фотография кажется рельефной? Мое мнение, что все сложное объяснение стереоскопа не выдерживает критики. Попробуйте смотреть в стереоскоп одним глазом: рельефность сохраняется вопреки теории».

Читателям, конечно, ясно теперь, что теория стереоскопа нисколько этим фактом не колеблется.

На том же основан любопытный эффект так называемых панорам, продающихся в игрушечных магазинах. В этих маленьких приборах обыкновенный снимок ландшафта или группы рассматривается через увеличительное стекло одним глазом. Этого уже достаточно для получения рельефа; иллюзию обыкновенно усиливают еще тем, что некоторые предметы переднего плана вырезаются отдельно и помещаются впереди фотографии; глаз наш очень чувствителен к рельефности ближайших предметов и не столь восприимчив к более далеким рельефам.

## Увеличение фотографий

Нельзя ли изготовлять фотографии так, чтобы *нормальный* глаз мог правильно рассматривать их, не прибегая к стеклам? Вполне возможно, — для этого достаточно только пользоваться камерами с длиннофокусными объективами. После сказанного раньше понятно, что снимок, полученный при помощи объектива с 25–30-сантиметровым фокусным расстоянием, можно рассматривать (одним глазом) на обычном расстоянии, — он покажется достаточно рельефным.

Можно получать и такие снимки, которые не будут казаться плоскими при рассматривании даже *двумя глазами* с большого расстояния. Мы уже говорили, что, когда оба глаза получают от какого-либо предмета два тождественных изображения, сознание сливает их в одну плоскую картину. Но эта склонность быстро ослабевает с увеличением расстояния. Практика показывает, что снимки, полученные с помощью объектива с 70-сантиметровым фокусным расстоянием, могут быть непосредственно рассматриваемы обоими глазами, не утрачивая перспективности.

Необходимость располагать длиннофокусным объективом опять-таки представляет неудобство. Поэтому укажем и другой способ; он состоит в том, что *увеличивают* снимок, полученный обыкновенным аппаратом. При таком увеличении соответственно удлиняется и правильное расстояние, с какого нужно снимок рассматривать. Если фотографию, снятую 15-сантиметровым объективом, увеличить в 4 или 5 раз, то этого уже достаточно для получения желаемого эффекта: увеличенную фотографию можно рассматривать обоими глазами с расстояния 60–75 см. Некоторая неясность снимка не мешает впечатлению, так как с большого расстояния она малозаметна. В смысле же рельефности и перспективности снимок несомненно выигрывает.

## Лучшее место в кинотеатре

Частые посетители кинотеатров заметили, вероятно, что некоторые картины отличаются необыкновенной рельефностью: фигуры отделяются от заднего плана и настолько выпуклы, что забываешь даже о существовании полотна и видишь словно подлинный ландшафт или живых артистов на сцене.

Такая рельефность изображений зависит не от свойства самой ленты, как часто думают, а от места, где помещается зритель. Кинематографические снимки хотя и производятся с помощью весьма короткофокусных камер, но проектируются на экран в сильно увеличенном виде, — раз в сто, — так что их можно рассматривать двумя глазами с большого расстояния (10 см × 100 = 10 м). Наибольшая рельефность наблюдается тогда, когда мы смотрим на картины под тем же самым углом, под каким аппарат «смотрел» на свою натуру при съемке. Тогда перед нами будет естественная перспектива.

Как же найти расстояние, отвечающее такому наивыгоднейшему углу зрения? Для этого нужно выбрать место, во-первых, *против середины картины*, а во-вторых, на таком *расстоянии* от экрана, которое во столько же раз больше ширины картины, во сколько раз фокусное расстояние объектива больше ширины кинематографической ленты.

Для кинематографических снимков обыкновенно пользуются камерами с фокусным растоянием 35 мм, 50 мм, 75 мм, 100 мм, — в зависимости от характера съемки. Стандартная ширина ленты 24 мм. Для фокуса, например, в 75 мм имеем отношение:

$$\frac{\text{искомое расстояние}}{\text{ширина картины}} = \frac{\text{фокусное расстояние}}{\text{ширина ленты}} = \frac{75}{24} \approx 3.$$

Итак, чтобы найти, на каком расстоянии надо в этом случае сесть от экрана, достаточно ширину картины увеличить примерно в 3 раза. Если ширина кинематографического изображения 6 шагов, то лучшие места для рассматривания этих кадров расположены в 18 шагах от экрана.

Этого обстоятельства не следует упускать из виду при испытании различных предложений, имеющих целью придать кинокартинам стереоскопичность: легко приписать испытываемому изобретению то, что обусловлено сейчас указанными причинами (ошибки такого рода бывали)[1].

[1] Непонимание истинной причины стереоскопичности фотоснимков при рассматривании их в лупу привело одного ленинградского изобретателя к мысли, что большая линза, помещенная перед объективом киноаппарата, должна придать рельефность картине на экране. Изобретение привлекло к себе внимание; зрители действительно замечали, что картины при такой проекции приобретают рельефность... Излишне добавлять, что наивный замысел изобретателя был основан на грубом заблуждении и что рельефность картин обусловливалась совершенно иными причинами (разъясненными в этой книге).

## Совет читателям иллюстрированных журналов

Воспроизведения фотографий в книгах и журналах имеют, конечно, те же свойства, что и оригинальные снимки: они тоже становятся рельефнее, если рассматривать их одним глазом и с надлежащего расстояния. Так как разные фотографии сняты аппаратами с различным фокусным расстоянием, то отыскивать надлежащие расстояния для рассматривания приходится испытанием. Закрыв один глаз, держите иллюстрацию на вытянутой руке так, чтобы плоскость ее была перпендикулярна к лучу зрения, а ваш открытый глаз приходился против середины снимка. Теперь приближайте постепенно снимок, не переставая всматриваться в него: вы легко уловите момент, когда он приобретает наибольшую рельефность.

Многие снимки, неотчетливые и плоские при обычном рассматривании, получают глубину и ясность, если смотреть на них описанным способом. Нередко при таком рассматривании становятся заметны блеск воды и другие чисто стереоскопические эффекты.

Надо удивляться, что столь простые факты так мало известны, хотя почти все здесь сообщаемое излагалось в популярных книгах более полувека назад. В «Основаниях физиологии ума» В. Карпентера[1] — книге, изданной в русском переводе еще в 1877 г., — читаем о рассматривании фотографий следующее:

«Замечательно, что эффект этого способа рассматривания фотографических картин (одним глазом) не ограничивается выделением телесности[2] предмета; другие особенности являются тоже с несравненно большею живостью и реальностью, дополняя иллюзию. Это относится главным образом к изображению стоячей воды — самой слабой стороны фотографических картин при обычных условиях. Именно: если смотреть на такое изображение воды *обоими* глазами, — поверхность кажется восковой; но если смотреть *одним* глазом, — в ней часто замечается поразительная прозрачность и глубина. То же можно сказать и относительно различных свойств *поверхностей*, отражающих свет, например бронзы и слоновой кости. Материал, из которого сделан предмет, изображенный на фотографии, узнается гораздо легче, если смотреть *одним* глазом, а *не двумя*».

Обратим внимание еще на одно обстоятельство. Если снимки при увеличении выигрывают в жизненности, то при уменьшении они, напротив, проигрывают в этом отношении. Уменьшенные фотографии выходят, правда, резче и отчетливее, но они плоски, не дают впечатления глубины и рельефности. Причина после всего сказанного должна быть понятна: с уменьшением фотографий уменьшается и соответствующее «перспективное расстояние», которое обыкновенно и без того чересчур мало.

---

[1] *Карпентер Вильям (Уильям)* (1813–1885) — английский естествоиспытатель, медик, психолог, зоолог и физиолог (*примеч. ред.*).

[2] Т. е. объемности (*примеч. ред.*).

## Рассматривание картин

То, что мы сказали о фотографии, до известной степени применимо и к картинам, созданным рукой художника: их всего лучше рассматривать тоже с надлежащего расстояния. Только при этом условии ощутите вы перспективу, и картина покажется не плоской, а глубокой и рельефной. Полезно смотреть также одним, а не двумя глазами, особенно на картины небольших размеров.

«Давно известно, — писал по этому поводу английский психолог В. Карпентер в упомянутом сочинении, — что при внимательном рассматривании картины, где перспективные условия, свет, тени и общее расположение деталей строго соответствуют изображаемой действительности, производимое впечатление гораздо живее, если смотреть *одним* глазом, а не *обоими*, и что эффект усиливается, когда мы смотрим через трубку, исключающую всю постороннюю обстановку картины. Факт этот объясняли раньше совершенно ложно. „Мы видим одним глазом лучше, чем двумя, — говорит Бекон[1], — потому что жизненные духи сосредоточиваются при этом в одном месте и действуют с большею силою".

В действительности же тут дело в том, что когда мы смотрим *обоими* глазами на картину в умеренном расстоянии, то принуждены признать ее плоской поверхностью; когда же мы смотрим только одним глазом, ум наш легче может поддаться впечатлению перспективы, света, теней и т. д. Отсюда, когда мы всматриваемся пристально, картина приобретает в скором времени рельефность и может даже достичь телесности реального ландшафта. Полнота иллюзии будет главным образом зависеть от верности, с которой воспроизведена на картине действительная проекция предметов на плоскости... Преимущество видения одним глазом зависит в этих случаях от того, что ум свободен истолковывать картину по своему произволу, когда ничто не заставляет его видеть в ней плоскую картину».

Уменьшенные снимки с больших картин дают нередко более полную иллюзию рельефности, нежели оригиналы. Вы поймете, отчего это происходит, если вспомните, что при уменьшении картины сокращается то обычно большое расстояние, с которого следует рассматривать изображение, поэтому снимок приобретает рельефность уже на близком расстоянии.

## Что такое стереоскоп?

Переходя от картин к объемным предметам, зададим себе вопрос: почему, собственно, предметы кажутся нам объемными, а не плоскими? На сетчатке нашего глаза изображение получается ведь плоское. Каким же образом происходит то, что предметы представляются нам не в виде плоской картины, а телами трех измерений?

---

[1] *Бекон (Бэкон) Роджер* (1214–1294) — английский монах-францисканец, философ и естествоиспытатель, первый ученый в современном смысле этого слова (*примеч. ред.*).

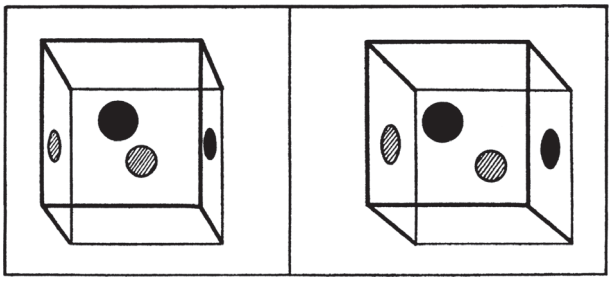


*Рис. 131. Стеклянный куб с пятнами, рассматриваемый левым и правым глазом.*

Здесь действуют несколько причин. Во-первых, различная степень освещения частей предметов позволяет нам судить об их форме. Во-вторых, играет роль напряжение, которое мы ощущаем, когда приспосабливаем глаза к ясному восприятию различно удаленных частей объемного предмета: все части плоской картины удалены от глаза одинаково, между тем как части пространственного объекта находятся на различном расстоянии, и, чтобы ясно различать их, глаз должен неодинаково «настраиваться». Но самую большую услугу оказывает нам то, что здесь изображения, получаемые в каждом глазу от одного и того же предмета, не одинаковы. В этом легко убедиться, если смотреть на какой-нибудь близкий предмет, попеременно закрывая то правый, то левый глаз. Правый и левый глаз видят предметы не одинаково; в каждом рисуется иная картина, — и это-то различие, истолковываемое нашим сознанием, дает нам впечатление рельефа (рис. 129 и 131).

Теперь представьте себе два рисунка одного и того же предмета: первый изображает предмет, каким он кажется левому глазу, второй — правому. Если смотреть на эти изображения так, чтобы каждый глаз видел только «свой» рисунок, то вместо двух плоских картин мы увидим один выпуклый, рельефный предмет — даже более рельефный, чем объемные предметы, видимые *одним* глазом. Рассматривают такие парные рисунки при помощи особого прибора — стереоскопа. Слияние обоих изображений достигалось в прежних стереоскопах при помощи зеркал, а в новейших — с помощью стеклянных выпуклых призм: они преломляют лучи так, что при мысленном их продолжении оба изображения (слегка увеличенные благодаря выпуклости призм) покрывают одно другое. Идея стереоскопа, как видим, необычайно проста, — но тем поразительнее действие, достигаемое столь простыми средствами.

Большинству читателей, без сомнения, случалось видеть стереоскопические фотографии различных сцен и ландшафтов. Иные, быть может, рассматривали в стереоскоп и чертежи фигур, изготовленные с целью облегчить изучение стереометрии и математической географии. В дальнейшем мы не будем говорить об этих более или менее общеизвестных применениях стереоскопа, а остановимся лишь на тех, с которыми многие читатели, вероятно, незнакомы.

## Наш естественный стереоскоп

При рассматривании стереоскопических изображений можно обойтись и без какого-либо прибора: надо лишь приучить себя соответствующим образом направлять глаза. Результат получается такой же, как и при помощи стереоскопа, с той лишь разницей, что изображение при этом не увеличивается. Изобретатель стереоскопа Уитстон первоначально пользовался именно этим естественным приемом.

Я прилагаю здесь целую серию стереоскопических рисунков постепенно возрастающей сложности, которые советую попытаться рассматривать непосредственно, без стереоскопа. (Рисунки заимствованы из статьи, опубликованной известным английским инженером Льюисом Бренаном, изобретателем однорельсовой гироскопической железной дороги.) Успех достигается лишь после ряда упражнений[1].

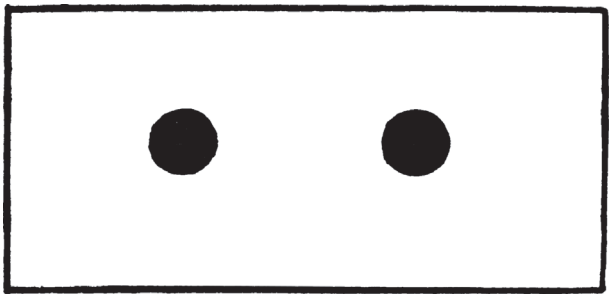


*Рис. 132. Несколько секунд не сводите глаз с промежутка между пятнышками — оба черных пятна сольются в одно.*

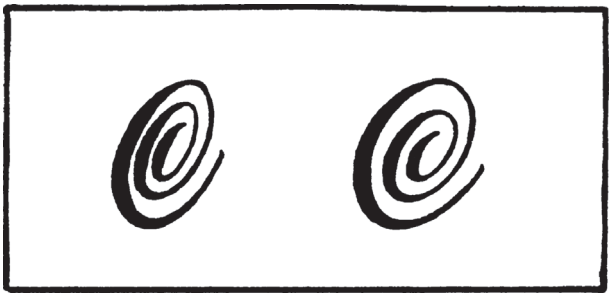


*Рис. 133. Повторите то же с этой парой рисунков. Добившись слияния, перейдите к следующему упражнению.*

[1] Надо заметить, что уменье видеть стереоскопически — даже и в стереоскоп — дается не всем людям: некоторые (например, косоглазые или привыкшие работать только одним глазом) совершенно неспособны к нему; другим оно дается после продолжительного упражнения; наконец, третьи, преимущественно молодые люди, научаются этому очень быстро — в четверть часа.

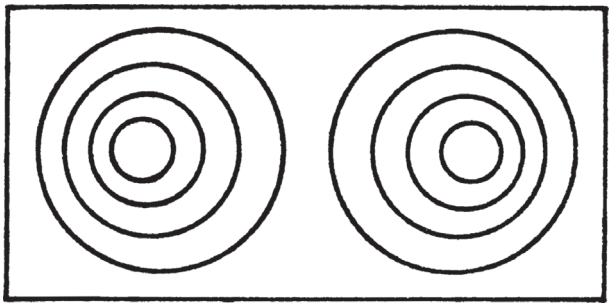


*Рис. 134. Когда эти изображения сольются,*
*вы увидите перед собой словно внутренность трубы, уходящей вдаль.*

Начните с рисунка 132 — пары черных точек. Держите их перед глазами и в течение нескольких секунд не сводите взгляда с промежутка между пятнышками; при этом сделайте такое усилие, словно бы желали рассмотреть предмет, расположенный далее, позади рисунка. Вы увидите скоро уже не два, а четыре пятна, — кружки раздвоятся. Но затем крайние точки отплывут далеко, а внутренние сблизятся и сольются. Если вы повторите то же с рис. 133 и 134, то в последнем случае в момент слияния увидите перед собой словно внутренность длинной трубы, уходящей вдаль.

Добившись этого, можете перейти к рис. 135, — здесь вы должны увидеть висящие в воздухе геометрические тела. Рис. 136 представит вам длинный коридор каменного здания или туннель, а на рис. 137 вы можете восхищаться иллюзией прозрачного стекла в аквариуме. Наконец, на рис. 138 перед нами уже целая картина — морской пейзаж.

Научиться такому непосредственному рассматриванию парных изображений сравнительно нетрудно. Многие из моих знакомых овладевали этим искусством в короткий срок, после небольшого числа проб. Близорукие и дальнозоркие, носящие очки, могут не снимать их, а смотреть на изображения так,

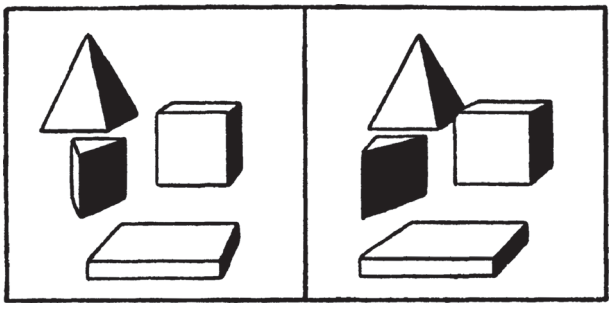


*Рис. 135. Эти четыре геометрические тела при слиянии изображений*
*кажутся словно парящими в пространстве.*

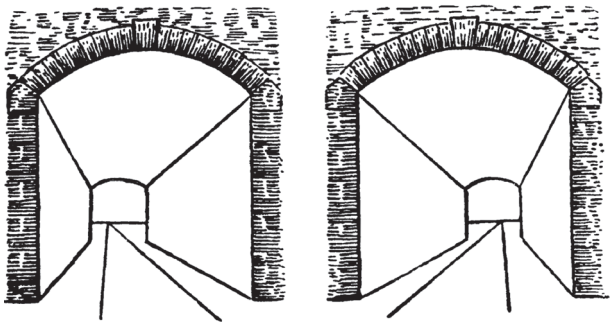


*Рис. 136. Длинный, уходящий вдаль коридор.*

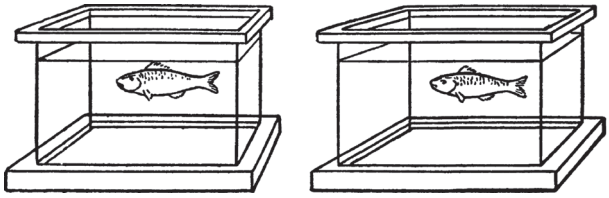


*Рис. 137. Рыбка в аквариуме.*

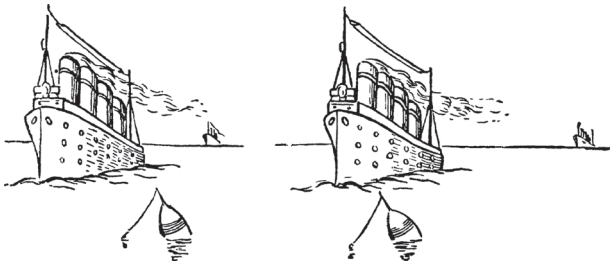


*Рис. 138. Стереоскопический ландшафт моря.*

как рассматривают всякую картину. Попробуйте придвигать или отодвигать от глаз рисунки, пока не уловите надлежащего расстояния. Во всяком случае нужно проделывать опыты при хорошем освещении — это сильно способствует успеху.

Научившись рассматривать без стереоскопа воспроизведенные здесь рисунки, можете воспользоваться приобретенным навыком для рассматривания вообще стереоскопических фотографий, обходясь без специального прибора. Те стереоскопические снимки, которые напечатаны на с. 187, 193, тоже можно попытаться рассматривать простым глазом.

*Что видно при рассматривании невооруженным глазом.*

*Что видно в стереоскопе.*

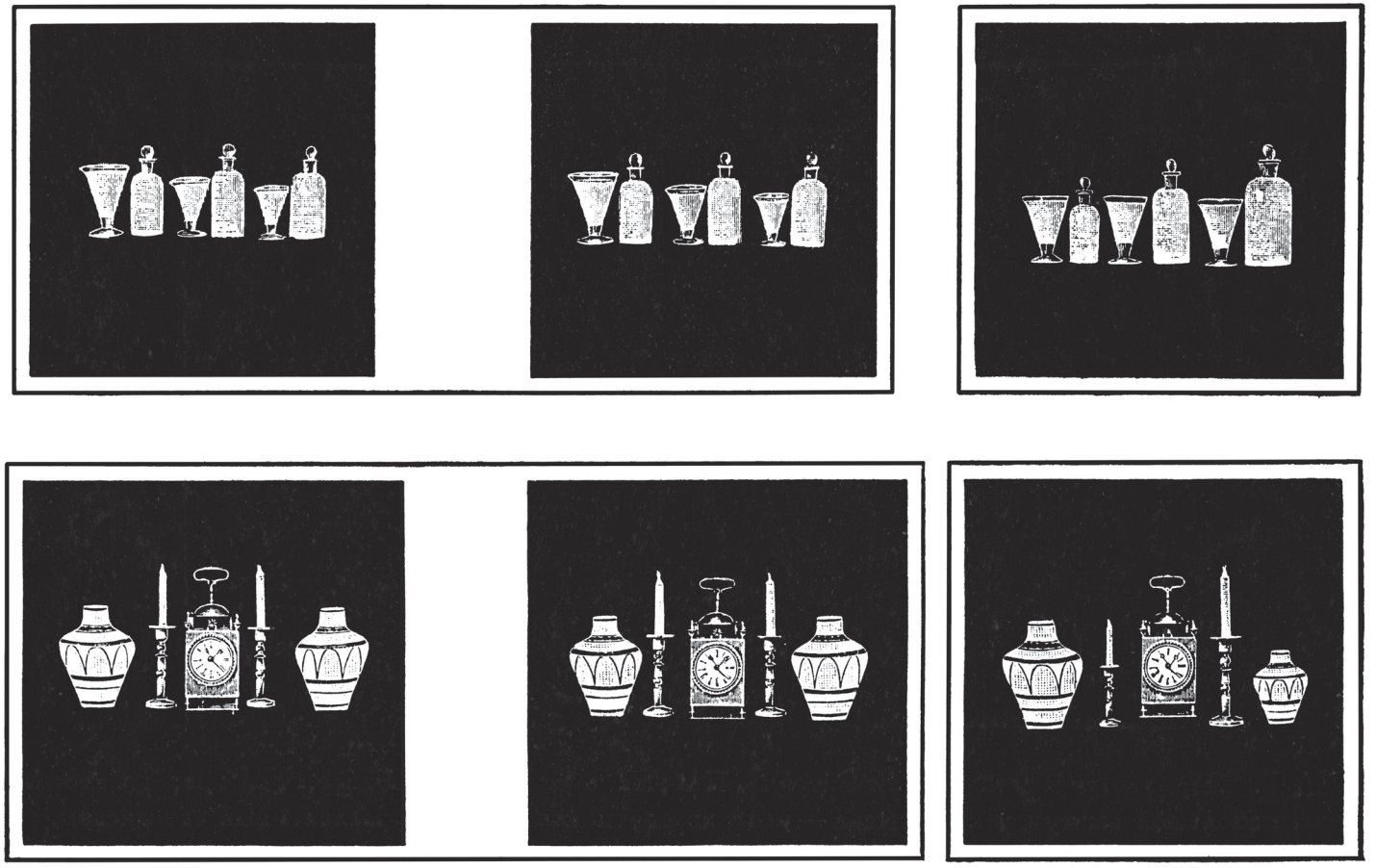


*Таблица I.*
*(См. объяснение на с. 188.)*

Не надо только чрезмерно увлекаться этим упражнением, чтобы не утомить глаз.

Если вам не удастся приобрести способности управлять своими глазами, вы можете, за неимением стереоскопа, пользоваться стеклами очков для дальнозорких; надо подклеить их под отверстия в картоне так, чтобы вы смотрели только через внутренние края стекол; между рисунками следует поместить какую-нибудь перегородку. Этот упрощенный стереоскоп вполне достигает цели.

### Одним и двумя глазами

В таблице I на с. 187 воспроизведены фотографии, изображающие три аптечных склянки как будто одинаковых размеров. Как бы внимательно вы ни рассматривали эти изображения, вы не обнаружите между склянками никакой разницы в величине. А между тем разница существует, и весьма значительная. Склянки кажутся равными только потому, что находятся не на одинаковом расстоянии от глаза или от фотографического аппарата: крупная банка удалена больше, чем мелкие. Но какие именно из трех изображенных банок ближе, какие дальше? Этого невозможно определить простым рассматриванием изображений.

Задача, однако, легко решается, если обратиться к услугам стереоскопа или к помощи того стереоскопического зрения без аппарата, о котором сейчас говорилось. Тогда вы отчетливо увидите, что из трех склянок крайняя левая значительно дальше средней, которая в свою очередь дальше правой. Истинное соотношение размеров склянок показано на особом рисунке, справа таблицы.

Еще более поразительный случай имеем мы в таблице I внизу. Вы видите на ней воспроизведение фотографий ваз, свечей и часов, причем обе вазы и обе свечи кажутся совершенно одинаковых размеров. В действительности же между ними огромная разница в размерах; левая ваза чуть не вдвое выше правой, а левая свеча гораздо ниже часов и правой свечи. При стереоскопическом рассматривании тех же снимков сразу обнаружится причина метаморфозы: предметы не выстроены в одну шеренгу, а размещены на различных расстояниях — крупные дальше, мелкие — ближе.

Преимущество стереоскопического «двуглазого» зрения перед «одноглазым» выступает здесь с непререкаемой убедительностью.

### Простой способ разоблачать подделки

Имеются два совершенно одинаковых рисунка, например два равных черных квадрата. Рассматривая их в стереоскоп, мы увидим один квадрат, ничем не отличающийся от каждого из двух в отдельности. Если в центре каждого квадрата имеется белая точка, то и она, конечно, окажется на квадрате, видимом в стереоскопе. Но стоит эту точку на одном квадрате немного сдвинуть

в сторону от центра, чтобы получился довольно неожиданный эффект: в стереоскоп по-прежнему будет видна одна точка, но не на самом поле квадрата, а *впереди или позади* него! Достаточно ничтожной разницы в обеих картинах, чтобы вызвать с помощью стереоскопа впечатление глубины.

Это дает простой способ открывать подделки банковых билетов и документов. Стоит поместить в стереоскоп подозреваемый банкнот рядом с подлинным, чтобы обнаружить подделку, как бы искусна она ни была: ничтожное различие в одной букве, в одном штрихе сразу бросится в глаза, так как буква эта или штрих будет казаться впереди или позади остального фона[1].

## Зрение великанов

Когда предмет находится очень далеко от нас — далее 450 м, — то расстояние между нашими глазами не может уже влиять на различие зрительных впечатлений. Далекие здания, отдаленные горы, ландшафты кажутся нам поэтому плоскими. По той же причине и светила неба кажутся все на одном расстоянии, хотя Луна гораздо ближе, чем планеты, а последние неизмеримо ближе, чем неподвижные звезды.

Вообще, для всех предметов, которые дальше 450 м, мы совершенно утрачиваем способность непосредственно воспринимать рельеф; они кажутся правому и левому глазу одинаковыми, так как те 6 см, которые отделяют зрачки глаз друг от друга, — слишком ничтожное расстояние по сравнению с 450 м. Понятно, что и стереоскопические фотографии, полученные при таких условиях, совершенно тождественны и не могут давать в стереоскопе иллюзии рельефа.

Но делу легко помочь: нужно сфотографировать далекие объекты с двух таких точек, взаимное удаление которых больше, нежели нормальное расстояние между глазами. Рассматривая подобные фотографии в стереоскоп, мы увидим ландшафт таким, каким видели бы его, если бы расстояние между нашими глазами значительно превышало обычное. В этом секрет получения стереоскопических снимков ландшафтов. Обыкновенно их рассматривают через увеличительные призмы (с выпуклыми боками), так что подобные рельефные стереоснимки нередко рисуются нам в натуральную величину: эффект получается поразительный.

---

[1] Мысль эта, впервые высказанная в середине XIX века Дове, применима не ко всем денежным знакам нашего времени. Технические условия их печатания таковы, что получающиеся оттиски не дают в стереоскопе впечатления плоского изображения, даже если оба дензнака подлинные. Зато прием Дове вполне пригоден для различения двух оттисков одного и того же книжного набора от оттиска, сделанного с заново набранного шрифта.

[*Дове Генрих Вильгельм* (1803–1879) — немецкий физик и метеоролог; его работа «Применение стереоскопа, чтобы отличать подделки от подлинных бумажных денег» была опубликована в 1859 г. (*примеч. ред.*).]

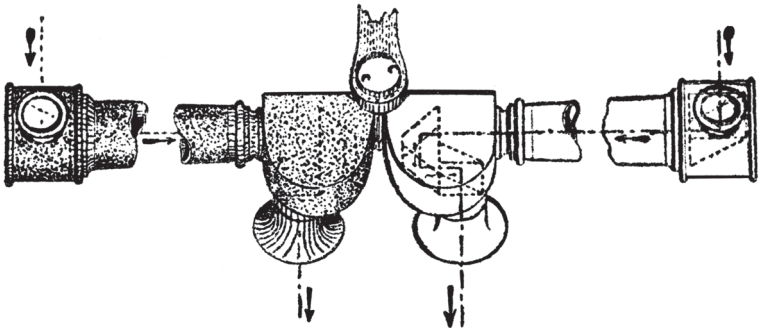


*Рис. 139. Стереоскопическая зрительная труба.*

Читатель, вероятно, догадался, что мыслимо устроить систему двух зрительных труб, через которые можно видеть рельеф данного ландшафта прямо в натуре, а не на фотографии. Такие приборы — *стереотрубы* — действительно существуют: две трубы отделены в них расстоянием бóльшим, нежели нормальное расстояние глаз, и оба изображения попадают в глаза посредством призм, преломляющих лучи (рис. 139). Трудно описать ощущения, которые испытываешь, когда смотришь в подобные инструменты, — до того они необычайны! Вся природа преображается. Далекие горы становятся рельефными,

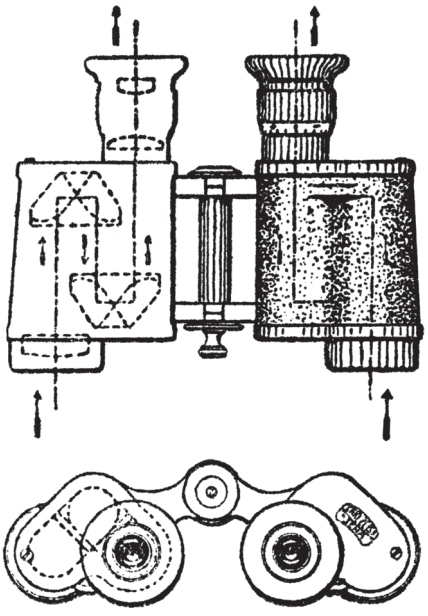


*Рис. 140. Призменный бинокль.*

деревья, скалы, здания, корабли на море — все круглится, все выпукло, расставлено на бесконечном просторе, а не лежит на плоском экране. Вы непосредственно видите, как движется далекое судно, которое в обыкновенные трубы кажется неподвижным. В таком именно виде должны были бы представляться наши земные ландшафты сказочным великанам.

Если увеличение труб 10-кратное, а расстояние между объективами в 6 раз превышает нормальное расстояние между зрачками (т. е. равно 6,5 × 6 = 39 см), то воспринимаемое изображение в 6 × 10 = 60 раз пластичнее, чем при рассматривании невооруженными глазами. Это сказывается в том, что даже предметы, удаленные на 25 км, обнаруживают еще заметную рельефность.

Для землемеров, моряков, артиллеристов, путешественников подобные зрительные трубы положительно незаменимы, особенно если снабжены шкалой, при помощи которой можно измерять расстояния (*стереоскопические дальномеры*)[1].

### Вселенная в стереоскопе

Но если направим стереотрубу на Луну или на какое-нибудь другое небесное тело, мы никакого рельефа не заметим. Этого и следовало ожидать, так как небесные расстояния чересчур велики даже для стереотруб. Что значат те 30–50 см, которые отделяют друг от друга объективы прибора, по сравнению с расстоянием от Земли до планет? Если бы возможно было соорудить прибор с расстоянием между трубами даже в десятки и сотни километров, он и тогда не дал бы никакого эффекта при наблюдении планет, удаленных от нас на десятки *миллионов* километров.

Здесь опять приходит на помощь стереоскопическая фотография. Предположим, мы сфотографировали какую-нибудь планету вчера и затем вторично — сегодня; обе фотографии будут сняты с одного пункта Земли, но с разных точек Солнечной системы, так как за сутки Земля успела передвинуться на орбите почти на три миллиона километров. Снимки, разумеется, не будут тождественны. И если такие снимки вы поместите в стереоскоп, то увидите уже не плоское, а рельефное изображение.

Мы можем, следовательно, пользуясь движением Земли по ее орбите, получать снимки небесных тел с двух весьма отдаленных точек; снимки эти будут стереоскопическими. Представьте себе великана с такой гигантской головой, что расстояние между его глазами измеряется миллионами километров, и вы поймете, каких необычайных результатов достигают астрономы с помощью небесной стереофотографии.

---

[1] Призменный бинокль Цейса тоже дает этот эффект, так как взаимное расстояние его объективов более, чем нормальное расстояние между нашими глазами (рис. 140). В театральных биноклях, наоборот, расстояние между объективами уменьшено — для ослабления рельефа (чтобы кулисы не казались плоскими и расставленными).

Воспроизведения некоторых из этих поистине чудесных снимков включены в книгу в виде отдельных таблиц (с. 193). Читатели могут вырезать их и рассматривать в стереоскоп, — небесные объекты предстанут перед ними в совершенно новом виде. Ни в какой телескоп нельзя наблюдать этого рельефа, испытать непосредственное ощущение телесности и пространственности.

Дадим несколько пояснений к снимкам. Таблица II изображает планету Сатурн на фоне звездного неба; планета была снята в созвездии Змееносца 9 и 10 июня 1899 г. (Вольфом в Гейдельберге), причем расстояние между точками, с которых производились снимки, превышало 1½ миллиона километров. Так далеко раздвигает небесный стереоскоп наши глаза! И мы видим, как планета отделяется от заднего плана звездной картины, пластично рисуясь в пространстве.

Иным способом получен стереоснимок, воспроизведенный в таблице III: снимок Луны (Леви и Пюизё, в Париже). Луна обращается вокруг Земли, показывая нам все время одну и ту же сторону своей поверхности; наше перемещение в пространстве не меняет ничего в виде Луны, потому что она увлекается вместе с нами. Но астрономы остроумно использовали те легкие покачивания Луны, которые носят название «либраций» и которые дают возможность сфотографировать Луну так, словно бы она рассматривалась с двух весьма отдаленных друг от друга точек пространства[1].

Прилагаемые два снимка отвечают взаимному расстоянию точек зрения почти в 100 000 км. Рассматривая их в стереоскоп, мы видим Луну такою, какою видел бы ее исполин с расстоянием между глазами в 100 000 км! Изображение явно круглится; кажется, словно волшебный резец исполина-ваятеля оживил плоские, безжизненные глыбы. Рельеф так отчетлив, что удалось даже *измерить* высоту лунных гор с помощью этих фотографий.

Стереоскопом пользуются в настоящее время, чтобы открывать новые планеты — именно те малые планетки (*астероиды*), которые во множестве кружатся между орбитами Марса и Юпитера. Еще недавно разыскание их было делом счастливого случая. Теперь же достаточно стереоскопически сравнить две фотографии данного участка неба, полученные в разное время; стереоскоп сразу выделит астероид, если он имеется на взятой пробе, так как он будет выступать из общего фона.

Стереоскопом улавливается не только различие в *положении* точек, но и различие в их *яркости*. Это дает астроному удобный способ находить так называемые *переменные* звезды, периодически меняющие свой блеск. Если на двух снимках неба какая-нибудь звезда вышла неодинаково ярко, то стереоскоп сразу же укажет астроному эту изменившую свой блеск звезду.

Наконец удалось получить и стереофотографию туманностей (Андромеды, Ориона); для таких снимков Солнечная система чересчур мала, и астрономы воспользовались перемещением нашей системы среди звезд: благодаря этому

[1] Подробнее об этом см. в «Занимательной астрономии».

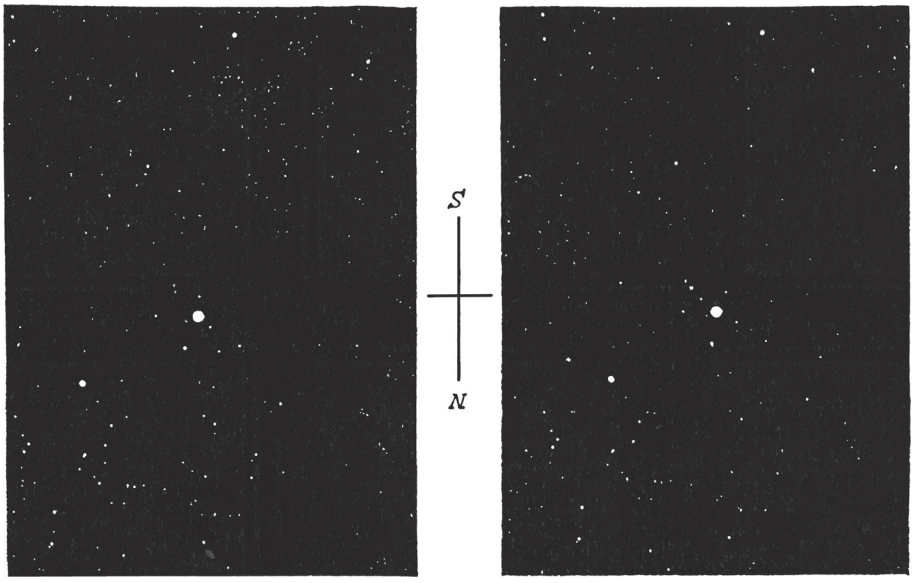



*Таблица II. Стереоскопический снимок Сатурна.*
*Планета кажется свободно висящей впереди звездного фона; небольшой выступ у края диска — один из спутников Сатурна, заслоненный его диском.*
*(См. объяснение на с. 192.)*

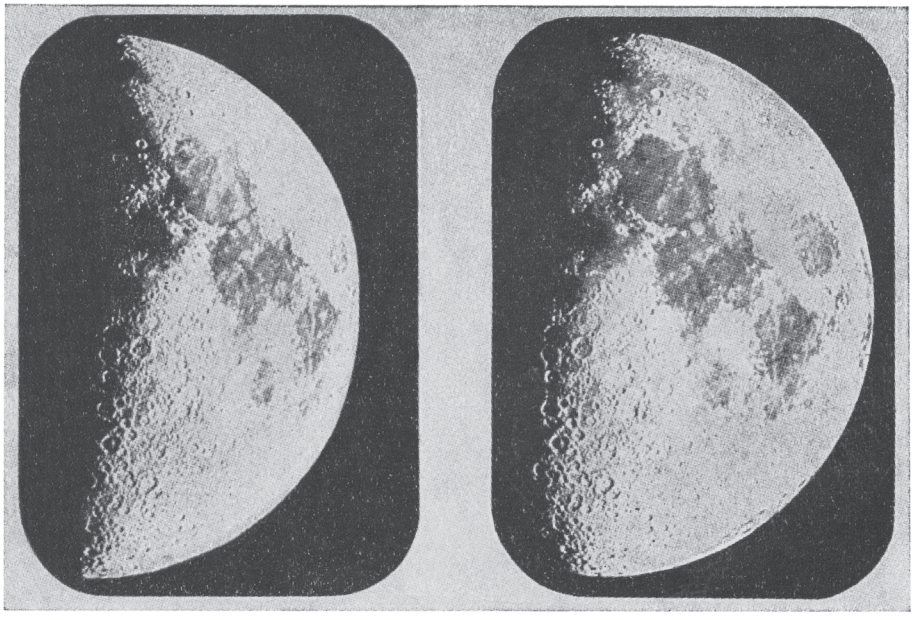


*Таблица III. Стереоскопические фотографии Луны.*
*(См. объяснение на с. 192.)*

движению в мировом пространстве мы постоянно видим звездную вселенную все с новых и новых точек зрения, и по истечении достаточного промежутка времени это различие может сделаться заметным даже для фотографического аппарата. И тогда мы получаем возможность, сделав два снимка, отделенные долгим промежутком времени, рассматривать их в стереоскоп.

## Зрение тремя глазами

Не думайте, что третий глаз здесь такая же обмолвка, как третье ухо в устах взволнованного Ивана Игнатьевича из «Капитанской дочки»: «Он вас в рыло, а вы его в ухо, в другое, в *третье* — и разойдитесь». У нас речь в самом деле пойдет о том, чтобы видеть тремя глазами.

Видеть *тремя* глазами? Возможно разве приставить себе третий глаз!

Представьте, мы будем говорить именно о таком зрении. Наука не в силах дать человеку третий глаз, но в ее власти дать возможность видеть предмет таким, каким он должен был бы представляться существу с тремя глазами.

Начнем с того, что человеку, лишившемуся одного глаза, вполне возможно рассматривать стереоскопические фотографии и получать от них то впечатление рельефности, которого воспринимать непосредственно он не может. Для этого нужно проектировать на экран, быстро сменяя один другим, снимки, предназначенные для правого и левого глаза: то, что человек с двумя глазами рассматривает одновременно, одноглазый будет видеть здесь последовательно, в быстрой смене. Но результат получится один и тот же, потому что весьма быстро сменяющиеся зрительные впечатления так же сливаются в один образ, как и одновременные[1].

Но если так, то человеку с *двумя* глазами возможно одновременно видеть: одним глазом — две быстро сменяющиеся фотографии, а другим — еще одну фотографию, снятую с третьей точки зрения.

Иными словами, с одного предмета делаются три снимка, отвечающие трем различным точкам, как бы трем глазам. Затем два из этих снимков заставляют, быстро чередуясь, действовать на один глаз наблюдателя: при быстром чередовании их впечатления сливаются в один сложный *рельефный* образ. К этому образу присоединяется еще третье впечатление — от другого глаза, который смотрит на третий снимок.

При таких условиях мы хотя и смотрим только двумя глазами, но впечатление получаем совершенно такое же, как если бы смотрели тремя глазами. Рельефность при этом достигает высшей степени.

[1] Возможно, что замечаемая иногда удивительная рельефность кинематографических картин объясняется, помимо указанных ранее причин, еще отчасти и тем эффектом, о котором сейчас говорится: если аппарат, производивший съемку, мерно покачивался при этом (как часто бывает вследствие работы механизма, движущего ленту), то снимки получались нетождественные; при быстрой же смене этих снимков на экране они сливаются в нашем сознании в рельефный образ.

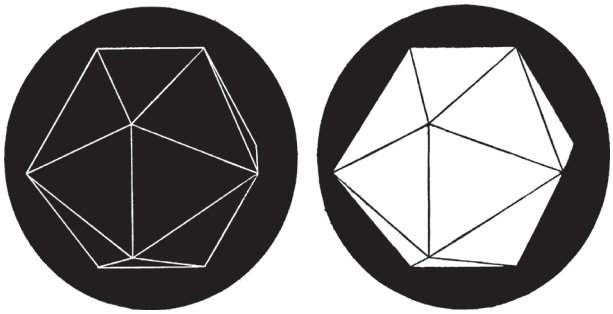


*Рис. 141. Стереоскопический блеск. — Сливаясь при рассматривании в стереоскоп, эти рисунки дают изображение блестящего кристалла на черном фоне.*

### Что такое блеск?

Стереофотография, воспроизведенная на рис. 141, изображает многогранники: один — черным по белому, другой — белым по черному. Что мы увидели бы, если бы взглянули на эти рисунки в стереоскоп? Трудно предугадать. Послушаем Гельмгольца[1]:

«Когда на одной стереоскопической картинке какая-нибудь плоскость изображена белой, на другой — черной, то в соединенном изображении она кажется *блестящей*, даже когда для рисунка взята совершенно матовая бумага. Стереоскопические чертежи моделей кристаллов (так выполненные) производят впечатление, как будто модель кристалла сделана из блестящего графита. Еще лучше выходит, благодаря этому приему, на стереоскопических фотографиях блеск воды, листьев и т. п.».

В старой, но далеко еще не устаревшей книге нашего великого физиолога Сеченова «Физиология органов чувств. Зрение» (1867 г.) находим прекрасное объяснение этого явления. Вот оно:

«В опытах искусственного стереоскопического слияния различно освещенных или различно окрашенных поверхностей повторяются действительные условия видения блестящих тел. Чем отличается в самом деле матовая поверхность от блестящей (полированной)? Первая отражает свет рассеянно во все стороны, поэтому кажется глазу всегда одинаково освещенною, с какой бы стороны он ни смотрел на нее; полированная же поверхность отражает свет лишь в определенном направлении; поэтому возможны даже такие случаи, когда один глаз человека, смотрящего на такую поверхность, получает от нее много отраженных лучей, а другой почти нисколько (эти условия и соответствуют именно случаю стереоскопического слияния белой поверхности с черной); случаи же неравного распределения отраженного света между глазами

[1] *Гельмгольц Герман* (1821–1894) — немецкий физик, физиолог и психолог, автор ряда крупных открытий в физиологии (*примеч. ред.*).

наблюдателя (то есть случаи, когда в один глаз его попадает больше, чем в другой) при рассматривании блестящих полированных поверхностей, очевидно, неизбежны.

Читатель видит, таким образом, что стереоскопический блеск представляет доказательство в пользу мысли, что опыт играет первенствующую роль в акте телесного слияния образов. Борьба полей зрения тотчас уступает место прочному представлению, как только зрительному аппарату, воспитанному опытом, дается возможность отнести различия их к какому-нибудь знакомому случаю действительного видения».

Итак, причина того, что мы видим *блеск* (по крайней мере одна из причин), состоит в неодинаковой яркости изображений, получаемых правым и левым глазом. Без стереоскопа эта причина едва ли могла бы нам открыться.

### Зрение при быстром движении

Ранее мы говорили, что различные изображения одного и того же предмета, сливаясь в нашем глазу при быстром чередовании, создают зрительное впечатление рельефности.

Возникает вопрос: будет ли это только тогда, когда подвижные изображения воспринимаются неподвижным глазом, или то же будет наблюдаться и в равносильном случае: когда неподвижные изображения воспринимаются быстро перемещающимся глазом? Оказывается, как и следовало ожидать, что стереоскопический эффект получается и в таком случае. Вероятно, многим читателям случалось замечать, что кинематографические картины, снятые с быстро движущегося поезда, обнаруживают необыкновенную рельефность, не уступающую той, какая достигается в стереоскопе. Мы и непосредственно можем убедиться в этом при внимательном отношении к тем зрительным впечатлениям, которые воспринимаем при быстрой езде в вагоне или в автомобиле: ландшафты, так наблюдаемые, отличаются стереоскопичностью, отчетливым отделением переднего плана от заднего. Ощущение *глубины* заметно возрастает, простирается вдаль больше тех 450 м, которые являются пределом стереоскопического зрения для неподвижного глаза.

Не в этом ли кроется причина приятного впечатления, которое производит на нас ландшафт, рассматриваемый из окна быстро мчащегося вагона? Даль уходит назад, и мы отчетливо различаем огромность расстилающейся кругом картины природы. Когда на быстром автомобиле мы проезжаем через лес, то — по той же причине — каждое дерево, ветка, листок воспринимаются нами отчетливо отграниченными в пространстве, заметно отделяясь друг от друга, а не сливаясь в одно целое, как для наблюдателя неподвижного. А при быстрой езде по дороге в горной стране — весь рельеф почвы воспринимается непосредственно глазом, горы и долины ощущаются с осязательной пластичностью. Все это доступно и одноглазым людям, для которых описываемые ощущения являются совершенно новыми, неизведанными. Мы уже отмечали, что для рельефного видения вовсе не необходимо, как обычно думают,

одновременное восприятие разных картин непременно *двумя* глазами: стереоскопическое зрение осуществляется и одним глазом, если разные картины сливаются при достаточно быстрой смене[1].

Нет ничего легче, как проверить сказанное: для этого потребуется лишь немного внимания к тому, что мы воспринимаем, сидя в вагоне поезда или в автобусе. При этом вы заметите, быть может, и другое поразительное явление, о котором писал еще Дове сто лет назад[2] (поистине, ново то, что хорошо забыто!): мелькающие мимо окна близкие предметы кажутся *уменьшенными*. Факт этот объясняется причиной, имеющей мало общего со стереоскопическим зрением, — а именно тем, что, видя столь быстро движущиеся предметы, мы ошибочно заключаем об их близости; если же предмет ближе к нам, — как бы бессознательно рассуждаем мы, — то он должен быть в натуре мельче обычного, чтобы казаться такой же величины, как всегда. Это объяснение принадлежит Гельмгольцу.

### Окрашенные тени

Теперь, когда «лампочка Ильича»[3] заблистала во многих углах нашего Союза, уже не так часто можно наблюдать интересное физическое явление, поразившее меня в детстве. Для этого нужно наличие двух источников света: полной луны и *керосиновой* лампы. При таких именно условиях случилось мне заметить на земле, близ освещенного лампой окна, две тени, отбрасываемые моим телом, — одну голубого цвета, другую — красновато-желтого.

Нетрудно установить происхождение окраски этих теней. Красно-желтая отбрасывается луной и освещается керосиновой лампой. Голубая же отбрасывается лампой и освещается луной; она кажется голубой по контрасту — потому что лежит рядом с красновато-желтой.

### Сквозь цветные очки

Если вы станете смотреть через красное стекло на надпись, сделанную *красным по белому*, то увидите ровный красный фон, — и только. Никаких следов надписи вы не заметите, так как красные буквы сливаются с красным же фоном. Глядя через то же стекло на надпись, сделанную *голубым по белому*,

---

[1] Этим объясняется заметная стереоскопичность кинематографических картин, если они засняты с поезда, огибающего кривую, причем снимаемые предметы лежали в направлении радиуса кривой. «Железнодорожный эффект», который мы здесь имеем в виду, хорошо известен кинооператорам.

[2] Т. е. в середине XIX в. (*примеч. ред.*).

[3] Так в 1920–30-е гг. патетически называли первые бытовые лампы накаливания, поступавшие в самые глухие уголки Советского Союза в рамках плана ГОЭЛРО (ГОсударственной ЭЛектрификации РОссии), инициированного В. И. Лениным (*примеч. ред.*).

вы отчетливо увидите *черные* буквы на красном фоне. Почему черные — легко понять: красное стекло не пропускает голубых лучей (оттого оно и красно, что пропускает только красные лучи); следовательно, на месте голубых букв вы должны увидеть отсутствие света, — т. е. черные литеры.

На этом свойстве цветных стекол основано действие так называемых *анаглифов* — картин, напечатанных особым образом и дающих тот же эффект, что и стереоскопические фотографии. В анаглифах оба изображения, соответствующие правому и левому глазу, печатаются *одно на другом*, но разными красками: голубой и красной.

Чтобы увидеть вместо двух цветных одно черное, но рельефное изображение, достаточно смотреть на них через цветные очки. Правый глаз через *красное стекло* видит только *голубой* отпечаток, — т. е. именно тот, который отвечает правому глазу (причем он представляется глазу не цветным, а черным). Левый глаз через *голубое стекло* видит только соответствующий ему *красный* отпечаток. Каждый глаз видит лишь одно изображение — именно то, которое ему соответствует. Мы имеем здесь те же условия, что и в стереоскопе, и, следовательно, результат должен быть тот же: получается впечатление рельефа.

## «Чудеса теней»

На сейчас рассмотренном принципе основан и эффект тех «чудес теней», которые показываются нередко в кино.

«Чудеса теней» состоят в том, что отбрасываемые на экран тени движущихся фигур представляются зрителям (вооруженным двухцветными очками) в виде телесных образов, выпукло выступающих впереди экрана. Иллюзия достигается здесь использованием эффекта двухцветной стереоскопии. Предмет, тень которого желательно показать, помещается между экраном и двумя поставленными рядом источниками света — красным и зеленым. На экране получаются две окрашенные тени — красная и зеленая, частью покрывающие друг друга. Зрители смотрят на эти тени не непосредственно, а сквозь очки с плоскими стеклами — красным и зеленым.

Сейчас было объяснено, что при таких условиях порождается иллюзия телесного образа, выступающего впереди экранной плоскости. Иллюзии, достигаемые «чудесами теней», чрезвычайно забавны: порою кажется, что брошенный предмет летит прямо в зрителя; какой-нибудь исполинский паук шагает по воздуху в публику, заставляя ее невольно вскрикивать и отворачиваться. Аппаратура здесь крайне проста; она понятна из приложенной схемы, где *Зл* и *Кр* означают зеленую и красную лампы (слева), $P$ и $Q$ — предметы, помещенные между лампами и экраном; $p$ и $q$ со значками *зл* и *кр* — окрашенные тени этих предметов на экране, $P_1$ и $Q_1$ — места, в которых видит эти предметы зритель, смотрящий через окрашенные пленки — зеленую (*Зл*) и красную (*Кр*). Когда бутафорский «паук» за экраном переносится из $Q$ в $P$, зрителю кажется, что он перебегает из $Q_1$ в $P_1$.

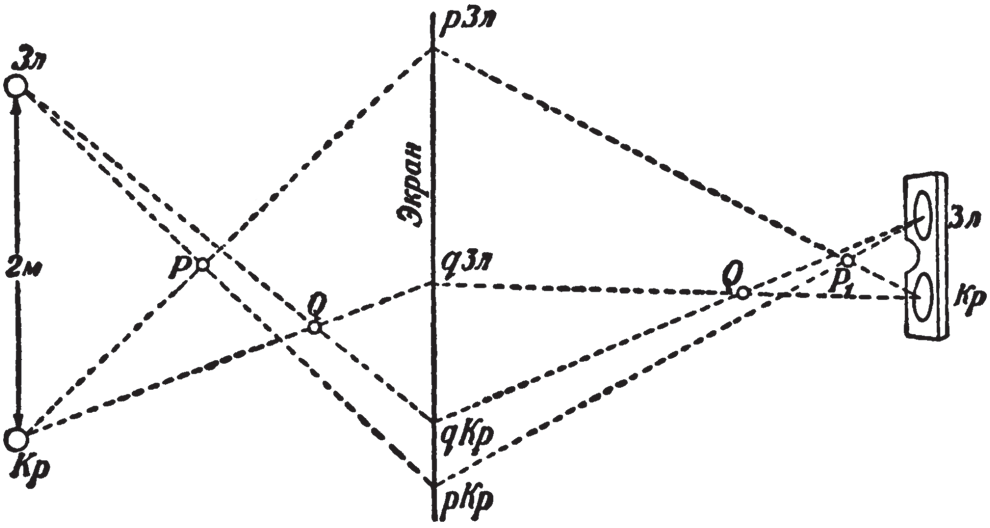



*Рис. 142. Секрет «чудес теней».*

Вообще, приближение предмета за экраном к источнику света, обусловливая увеличение тени на экране, создает иллюзию надвигания предмета от экрана на зрителя. Все, что зрителям кажется летящим на них с экрана, движется на самом деле в обратном направлении — от экрана назад к источнику света.

На том же принципе можно было бы устроить и стереоскопический кинематограф; вследствие встречающихся здесь технических трудностей идея эта получает осуществление только в наши дни[1].

### Неожиданные превращения окраски

Здесь уместно рассказать о серии опытов, очень нравившихся посетителям «Павильона занимательной науки» в Ленинградском ЦПКО на Кировских островах. Один из уголков помещения обставлен как гостиная. Вы видите мебель в темно-оранжевых чехлах; стол, покрытый зеленой скатертью; на нем — графин с клюквенным морсом и цветы; полка уставлена книгами с цветными надписями на корешках. Сначала все это показывается при обычном белом электрическом освещении. Затем — поворотом выключателя — белое

[1] Вообще-то первый в России стереокинотеатр открылся в Санкт-Петербурге еще в марте 1911 г.; в СССР же опытная демонстрация стереофильма по безочковой системе была осуществлена в 1937 г., а регулярный показ стереофильмов начался в феврале 1941 г. (*примеч. ред.*).

освещение заменяется *красным*. Это порождает в гостиной неожиданную перемену: мебель становится розовой, зеленая скатерть превращается в темно-лиловую; морс делается бесцветным, как вода; цветы меняют окраску и кажутся совершенно другими; часть надписей на книжных корешках бесследно исчезает...

При новом повороте выключателя уголок заливается *зеленым* светом — и облик гостиной опять неузнаваемо изменяется.

Все эти занимательные метаморфозы хорошо иллюстрируют ньютоново учение об окраске тел. Сущность учения в том, что поверхность тела имеет всегда цвет не тех лучей, которые она поглощает, а тех, которые она рассеивает, т. е. отбрасывает в глаз наблюдателя. Знаменитый соотечественник Ньютона, английский физик Тиндаль[1] сформулировал это положение так:

«Когда мы освещаем предметы белым светом, то красный цвет образуется от поглощения зеленых лучей, а зеленый — от поглощения красных, между тем как остальные цвета в обоих случаях проявляются. Значит, тела приобретают свой цвет отрицательным способом: окраска — следствие не прибавления, а исключения».

Зеленая скатерть, следовательно, оттого зеленого цвета при белом освещении, что она способна рассеивать преимущественно лучи зеленые и примыкающие к ним в спектре; прочие лучи она рассеивает в незначительном количестве, бóльшую же их часть поглощает. Если же направить на такую скатерть смесь красных лучей с фиолетовыми, то скатерть будет рассеивать почти одни только фиолетовые, поглощая бóльшую часть красных. Глаз получит впечатление темно-лиловой окраски.

Примерно такова же причина и всех прочих цветовых метаморфоз в уголке гостиной. Загадочным представляется лишь обесцвечивание морса: почему красная жидкость при красном же освещении кажется бесцветной? Разгадка в том, что графин с морсом стоит на белой салфетке, разостланной на зеленой скатерти. Если снять графин с салфетки, сразу обнаруживается, что в красных лучах жидкость в графине не бесцветная, а красная. Бесцветной кажется она только рядом с салфеткой, которая в красном освещении делается красной, но которую мы по привычке и по контрасту с темной цветной скатертью *продолжаем считать белой*. А так как цвет жидкости в графине одинаков с цветом мнимо-белой салфетки, то мы невольно приписываем и морсу белый цвет; он становится в наших глазах уже не морсом, а бесцветной водою.

Опыты, подобные описанным, можно проделать и в упрощенной обстановке: достаточно, раздобыв цветные стекла, рассматривать сквозь них окружающие предметы. (Эффекты подобного наблюдения описаны в моей книге «Знаете ли вы физику?».)

---

[1] *Тиндаль Джон* (1820–1893) — английский физик, первооткрыватель оптического эффекта рассеивания света при прохождении светового пучка через оптически неоднородную среду, названного его именем (*примеч. ред.*).

## Высота книги

Предложите гостю указать пальцем на стене, какой высоты достигнет книга, которую он держит в руках, если поместить ее стоймя на полу. Когда он сделает это, поставьте в самом деле книгу на пол: окажется, что высота ее чуть не вдвое ниже указанной!

Особенно хорошо удается опыт, если спрошенный сам не нагибается для указания высоты, а лишь на словах объясняет вам, в каком месте стены надо сделать пометку. Разумеется, опыт можно проделывать не только с книгой, но и с лампой, шляпой и другими предметами, которые мы обычно привыкли видеть близ уровня наших глаз.

Причина ошибки кроется в том, что все предметы «сокращаются», когда мы смотрим вдоль них.

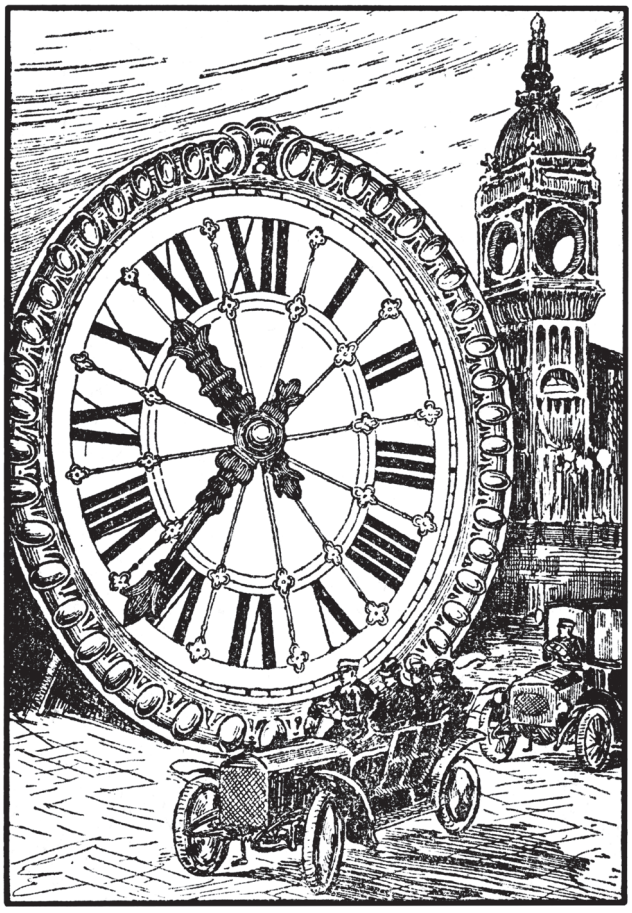


*Рис. 143. Размеры башенных часов Вестминстерского аббатства (в Лондоне) по сравнению с автомобилем.*

### Размеры башенных часов

Ту ошибку, которую сделал ваш гость при оценке высоты книги, делаем мы постоянно и при определении величины предметов, помещенных очень высоко. Особенно характерна ошибка, которую мы совершаем при определении размеров башенных часов. Мы знаем, конечно, что такие часы очень велики — и все же представление наше об их величине значительно уступает действительности. Прилагаемый рисунок 143 изображает циферблат знаменитых часов Вестминстерского аббатства в Лондоне, перенесенный на мостовую улицы.

Люди кажутся букашками в сравнении с ним. И, взглянув на рисующуюся вдали часовую башню, вы отказываетесь верить, что виднеющиеся на башне отверстия равны этим часам по размерам.

### Белое и черное

Взгляните *издали* на рис. 144 и скажите: сколько черных кружков могло бы поместиться в свободном промежутке между нижним кружком и одним из верхних кружков — четыре или пять? Скорее всего вы ответите, что четыре кружка уместятся свободно, но для пятого, пожалуй, места уже недостанет.

Когда же вам скажут, что в промежутке помещается ровно три кружка, не более, — вы не поверите. Возьмите же бумажку или циркуль и убедитесь, что вы неправы.

Эта странная иллюзия, в силу которой черные участки кажутся нашему глазу меньше, нежели белые такой же величины, носит название «иррадиации». Она зависит от несовершенства нашего глаза, который, как оптический аппарат, не вполне отвечает строгим требованиям оптики. Его преломляющие среды не дают на сетчатке тех резких контуров, которые получаются на матовом стекле хорошо наставленного фотографического аппарата: вследствие так называемой *сферической аберрации* каждый светлый контур окружается светлой каймой, которая увеличивает его размеры на сетчатой оболочке глаза. В итоге светлые участки всегда кажутся нам больше, чем равные им черные.

В своем «Учении о цветах» великий поэт Гёте, который был зорким наблюдателем природы (хотя и не всегда достаточно осмотрительным физиком-теоретиком), пишет об этом явлении так:

*Рис. 144. Пустой промежуток между нижним кружком и каждым из верхних кажется больше, нежели расстояние между наружными краями верхних кружков. В действительности же расстояния равны.*

«Темный предмет кажется меньше светлого той же величины. Если рассматривать одновременно белый круг на черном фоне и черный круг того же диаметра на белом фоне, то последний нам покажется примерно на ⅕ меньше первого. Если черный круг сделать соответственно больше, они покажутся равными. Молодой серп Луны кажется принадлежащим кругу большего диаметра, чем остальная темная часть Луны, которая иногда бывает при этом различима („пепельный свет" Луны. — *Я. П.*). В темном платье люди кажутся тоньше, чем в светлом. Источники света, видные из-за края, производят в нем кажущийся вырез. Линейка, из-за которой появляется пламя свечи, представляется с зарубкой в этом месте. Восходящее и заходящее солнце делает словно выемку в горизонте».

В этих наблюдениях все верно, кроме утверждения, будто белый кружок кажется больше равного черного всегда на одну и ту же долю. Прибавка зависит от расстояния, с какого кружки рассматриваются. Сейчас станет понятно, почему это так.

Отодвиньте рис. 144 от глаз подальше — иллюзия станет еще сильнее, еще поразительнее. Объясняется это тем, что ширина добавочной каймы всегда остается одинаковой; если поэтому на близком расстоянии она увеличивала ширину светлого участка всего на 10%, то на далеком расстоянии, когда само изображение уменьшится, та же добавка будет составлять уже не 10%, а, скажем, 30% или даже 50% его ширины. Указанной особенностью нашего глаза обычно объясняют также странное свойство рис. 145. Рассматривая его вблизи, вы видите множество белых кружков на черном поле. Но отодвиньте книгу подальше и взгляните на рисунок с расстояния 2–3 шагов, или, если у вас очень хорошее зрение, то с расстояния шагов 6–8; фигура заметно изменит свой вид: вы увидите на ней вместо кружков — белые шестиугольники, наподобие пчелиных ячеек.

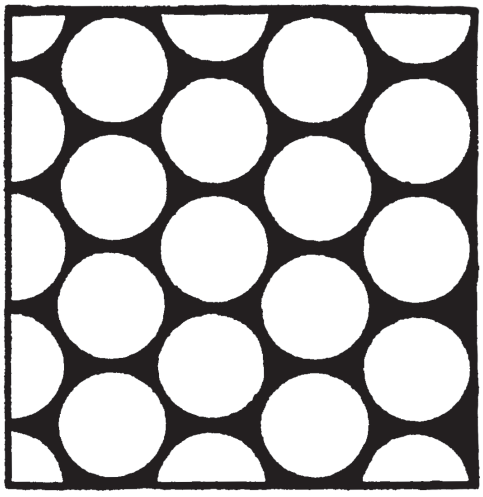


*Рис. 145. На некотором расстоянии кружки кажутся шестиугольниками.*

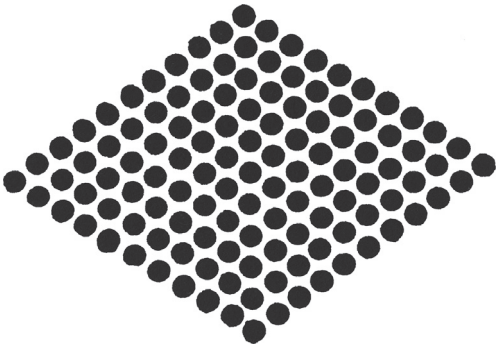


*Рис. 146. Черные кружки кажутся издали шестиугольными.*

Меня не вполне удовлетворяет объяснение этой иллюзии иррадиацией, с тех пор как я заметил, что *черные* кружки на белом фоне также кажутся издали шестиугольными (рис. 146), хотя иррадиация здесь не увеличивает, а *сокращает* кружки. Надо сказать, что вообще существующие объяснения зрительных иллюзий нельзя считать окончательными; большинство же иллюзий и вовсе не имеет еще объяснения[1].

### Какая буква чернее?

Рис. 147 дает вам возможность познакомиться с другим несовершенством нашего глаза — «астигматизмом». Если вы взглянете на него одним глазом, то из четырех букв этой надписи не все, вероятно, покажутся вам одинаково черными. Заметьте, какая буква всего чернее, и поверните рисунок боком. Произойдет неожиданная перемена: самая черная буква стает серой, и чернее всех прочих покажется теперь уже другая буква.

На самом же деле все четыре буквы одинаково черны, они только заштрихованы в различных направлениях. Если бы глаз был так же безупречно устроен, как дорогие стеклянные объективы, то направление штрихов не отражалось бы на черноте букв. Но глаз наш по различным направлениям не вполне одинаково преломляет лучи, а потому мы не можем сразу видеть одинаково отчетливо и вертикальные, и горизонтальные, и косые линии.

Редко у кого глаза совершенно свободны от этого недостатка, а у некоторых людей *астигматизм* достигает такой сильной степени, что заметно мешает зрению, понижая его остроту. Таким лицам приходится, чтобы ясно видеть, употреблять специальные очки.

У глаза есть и другие органические недостатки, которых при изготовлении оптических приборов мастера умеют избегать. Знаменитый Гельмгольц выразился по поводу этих недостатков так: «Если бы какой-нибудь оптик вздумал продать мне инструмент, обладающий такими недостатками, я счел бы себя вправе самым резким образом выразиться о небрежности его работы и возвратить ему его прибор с протестом».

*Рис. 147. Смотрите на эту надпись одним глазом.*
*Одна из букв представится вам более черной, нежели остальные.*

[1] Подробнее об этом см. мою книжечку «Обманы зрения» — альбом оптических иллюзий.

Но и кроме этих иллюзий, которые обусловлены известными недостатками строения, глаз наш поддается также целому ряду обманов, имеющих совершенно иные причины.

### Живые портреты

Всем, вероятно, приходилось видеть портреты, которые не только смотрят прямо на нас, но даже следят за нами глазами, обращая их в ту сторону, куда мы переходим. Эта любопытная особенность таких портретов издавна подмечена и всегда казалась многим загадочной; нервных людей она положительно пугает. У Гоголя в «Портрете» прекрасно описан подобный случай:

«Глаза... вперились в него и, казалось, не хотели ни на что другое глядеть, как только на него... Портрет... глядит мимо всего, что ни есть вокруг, прямо в него, — глядит просто к нему вовнутрь...»

Немало суеверных легенд связано с этой таинственной особенностью глаз на портретах (вспомните тот же «Портрет»), а между тем разгадка ее сводится к простому обману зрения.

*Рис. 148. Загадочный портрет.*

Все объясняется тем, что зрачок на этих портретах помещен в *середине* глаз. Именно такими мы видим глаза человека, который смотрит прямо на нас; когда же он смотрит в сторону, мимо нас, то зрачок и вся радужная оболочка кажутся нам находящимися не посредине глаза, но несколько перемещенными к краю. Когда мы отходим в сторону от портрета, зрачки, разумеется, своего положения не меняют — остаются посредине глаза. А так как, кроме того, и все лицо мы продолжаем видеть в прежнем положении по отношению к нам, то нам, естественно, кажется, будто портрет повернул голову в нашу сторону и следит за нами.

Таким же образом объясняются и другие озадачивающие особенности некоторых картин: лошадь едет прямо на нас, куда бы мы ни отходили от картины, человек указывает на нас: его протянутая вперед рука направлена прямо к нам, и т. п. Образчик подобной картины вы видите на рис. 148. Такого рода плакатами нередко пользуются для агитационных или рекламных целей.

Если вдуматься хорошенько в причину подобных иллюзий, то становится ясным, что в них не только нет ничего удивительного, но даже наоборот: удивительно было бы, если бы такою особенностью картины не обладали.

### Воткнутые линии и другие обманы зрения

Начерченная на рис. 149 группа прямых линий не представляет на первый взгляд ничего особенного. Но поднимите книгу на уровень глаз и, закрыв один глаз, смотрите на эти линии так, чтобы луч зрения скользил вдоль них. (Глаз нужно поместить в той точке, где пересекаются продолжения этих прямых.) При таком рассматривании вам покажется, что булавки не начерчены на бумаге, а воткнуты в нее стоймя. Отводя голову немного в сторону, вы увидите, что булавки словно наклоняются в ту же самую сторону.

Эта иллюзия объясняется законами перспективы: линии начерчены так, как должны были бы проектироваться на бумагу отвесно торчащие воткнутые булавки, когда на них смотрят описанным выше образом.

Способность нашу поддаваться зрительным обманам вовсе не следует рассматривать только как недостаток зрения. Она имеет и свою весьма выгодную сторону, о которой часто забывают. Дело в том, что, если бы глаз наш неспособен был поддаваться никаким обманам — не существовало бы живописи, и мы лишены были бы всех наслаждений изобразительных искусств. Художники широко пользуются этими недостатками зрения.

«На сей обманчивости все живописное художество основано, — писал гениальный ученый XVIII века Эйлер в своих знаменитых *„Письмах о разных физических материях“* [1]. — Ежели бы мы привыкли судить в вещах по самой истине, то бы сие

[1] «С французского языка на российский переведены Степаном Румовским. В Санктпетербурге 1774 года».

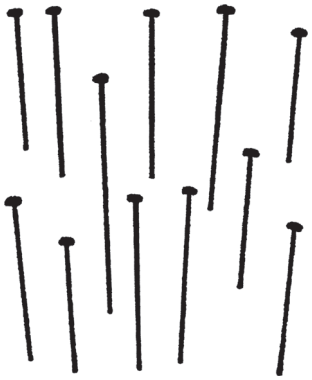


*Рис. 149. Поместите один глаз (закрыв другой) приблизительно в той точке, где пересекаются продолжения этих линий. Вы увидите ряд булавок, словно воткнутых в бумагу. При легком перемещении рисунка из стороны в сторону булавки кажутся качающимися.*

искуство (т. е. художество) не могло иметь места, равно как когда бы мы были слепы. Всуе художник истощил бы все свое искусство на смешение цветов; мы бы сказали: вот на сей доске красное пятно: вот голубое, здесь черное и там несколько беловатых линий: все находится на одной поверхности, не видно на ней никакого в расстоянии различия, и не можно бы было изобразить ни единого предмета. Что бы на картине ни написано было, так бы нам казалось, как письмо на бумаге... При сем совершенстве не были ли бы мы сожаления достойны, лишены будучи удовольствия, которое приносит нам ежедневно столь приятное и полезное художество?»

Оптических обманов очень много; можно наполнить целый альбом различными примерами таких иллюзий[1]. Многие из них общеизвестны, другие

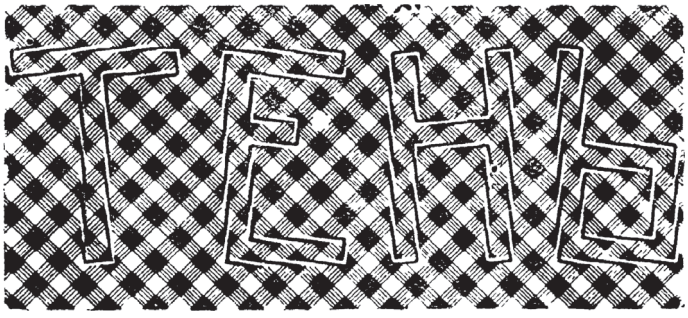


*Рис. 150. Буквы поставлены прямо.*

[1] В упомянутой выше моей книжке «Обманы зрения» собрано более 60 образчиков оптических иллюзий.

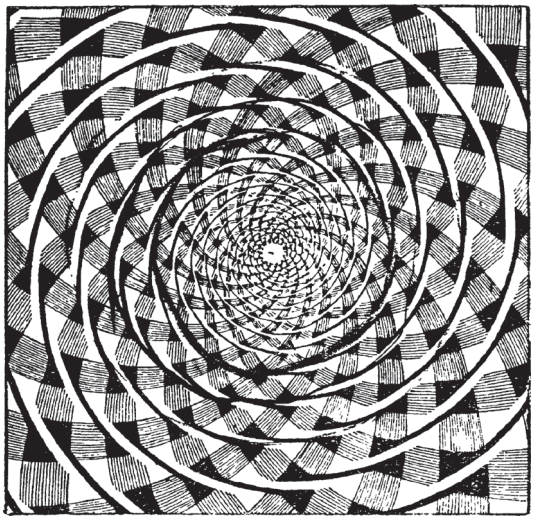


*Рис. 151. Кривые линии этой фигуры кажутся спиралью; между тем это окружности, — в чем легко убедиться, водя по ним заостренной спичкой.*

менее знакомы. Привожу здесь еще несколько любопытных примеров оптических обманов из числа менее известных. Особенно эффектны иллюзии рис. 150 и 151 с линиями на сетчатом фоне: глаз положительно отказывается верить, что буквы на рис. 150 поставлены прямо. Еще труднее поверить тому, что на рис. 151 перед нами не спираль. Приходится убеждать себя в этом непосредственным испытанием: поставив острие карандаша на одну из ветвей мнимой спирали, кружить по дугам, не приближаясь и не удаляясь от центра. Точно так же, только с помощью циркуля, можем мы убедиться, что на рис. 152 прямая *AC* не короче *AB*. Сущность остальных иллюзий, порождаемых рисунками 153, 154, 155 и 156,

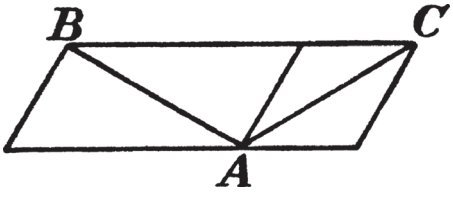



*Рис. 152. Расстояния AB и AC равны, хотя первое кажется бóльшим.*

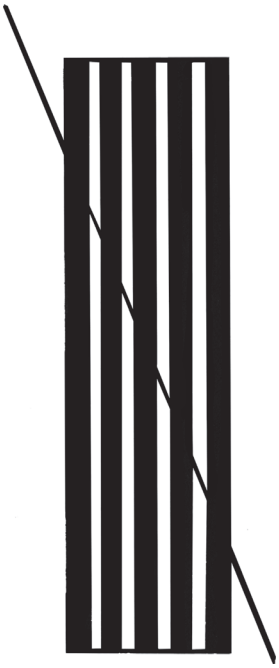


*Рис. 153. Косая линия, пересекающая полоски, кажется изломанной.*

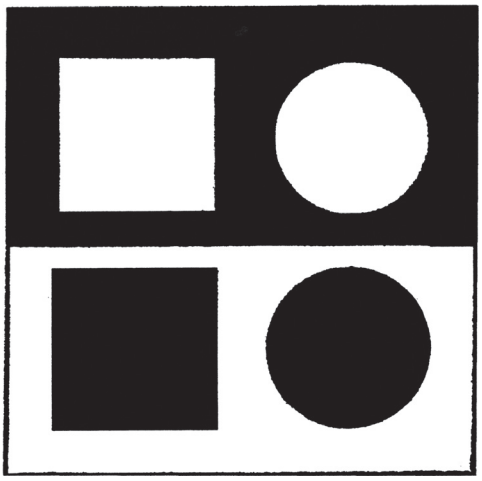


*Рис. 154. Белый и черный квадраты равны, так же как и круги.*

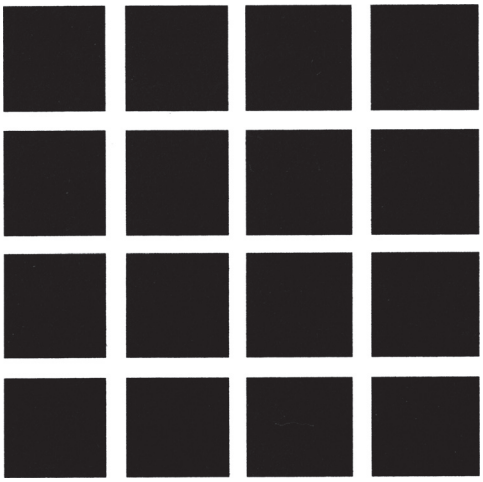


*Рис. 155. На пересечении белых полос этой фигуры появляются и исчезают, словно вспыхивая, сероватые квадратные пятнышки. В действительности же полоски совершенно белы по всей длине, в чем легко убедиться, закрыв бумагой прилегающие ряды черных квадратов. Это — следствие контраста.*

объяснена в подписях под ними. До какой степени сильна иллюзия рис. 155, показывает следующий курьезный случай: редактор одного из предыдущих изданий моей книги, получив от цинкографии оттиск этого клише, счел клише недоделанным и готовился было уже возвратить его в мастерскую, чтобы счистить серые пятна на пересечении белых полос, когда я, случайно войдя в комнату, объяснил ему, в чем дело.

### Как видят близорукие?

Близорукий без очков видит плохо; но что, собственно, он видит и какими именно представляются ему предметы — об этом люди с нормальным зрением имеют весьма смутное представление. Между тем близоруких людей довольно много, и полезно познакомиться с тем, как рисуется им окружающий мир.

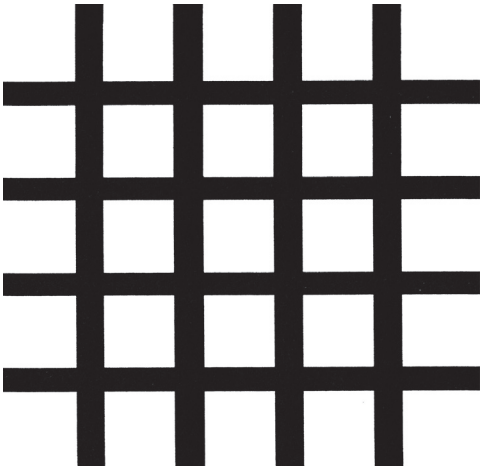


*Рис. 156. На пересечении черных полос появляются сероватые пятна.*

Прежде всего, близорукий (разумеется, без очков) никогда не видит резких контуров, — все предметы для него имеют расплывчатые очертания. Человек с нормальным зрением, глядя на дерево, различает отдельные листья и веточки, отчетливо вырисовывающиеся на фоне неба. Близорукий же видит лишь бесформенную зеленую массу неясных, фантастических очертаний; мелкие детали для него пропадают.

Для близоруких людей человеческие лица кажутся в общем моложе и привлекательнее, чем для нормального человека; морщины и другие мелкие изъяны лица ими не замечаются; грубо-красный цвет кожи (натуральный или искусственный) кажется им нежно-румяным. Мы удивляемся наивности иных своих знакомых, ошибающихся чуть не на 20 лет в определении возраста людей, поражаемся их странным вкусом в оценке красоты, виним их в неучтивости, когда они смотрят нам прямо в лицо и словно не желают узнать... Все это часто происходит просто от близорукости. «В лицее, — вспоминает поэт Дельвиг, современник и друг Пушкина, — мне запрещали носить очки: зато все женщины казались мне прекрасны; как я разочаровался после выпуска». Когда близорукий (без очков) беседует с вами, он вовсе не видит вашего лица — во всяком случае видит не то, что вы предполагаете: перед ним расплывчатый образ, и нет ничего удивительного, что, встретив вас вторично через час, он уже не узнает вас. Большею частью близорукий узнает людей не столько по внешнему облику, сколько по звуку голоса: недостаток зрения восполняется изощренностью слуха.

Интересно также проследить за тем, каким рисуется близоруким людям мир ночью. При ночном освещении все яркие предметы — фонари, лампы, освещенные окна и т. п. — разрастаются для близорукого до огромных размеров, превращая картину в хаос бесформенных ярких пятен, темных и туманных силуэтов. Вместо линий фонарей на улице близорукие видят два-три огромных ярких пятна, которые заслоняют для них всю остальную часть улицы. Приближающейся кареты они не различают; вместо нее они видят только два ярких ореола (фонаря), а перед ними какую-то колыхающуюся массу (лошадь).

Даже ночное небо имеет для близоруких далеко не тот вид, что для нормального глаза. Близорукий видит лишь звезды первых трех-четырех величин; следовательно, вместо нескольких тысяч звезд ему доступны всего несколько сотен. Зато эти немногие звезды кажутся ему крупными комьями света. Луна представляется близорукому огромной и очень близкой; полумесяц же принимает для него замысловатую, фантастическую форму.

Причина всех этих искажений и кажущегося увеличения размеров предметов кроется, конечно, в устройстве глаза близорукого. Близорукий глаз слишком глубок, — настолько, что преломление его частей собирает лучи наружных предметов не на самой сетчатке, а несколько впереди нее. До сетчатки же, устилающей глазное дно, доходят пучки расходящихся лучей, которые рисуют здесь расплывчатые, размытые изображения.

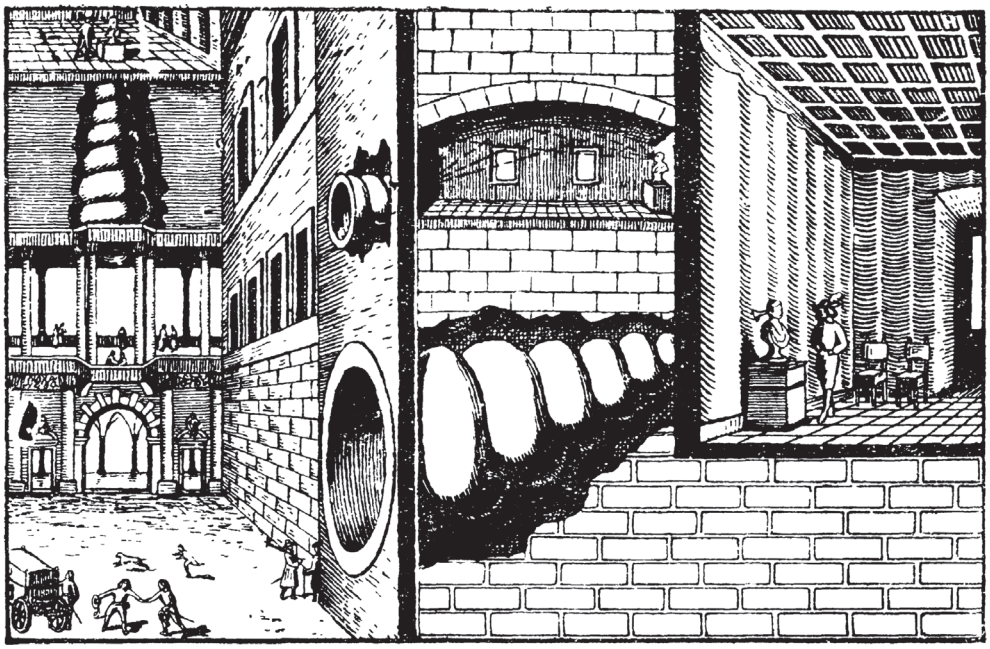


*Рис. 157. Звуковые диковинки в древнем замке — говорящие бюсты. Из книги Афанасия Кирхера, 1560 г.*

## *ГЛАВА ДЕСЯТАЯ*

# ЗВУК И СЛУХ

### Как разыскивать эхо?

Никто еще не видывал,
А слышать — всякий слыхивал.
Без тела, — а живет оно,
Без языка — кричит.

*Некрасов*

Среди рассказов американского юмориста Марка Твена есть смешная выдумка о злоключениях коллекционера, возымевшего мысль составить себе коллекцию... чего бы вы думали? Эхо! Чудак неутомимо скупал все те участки земли, где воспроизводились многократные или чем-либо иным замечательные эхо.

«Прежде всего он купил эхо в штате Джорджия, которое повторяло четыре раза, потом шестикратное в Мэриленде, затем 13-кратное в Мэне. Следующей покупкой было 9-кратное эхо в Канзасе, дальнейшей — 12-кратное в Теннесси, дешево приобретенное, потому что нуждалось в ремонте: часть утеса обвалилась. Он думал, что его можно починить достройкой; но архитектор, который взялся за это дело, никогда еще не страивал эхо и потому испортил его вконец, — после обработки оно могло годиться разве лишь для приюта глухонемых...»

Все это, конечно, шутка; однако замечательные многократные эхо существуют в различных — преимущественно горных — местностях земного шара, и некоторые издавна приобрели всесветную известность.

Перечислим несколько знаменитых эхо. В замке Вудсток в Англии эхо отчетливо повторяет 17 слогов. Развалины замка Деренбург возле Гальберштадта давали 27-сложное эхо, которое, однако, умолкло с тех пор, как одна стена была взорвана. Скалы, раскинутые в форме круга возле Адерсбаха в Чехословакии, повторяют, в определенном месте, троекратно 7 слогов; но в нескольких шагах от этой точки даже звук выстрела не дает никакого эха. Весьма многократное эхо наблюдалось в одном (ныне не существующем) замке близ Милана: выстрел, произведенный из окна флигеля, повторялся эхом 40–50 раз, а громкое слово — раз 30.

Не так просто отыскать место, где эхо отчетливо слышно даже и один раз. У нас в Союзе, впрочем, найти подобные места сравнительно легко. Есть много равнин, окруженных лесами, много полян в лесах: стоит громко крикнуть на такой поляне, чтобы от стены леса донеслось более или менее отчетливое эхо.

Но западные наши соседи, живущие большею частью в гористых местностях, не так счастливы в отношении эхо. В горах эхо бывает разнообразнее, чем на равнинах, зато встречается гораздо реже. Услышать эхо в горной местности труднее, чем на окаймленной лесом равнине.

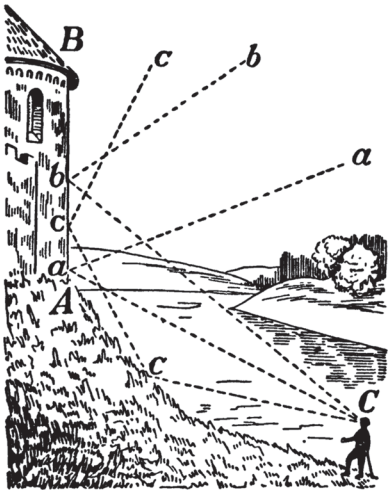



*Рис. 158. Эхо отсутствует.*

Вы сейчас поймете, почему так происходит. Эхо — не что иное, как возвращение звуковых волн, отразившихся от какого-либо препятствия; как и при отражении света, угол падения «звукового луча» равняется углу его отражения. (Звуковой луч — направление, по которому бегут звуковые волны.)

Теперь вообразите, что вы находитесь у подножия горы (рис. 158), а препятствие, которое должно отразить звук, помещается выше вас, например в *AB*. Легко видеть, что звуковые волны, распространяющиеся по линиям *Ca*, *Cb*, *Cc*, отразившись, не достигнут вашего уха, а рассеются в пространстве

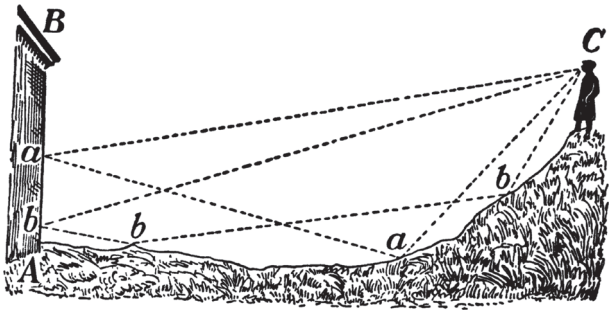



*Рис. 159. Отчетливое эхо.*

по направлениям *aa*, *bb*, *cc*. Другое дело, если вы поместитесь на уровне препятствия или даже чуть выше его (рис. 159). Звук, идущий вниз по направлениям *Ca*, *Cb*, возвратится к вам по ломаным линиям *CaaC* или *CbbbC*, отразившись от почвы один или два раза. Углубление почвы между обоими пунктами еще более способствует отчетливости эха, действуя как вогнутое зеркало. Напротив, если почва между точками *C* и *B* выпукла, эхо будет слабое или даже совсем не достигнет вашего уха: такая поверхность рассеивает лучи звука как выпуклое зеркало.

Разыскивание эха на неровной местности требует известной сноровки. Даже найдя благоприятное место, надо еще уметь эхо вызвать. Прежде всего, не следует помещаться чересчур близко к препятствию: надо, чтобы звук прошел достаточно длинный путь, — иначе эхо вернется слишком рано и сольется с самим звуком. Зная, что звук проходит 340 м в секунду, легко понять, что, поместившись на расстоянии 85 м от препятствия, вы должны услышать эхо ровно через полсекунды после звука.

Хотя эхо родит «на всякий звук свой отклик в воздухе пустом», — но не на все звуки откликается оно одинаково отчетливо. Эхо не одинаково, «ревет ли зверь в лесу глухом, трубит ли рог, гремит ли гром, поет ли дева за холмом». Чем резче, отрывистее звук, тем эхо отчетливее. Лучше всего вызывать эхо хлопаньем в ладоши. Звук человеческого голоса для этого менее пригоден, особенно голос мужчины; высокие тона женских и детских голосов дают заметно более явственное эхо.

### Звук вместо мерной ленты

Знанием скорости распространения звука в воздухе можно иной раз пользоваться для измерения расстояния до недоступного предмета. Такой случай описан Жюлем Верном в романе «Путешествие к центру Земли». Во время подземных странствований два путешественника — профессор и его племяннник — потеряли друг друга. Когда, наконец, им удалось издали обменяться голосами, между ними произошел такой разговор:

«— Дядя! — крикнул я (рассказ ведет племянник).

— Что, дитя мое? — услышал я спустя некоторое время.

— Прежде всего, как далеко мы друг от друга?

— Это нетрудно узнать.

— Ваш хронометр цел?

— Да.

— Возьмите его в руки. Произнесите мое имя и точно заметьте секунду, когда начнете говорить. Я повторю имя, как только звук дойдет до меня, и вы тоже заметьте момент, когда до вас дойдет мой ответ.

— Хорошо. Тогда половина времени, прошедшего между сигналами и ответом, покажет, сколько секунд употребляет звук, чтобы дойти до тебя. Ты готов?

— Да.

— Внимание! Я произношу твое имя.

Я приложил ухо к стене. Как только слово „Аксель“ (имя рассказчика) достигло моего слуха, я немедленно повторил его и стал ждать.

— Сорок секунд, — сказал дядя, — следовательно, звук дошел до меня в 20 секунд. А так как звук проходит в секунду одну треть километра, то это отвечает расстоянию почти в семь километров».

Если вы хорошо поняли то, что рассказано в этом отрывке, вам легко будет самостоятельно решить такую задачу:

Я услышал свисток отдаленного паровоза спустя полторы секунды после того, как заметил белый дымок, которым был вызван этот звук. На каком расстоянии я находился от паровоза?

*Рис. 160. Звуковые вогнутые зеркала.*

### Звуковые зеркала

Стена леса, высокий забор, строение, гора — всякая вообще преграда, отражающая эхо, есть не что иное, как *зеркало* для звука; она отражает звук так же, как плоское зеркало отражает свет.

Звуковые зеркала бывают не только плоские, но и кривые. Вогнутое звуковое зеркало действует как рефлектор: сосредоточивает «звуковые лучи» в своем фокусе.

Две глубокие тарелки дают возможность проделать любопытный опыт этого рода. Поставьте одну тарелку на стол и в нескольких сантиметрах от ее дна держите карманные часы. Другую тарелку держите у головы близ уха, — как изображено на рис. 160. Если положение часов, уха

и тарелок найдено правильно (это удается после ряда проб), — вы услышите тиканье часов, словно исходящее от той тарелки, которую вы держите у головы. Иллюзия усиливается, если закрыть глаза: тогда положительно нельзя определить по слуху, в какой руке часы — в правой или в левой.

Строители средневековых замков нередко создавали такие звуковые курьезы, помещая бюсты либо в фокусе вогнутого звукового зеркала, либо у конца говорной трубы, искусно скрытой в стене. На прилагаемом рис. 157, заимствованном из старинной книги XVI века (Афанасия Кирхера, 1560 г.), можно видеть эти хитроумные приспособления: потолок в форме свода направляет к губам бюста звуки, приносимые извне говорной трубой; огромные говорные трубы, замурованные в здании, приносят разнообразные звуки со двора к каменным бюстам, размещенным у стен одной из зал, и т. п. Посетителю такой галереи казалось, что мраморные бюсты шепчут, напевают и т. п.

### Звуки в театральном зале

Кто много раз посещал различные театры и концертные залы, тому хорошо известно, что в смысле слышимости залы бывают с хорошей акустикой и с плохой акустикой: в одних помещениях голоса артистов и звуки музыкальных инструментов внятно слышны на далеком расстоянии, в других звуки даже вблизи воспринимаются неотчетливо. Причина этого явления очень хорошо изложена в книге американского физика Вуда[1]: «Звуковые волны и их применения»[2].

«Любой звук, произведенный в здании, довольно долго раздается по окончании звучания источника; вследствие многократных отражений он несколько раз обходит кругом здания, — а тем временем раздаются другие звуки, и слушатель часто не в состоянии уловить их в надлежащем порядке и в них разобраться. Так, например, если звук длится 3 секунды и оратор говорит со скоростью трех слогов в секунду, то звуковые волны, соответствующие 9 слогам, будут двигаться по комнате все вместе и создадут полную неразбериху и шум, из-за которого слушатель не сможет понимать оратора.

Оказавшемуся в таких условиях оратору остается говорить очень разборчиво и не слишком громко. Но обычно ораторы, как раз наоборот, стараются говорить громко и этим только усиливают шум».

Еще не так давно сооружение театра с хорошей акустикой считалось делом счастливой случайности. В настоящее время найдены приемы успешной борьбы с нежелательной длительностью звука (называемой «реверберацией»), которая портит слышимость. В этой книге не место входить в подробности, интересные только для архитекторов. Отмечу лишь, что борьба с плохой акустикой состоит в создании поверхностей, поглощающих излишние звуки.

---

[1] *Вуд Александр* (1879–1950) — физик-акустик и преподаватель; цитируемая книга была написана им в 1930 г. (*примеч. ред.*).

[2] Эта превосходная книга вышла в 1934 году в русском переводе.

Самым лучшим поглотителем звука является открытое окно (как лучшим поглотителем света служит отверстие); квадратный метр открытого окна принят даже за единицу, которой измеряется поглощение звука. Очень хорошо — хотя и вдвое хуже, нежели открытое окно — поглощают звуки сами посетители театра: каждый человек равнозначен в этом отношении примерно половине кв. метра открытого окна. И если правильно замечание одного физика, что «аудитория поглощает речь оратора в самом прямом смысле слова», то не менее верно, что пустой зал неприятен для оратора также в непосредственном смысле слова[1].

В театре имеется и другой предмет, интересный с точки зрения физики: суфлерская будка. Обратили ли вы внимание на то, что во всех театрах она имеет одну и ту же форму? Это оттого, что суфлерская будка — своего рода физический прибор. Свод будки представляет собою вогнутое звуковое зеркало, имеющее двоякое назначение: задерживать звуковые волны, идущие из уст суфлера в сторону публики, а кроме того, отражать эти волны по направлению к сцене.

## Эхо со дна моря

Долгое время человек не извлекал из эхо никакой пользы, пока не придуман был способ измерять с помощью него глубину морей и океанов. Изобретение это зародилось случайно. В 1912 г. затонул почти со всеми пассажирами огромный океанский пароход «Титаник», — затонул от случайного столкновения с большой льдиной. Чтобы обеспечить плавание от подобных катастроф, пытались в туман или в ночное время пользоваться эхом для обнаружения присутствия ледяной преграды впереди судна. Способ на практике себя не оправдал, зато натолкнул на другую мысль: измерять глубину морей с помощью отражения звука от морского дна. Мысль оказалась очень удачной, и в настоящее время[2] ряд кораблей — в том числе наш ледокол «Ермак» — снабжены уже соответствующим техническим снаряжением.

На рис. 161 вы видите схему установки. У одного борта корабля помещается в трюме, близ днища, патрон, порождающий при зажигании резкий звук[3]. Звуковые волны несутся сквозь водную толщу, достигают дна моря, отражаются и бегут обратно, неся с собой эхо. Оно улавливается чувствительным прибором, установленным, как и патрон, у днища корабля. Точные часы измеряют промежуток времени между возникновением звука и приходом эха. Зная скорость звука в воде, легко вычислить расстояние до отражающей преграды, т. е. определить глубину моря или океана.

---

[1] Чрезмерное поглощение звука также создает ухудшенную слышимость (*примеч. ред.*).

[2] Текст написан в 1936 г. (*примеч. ред.*).

[3] В современных эхолотах применяются ультразвуковые колебания, вырабатываемые магнитострикционными или пьезокерамическими преобразователями; погрешность измерений составляет от 1% до сотых долей процента (*примеч. ред.*).

Пусть между взрывом патрона и возвращением эха прошло 2,4 сек. Умножив на это число скорость звука в морской воде (1435 м в сек.), получим двойную глубину океана — путь звука до дна и обратно.

$$1435 \times 2{,}4 = 3444 \text{ м.}$$

Отсюда глубина океана в данном месте равна

$$3444 : 2 = 1722 \text{ м.}$$

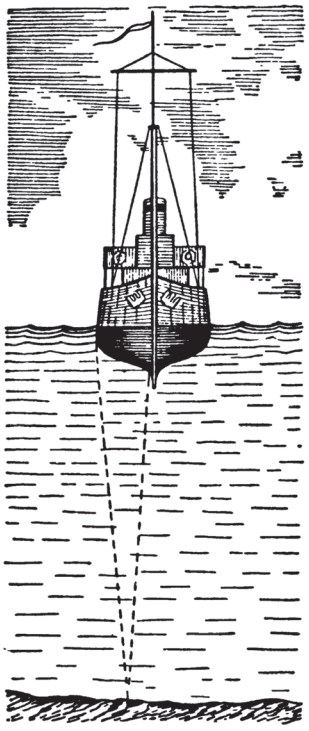


*Рис. 161. Схема действия эхолота.*

Эхолот, как назвали эту установку, совершил настоящий переворот в практике измерения морских глубин. Пользование глубомерами прежних систем возможно было лишь с неподвижного судна и требовало много времени. Лотлинь приходится спускать с колеса, на котором он намотан, довольно медленно (150 метров в минуту); почти так же медленно производится и обратный подъем. Измерение глубины в 3 километра этим способом отнимает ¾ часа. С помощью эхолота то же измерение можно произвести в несколько секунд, на полном ходу корабля, получая при этом результат, несравненно более надежный и точный. Ошибка в новейших измерениях не превосходит четверти метра (для чего промежутки времени определяются с точностью до 3000-й доли секунды). Если точное измерение больших глубин имеет важное значение для науки океанографии, то возможность быстро, надежно и точно определять глубину в мелких местах является существенным подспорьем в мореплавании, обеспечивая его безопасность: благодаря эхолоту судно может смело и быстрым ходом приближаться к берегу.

В настоящее время существует уже около полудюжины различных систем эхолотов, а число выполненных ими промеров глубины соперничает с числом измерений, сделанных с помощью механических лотов. Одно только германское экспедиционное судно «Метеор»[1] произвело в Атлантическом океане около 70 000 промеров глубины по новому способу[2].

[1] В ноябре 1945 г. это судно было передано СССР в качестве военного трофея, переименовано в «Экватор» и до конца 1960-х гг. использовалось при выполнении геодезических и научно-исследовательских работ в Балтийском и Северном морях (*примеч. ред.*).

[2] Эхолот управления береговой съемки Соединенных Штатов Америки измеряет глубины от 2 до 30 метров с точностью до нескольких сантиметров, производя в секунду 20 измерений (т. е. примерно через каждые четверть метра пути). Этот лот с успехом применяется, между прочим, при поисках затонувших судов.

Первый советский эхолот (целиком изготовленный на ленинградском заводе «Водтранприбор») установлен на «Ермаке»; во время рейса этого ледокола Ленинград — Мурманск в 1934 г. с помощью эхолота выполнено было множество промеров глубины, показавших высокие качества советского прибора.

Делались также успешные попытки применения эхолота в авиации для определения высоты самолета над землей или над водою в тех случаях, когда другие приемы не дают надежных результатов.

### Жужжание насекомых

Почему насекомые часто издают жужжащие звуки? В большинстве случаев у них вовсе не имеется для этого никаких особых органов; жужжание — слышимое только при полете — обусловлено просто тем, что, летая, они взмахивают крылышками несколько сот раз в секунду. Крылышко насекомого — это колеблющаяся пластинка, а мы знаем, что всякая достаточно часто (чаще 16 раз в секунду) колеблющаяся пластинка порождает тон определенной высоты.

Теперь вы поймете, каким образом удалось узнать, сколько именно взмахов делает в секунду при полете то или иное насекомое. Для этого достаточно лишь определить по слуху высоту издаваемого насекомым тона, — потому что каждому тону отвечает иная частота колебаний. С помощью «лупы времени» (гл. 1-я) удалось установить, что частота взмахов крыльев у каждого насекомого почти неизменна; регулируя полет, насекомое изменяет лишь величину взмаха — «амплитуду» колебаний — и наклон крыльев, число взмахов в секунду увеличивается лишь под влиянием холода. Вот почему и тон, издаваемый насекомым при полете, остается неизменным... Найдено, например, что комнатная муха (издающая при полете тон *F*) делает в секунду 352 взмаха крылышками. Шмель взмахивает 220 раз в секунду. Пчела, издающая тон *A*, взмахивает крыльями 440 раз в секунду, когда она летит свободно, и всего 330 раз (тон *B*), когда летит нагруженная медом. Жуки, порождающие при полете более низкие тона, движут крыльями менее проворно. Напротив, комар делает 500–600 колебаний в секунду. Для сравнения заметим, что пропеллер самолета делает в среднем около 25 оборотов в секунду.

### Слуховые обманы

Если мы почему-либо вообразили, что источник легкого шума находится не вблизи нас, а значительно дальше, — то звук покажется нам *гораздо громче*. Подобные иллюзии слуха случаются с нами довольно часто; мы только не всегда обращаем на них внимание.

Вот любопытный случай, который описал в своей «Психологии» американский ученый Вильям Джемс[1]:

---

[1] *Джемс Вильям (Уильям)* (1842–1910) — американский философ (*примеч. ред.*).

«Однажды поздно ночью я сидел и читал; вдруг из верхней части дома раздался страшный шум, прекратился и затем, через минуту, снова возобновился. Я вышел в зал, чтобы прислушаться к шуму, — но он там не повторялся. Как только я успел вернуться к себе в комнату и сесть за книгу, снова поднялся тревожный, сильный шум, точно перед началом бури или наводнения. Он доносился отовсюду. Крайне встревоженный, я снова вышел в зал, — и снова шум прекратился.

Вернувшись во второй раз к себе в комнату, я вдруг открыл, что шум производила своим храпом маленькая собачка, спавшая на полу!..

При этом любопытно то, что, раз обнаружив истинную причину шума, я уже не мог, несмотря на все усилия, возобновить прежнюю иллюзию».

Вероятно, читатель сможет припомнить подобные же примеры из своей жизни. Мне случалось наблюдать их неоднократно.

### Где стрекочет кузнечик?

Очень часто мы ошибочно определяем не расстояние, а направление, в каком находится звучащий предмет.

Уши наши довольно хорошо различают, раздался ли звук выстрела справа или слева от нас (рис. 162). Но они зачастую бессильны определить положение

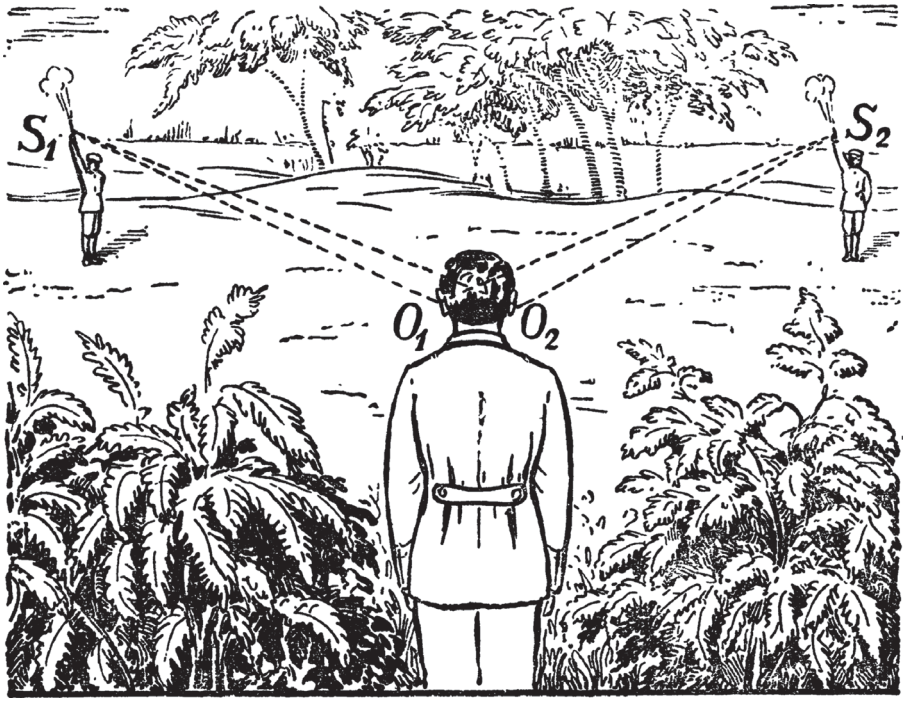
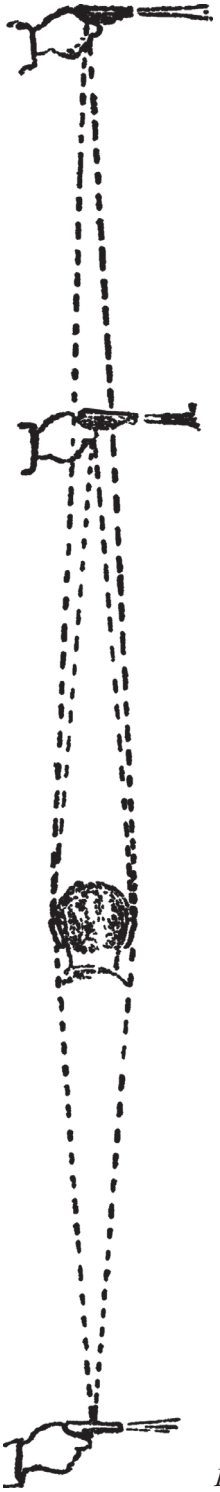



*Рис. 162. Где произведен выстрел: справа или слева?*



источника звука, если он находится прямо впереди или позади нас (рис. 163): выстрел, произведенный впереди, нередко слышится как донесшийся сзади.

Мы способны в таких случаях отличать лишь — по силе звука — отдаленный выстрел от близкого.

Вот опыт, который может нас многому научить. Посадите кого-нибудь посреди комнаты с завязанными глазами и попросите его сидеть спокойно, не поворачивая головы. Затем, взяв в руки две монеты, ударяйте ими одну о другую, оставаясь все время в той отвесной плоскости, которая «рассекает» голову вашего гостя пополам, между его глазами. Пусть испытуемый попробует угадать место, где щелкнули монеты. Результат получается прямо невероятный: звук произведен в одном углу комнаты, а испытуемый указывает на совершенно противоположную точку!

Если вы отойдете от упомянутой плоскости симметрии головы в сторону, ошибки будут уже не так грубы. Оно и понятно: теперь звук в ближайшем ухе вашего гостя слышен немного раньше и громче; благодаря этому испытуемый может определить, откуда исходит звук.

Этот опыт объясняет, между прочим, почему так трудно заметить стрекочущего в траве кузнечика. Резкий звук раздается в двух шагах от вас, справа от дорожки. Вы смотрите туда, но ничего не видите; звук доносится уже слева. Поворачиваете голову туда, — но звук уже доносится из какого-нибудь третьего места. Чем быстрее поворачиваетесь вы в сторону стрекочущего звука, тем проворнее совершаются эти прыжки невидимого музыканта. На самом деле, однако, насекомое сидит на одном месте; его изумительные прыжки — плод вашего воображения, следствие обмана слуха. Ошибка ваша в том, что вы поворачиваете голову, помещая ее при этом как раз так, что кузнечик находится в плоскости симметрии вашей головы. При этом условии, как мы знаем, легко ошибиться в направлении звука: стрекотание кузнечика раздается впереди вас, но вы по ошибке относите его в противоположную сторону.

Отсюда практический вывод: если хотите определить, откуда доносится звук кузнечика, пение кукушки и тому подобные отдаленные звуки, — не поворачивайте лица на звук, а, напротив, — отворачивайте его в сторону. Впрочем, мы это и делаем, когда, как говорится, «настораживаемся».

*Рис. 163. Где произведен выстрел?*

## Курьезы слуха

Когда мы грызем твердый сухарь, мы слышим оглушительный шум, между тем как наши соседи едят те же сухари без заметного шума. Как ухитряются они избегать этого грохота?

Дело в том, что шум и грохот существуют лишь в наших ушах и мало беспокоят уши наших соседей. Кости черепа, как и вообще твердые, упругие тела, очень хорошо проводят звуки; а звук в плотной среде усиливается иногда до чрезвычайных размеров. Доходя до уха *через воздух*, треск сухаря воспринимается как легкий шум; но тот же треск превращается в грохот, если доходит до слухового нерва через твердые кости черепа. Вот еще опыт из той же области: зажмите между зубами колечко карманных часов и плотно закройте уши пальцами: вы услышите тяжелые удары — так усилится тиканье часов.

Бетховен, оглохнув, слушал, говорят, игру на рояле, приставив к нему одним концом свою трость, другой конец которой он держал у зубов. Точно так же те глухие, у которых уцелело внутреннее ухо, могут танцевать под музыку: звуки достигают до их слуховых нервов через пол и кости. На рис. 164 вы видите изображение танцевального вечера, устроенного для глухонемых: оркестр помещался под залой, и звуки передавались ногам танцующих через деревянный пол.

*Рис. 164. Глухонемые танцуют под музыку оркестра, помещающегося под танцевальной залой.*

### Как измеряют шум?

Важность изучения музыкальных *тонов*, то есть звуков, имеющих определенную высоту, определенное число колебаний в секунду, ясна каждому. Но для чего изучать *шум* — эту неопределенную смесь звуков меняющейся частоты? Еще недавно шумы почти и не исследовались научно. Предметом разностороннего изучения они сделались лишь в последнее время, когда выяснилось, что очень громкие звуки вредно влияют на здоровье человека и заметно понижают производительность его труда[1]. Явилась прежде всего надобность точно оценивать *громкость* шума, выражать ее числом. А для этого потребовалось установить единицу меры громкости.

Единицей громкости шума служит громкость в 1 *бел*[2], равная 10 децибелам; практически употребительна именно последняя, более мелкая мера. Тихий шепот в двух шагах от нашего уха или шелест листьев при легком ветерке имеет громкость в 10 децибел (1 бел); громкая разговорная речь — 65 децибел; заклепочная машина в 10 метрах от уха — почти 100 бел. Своеобразие этого способа оценки громкости состоит в том, что разнице громкостей в 1 бел отвечает отношение силы звука 10, разнице в 2 бела — отношение 100, и т. д. Если вы знаете, что тихий автомобиль производит шум в 5 бел, а шелестящие листья — в 1 бел, то автомобиль порождает звук, физическая сила (вернее — энергия) которого превышает энергию шелеста не в 5 раз, а в $10^4$, т. е. в 10 000 раз. На математической стороне дела я здесь останавливаться, впрочем, не буду; об этом читатель может прочесть в моей «Занимательной алгебре».

В качестве примеров оценки громкости далее указаны громкости некоторых природных и производственных шумов:

| | | |
|---|---|---|
| Шелест листьев при слабом ветре | 10 | децибел |
| Обычный шепот в 120 см от уха | 20 | » |
| Тихая улица в вечерние часы | 30 | » |
| Тихий автомобиль в 10 м от уха | 50 | » |
| Обычный разговор в 1 м от уха | 65 | » |
| Самое шумное место Ниагарского водопада | 90 | » |
| Заклепочная машина в 10 м от уха | 97 | » |
| Мотор аэроплана без глушителя | 100 | » |

Шум в 80 и более децибел вредно влияет на здоровье: нарушает ритм сердца, повышает кровяное давление и т. п. Отсюда вытекает необходимость бороться с вредными шумами. Как?

---

[1] По данным Международного бюро труда Лиги Наций, даже слабый шум может понизить производительность труда на 40%.

[2] По имени одного из изобретателей телефона — Белла.

На этот вопрос специалист, проф. Ржевкин[1], дает такой ответ:

«В борьбе с шумом можно добиваться улучшения конструкции наиболее шумных машин. Можно устанавливать шумные машины в специальных помещениях со звукоизолирующими стенами и фундаментом; ослабление шума метрополитена может быть достигнуто специальной конструкцией вагонов, облицовкой туннеля звукопоглощающими материалами. Довольно большие успехи имеются в области звукоизоляции кабин аэроплана, особенно в США. Громадное значение имеет звукоизоляция жилых домов как от внешних шумов, так и от шумов внутренних. В этом отношении очень многое может быть достигнуто с помощью рациональной конструкции стен, перекрытий и дверей без особого удорожания строительства».

## «Чудеса чревовещания»

Столь поражающие нас «чудеса», совершаемые чревовещателями, основаны на тех же особенностях нашего слуха, о которых мы беседовали на с. 218–220.

«Если кто-нибудь ходит по гребню крыши, — пишет проф. Гампсон[2], — то голос его внутри дома производит впечатление слабого шепота. По мере того как он удаляется к краю здания, шепот все слабеет. Если мы сидим в какой-нибудь комнате дома, то наше ухо ничего не может нам сказать относительно направления звука и расстояния говорящего лица. Но по изменению голоса наш разум выведет заключение, что говорящее лицо удаляется от нас. Если же самый голос скажет нам, что обладатель его движется по крыше, то мы легко поверим этому заявлению. Если бы, наконец, кто-либо стал разговаривать с этим лицом, будто бы находящимся снаружи, и получал осмысленные ответы, то иллюзия получалась бы полная.

Таковы условия, при которых действует чревовещатель. Когда очередь говорить доходит до человека на крыше, чревовещатель слабо бормочет; когда же очередь доходит до него, он говорит полным, чистым голосом, чтобы оттенить контраст с другим голосом. Содержание его замечаний и ответов его мнимого собеседника усиливает иллюзию. Единственным слабым пунктом в этом обмане могло бы оказаться то обстоятельство, что мнимый голос лица, находящегося снаружи, фактически исходит от человека на сцене, т. е. имеет ложное направление.

Следует еще заметить, что название *чревовещатель* является неподходящим. Чревовещатель должен скрывать от своих слушателей тот факт, что, когда очередь доходит до мнимого партнера, он в действительности говорит сам. Для этой цели он пользуется различными уловками. При помощи всякого рода жестов он старается

---

[1] *Ржевкин Сергей Николаевич* (1891–1981) — заведующий кафедрой акустики физического факультета МГУ, автор книг и учебных курсов по теории звука (*примеч. ред.*).
[2] *Гампсон Вильям (Уильям)* (1854–1926) — английский изобретатель, автор популярной книги «Парадоксы природы и науки» (1906 г.) (*примеч. ред.*).

отвлечь внимание слушателей от себя. Склонясь набок и держа руку у уха, как будто прислушиваясь, он стремится по возможности спрятать свои губы. Когда он не может спрятать своего лица, то старается делать лишь самые необходимые движения губами. Этому помогает то обстоятельство, что часто требуется лишь неясный, слабый шепот. Движения губ скрываются так хорошо, что некоторые люди думают, будто голос артиста выходит откуда-то из глубины его тела, — отсюда название: чревовещатель».

Итак, мнимые чудеса чревовещания всецело основаны лишь на том, что мы не в состоянии в точности определять ни направление звука, ни расстояние до звучащего тела. В обычной обстановке мы достигаем этого лишь приблизительно; но достаточно поставить нас в не совсем обычные условия восприятия звука, — и мы уже поддаемся самым грубым ошибкам в определении источника звука. Наблюдая сам чревовещателя, я не мог преодолеть иллюзии, хотя хорошо понимал, в чем здесь дело.

**Сто вопросов к первой книге «Занимательной физики»**

1. Во сколько раз улитка движется медленнее пешехода?
2. Каков рекорд скорости для самолета?
3. Может ли человек перегнать Солнце в его суточном движении по небу?
4. Откуда произошло слово «миг»?
5. Как достигается то, что на экране кино движения неестественно замедляются?
6. Когда обитатели земного шара движутся быстрее вокруг Солнца — в полдень или в полночь?
7. Почему верхние спицы катящегося колеса иногда сливаются для глаз, в то время как нижние видны раздельно?
8. Какие точки движущегося паровоза перемещаются всего медленнее? Какие части движутся обратно?
9. Почему звезды кажутся нам перемещенными вперед по направлению движения Земли по ее орбите?
10. Почему, вставая со стула, мы либо подаемся туловищем вперед, либо пододвигаем под стул ноги?
11. Как объясняется особая походка старых моряков?
12. Чем отличается бег от ходьбы?
13. Как в случае необходимости надо прыгать с движущегося вагона? Приведите обоснование ответа.
14. Прославленный лгун Мюнхгаузен рассказывал, что он ловил летающие пушечные ядра. Является ли это безусловно невозможным?
15. Находясь в быстро мчащемся автомобиле, можно ли безнаказанно ловить бросаемые в него предметы?
16. Весит ли падающее тело больше или меньше, нежели покоящееся?
17. Всякая ли брошенная вверх вещь должна упасть обратно на землю?
18. Правильно ли описано в романе Жюля Верна «Из пушки на Луну» то, что происходило внутри летящего снаряда?
19. Можно ли верно взвесить на неверных весах, имея верные гири? А на верных весах, имея неверные гири?
20. Выгодно ли для нас то, что кости скелета работают как рычаги в условиях, когда большой силой преодолевается малое сопротивление?
21. Почему лыжник не проваливается на рыхлом снегу?
22. Почему не жестко лежать на веревочном гамаке?
23. Как осуществлена была немцами стрельба на 120 километров?
24. Почему поднимается вверх бумажный змей?
25. Когда камень падает в воздухе с большой высоты, летит ли он все время с возрастающей скоростью?

26. Какой наибольшей скорости достигает тело человека, падающего с нераскрытым парашютом?

27. Чем объясняется причудливый полет бумеранга?

28. Можно ли, не разбивая скорлупы яйца, узнать, сырое оно или вареное?

29. Где вещи тяжелее: в местах, близких к экватору или близких к полюсу?

30. Когда семя прорастает на ободе вращающегося колеса, в какую сторону направляется корешок ростка?

31. Есть ли различие между «вечным движением» и «вечным двигателем»?

32. Были ли успешные попытки устроить вечный двигатель?

33. С какой стороны погруженное в жидкость тело испытывает наибольшее давление: сверху, с боков или снизу?

34. Становится ли озеро тяжелее, когда по нему плавает лодка?

35. Какую форму должна принять жидкость, не имеющая веса? Можно ли проверить ответ на опыте?

36. Почему капли дождя круглые?

37. Верно ли, что керосин просачивается сквозь стекло и металлы? Почему возникло такое убеждение?

38. Можно ли добиться того, чтобы стальная игла плавала на воде?

39. Что такое флотация?

40. Почему мыло смывает грязь?

41. Почему мыльный пузырь взлетает вверх? В каком помещении он поднимается быстрее — в холодном или теплом?

42. Что тоньше и примерно во сколько раз: человеческий волос или стенка мыльного пузыря?

43. Если на тарелку с водой поставить вверх дном стакан с зажженной в нем бумажкой, то вода скоро соберется под стакан. Почему?

44. Почему вода поднимается вверх, когда ее втягивают через соломинку?

45. На весах уравновешенный кусок дерева и гири. Сохранится ли равновесие, если поместить эти весы под колокол воздушного насоса и разредить воздух?

46. Что сделается с весами предыдущего вопроса, если их погрузить в сгущенный воздух?

47. Если бы ваше тело утратило свой вес, но платье сохранило бы обычную весомость, то удержались ли бы вы у поверхности земли или всплыли бы вверх?

48. Есть ли различие между вечным и даровым двигателями? Удавалось ли устроить даровой двигатель?

49. Какое повреждение угрожает трамвайному рельсовому пути в сильный зной? А в сильный мороз? Почему железнодорожному пути эти опасности не угрожают?

50. В какое время года телеграфные и телефонные провода всего сильнее провисают?

51. Какие стаканы чаще растрескиваются от горячей воды — толстостенные или тонкостенные? А от холода?

52. Почему стаканы для лимонада делаются с толстым дном и почему такие стаканы не годятся для чая?

53. Из какого прозрачного материала всего лучше делать посуду, чтобы она не трескалась от теплоты и от холода?

54. Почему трудно надеть сапог на разгоряченную ногу?

55. Возможно ли устроить часы, которые не приходилось бы заводить?

56. Можно ли на том же принципе устраивать крупные механизмы?

57. Почему дым поднимается вверх?

58. Как поступите вы, если пожелаете охладить льдом бутылку лимонада?

59. Ускорится ли таяние льда, если обернуть его мехом?

60. Верно ли, что снег греет землю?

61. Почему в подземных трубах вода зимой не замерзает?

62. Где в Московской области бывает в июле зима?

63. Почему в паяной посуде можно кипятить воду и посуда не распаивается от огня?

64. Почему в сильный мороз сани по снегу плохо скользят?

65. Почему в оттепель снежки получаются хорошие, а в мороз рассыпаются?

66. Почему на крышах неотапливаемых зданий образуются ледяные сосульки?

67. Отчего в экваториальных странах теплее, чем в полярных?

68. Как изменился бы момент восхода Солнца, если бы свет распространялся мгновенно?

69. Изменилось ли бы действие телескопов и микроскопов, если бы свет во всякой среде распространялся мгновенно?

70. С какой силою давят солнечные лучи на перпендикулярную к ним площадь в 1 гектар?

71. Можно ли заставить лучи света обходить преграды?

72. Чтобы лучше видеть свое лицо в зеркале, куда надо поместить лампу: впереди себя или позади себя?

73. Есть ли полное сходство между нашим лицом и его отражением в плоском зеркале?

74. Можно ли извлечь практическую пользу из калейдоскопа?

75. Как с помощью льда добыть огонь?

76. Случается ли наблюдать миражи в наших широтах?

77. Что такое «зеленый луч»?

78. Как надо рассматривать фотоснимки?

79. Почему фотоснимки приобретают рельефность и глубину при рассматривании через выпуклое стекло или в вогнутом зеркале?

80. Почему в кинотеатре картины лучше всего видны из средних рядов?

81. Почему на картины живописцев лучше смотреть, закрыв один глаз?

82. В чем сущность действия стереоскопа?

83. Можно ли уподобить свое зрение зрению сказочного великана?

84. Что такое стереотруба?

85. Чем обусловлен блеск?

86. Почему ландшафт кажется более глубоким, если рассматривать его из окна мчащегося вагона?

87. Придумайте опыт, в котором можно было бы видеть цветные тени.

88. На чем основан эффект так называемых чудес теней?

89. Какого цвета кажется красный флаг при синем освещении?

90. Объясните значение слов «иррадиация» и «астигматизм».

91. Бывают портреты, которые словно следят за нами глазами. Как это объясняется?

92. Кому яркие звезды кажутся крупнее: нормальному глазу или близорукому?

93. Вы услышали эхо спустя 1½ секунды после того, как вы хлопнули в ладоши. Как далеко от вас преграда?

94. Существуют ли звуковые зеркала?

95. Где звук распространяется быстрее: в воздухе или в воде?

96. Укажите техническое применение эха.

97. Почему жужжит пчела?

98. Почему трудно разыскать стрекочущего возле нас кузнечика?

99. Что громче: шум Ниагарского водопада в самом шумном месте или шум автомотора (без глушителя)? Во сколько раз?

100. В чем разгадка «чревовещания»?

Я. И. ПЕРЕЛЬМАН

# ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

КНИГА ВТОРАЯ

ВРЕМЯ

Иллюстрация на предыдущей странице воспроизводится по изданию:

*Перельман Я. И. Занимательная физика : Парадоксы, головоломки, задачи, опыты, замысловатые вопросы и рассказы из области физики. Книга вторая. — 10-е изд., перераб. и доп. — Л. : Время, 1932* (*примеч. ред.*).

## Из предисловия к тринадцатому изданию

Эта книга представляет собой самостоятельный сборник, не являющийся прямым продолжением *первой* книги «Занимательной физики».

Успех первого сборника побудил автора обработать остальной накопившийся у него материал, и таким образом составилась эта *вторая* или, вернее, *другая* книга, охватывающая те же отделы физики.

В предлагаемой книге, как и в первой, составитель стремится не столько сообщить новые знания, сколько оживить и освежить те простейшие сведения по физике, которые у читателя уже имеются. Цель книги — возбудить деятельность научного воображения, приучить мыслить в духе физики и развить привычку к разностороннему применению своих знаний. Поэтому в «Занимательной физике» отводится описанию эффектных опытов второстепенное место; на первый же план выдвигаются физические головоломки, интересные задачи, поучительные парадоксы, замысловатые вопросы, неожиданные сопоставления из области физических явлений и т. п. В поисках такого материала составитель обращается к кругу явлений обиходной жизни, к области техники, к природе, к страницам научно-фантастических романов, — словом, ко всему, что, находясь за пределами учебника и физического кабинета, способно привлечь внимание любознательного читателя.

Предназначая книгу не для изучения, а для чтения, составитель старался, насколько умел, придать изложению и внешне интересную форму, исходя из того, что интерес к предмету повышает внимание, усиливает работу мысли и, следовательно, способствует более сознательному усвоению.

Для оживления интереса к физическим расчетам в некоторые статьи этого сборника введен вычислительный материал (чего в первой книге почти не делалось).

В общем, настоящий сборник по подбору материала предназначается для несколько более подготовленного читателя, нежели первая книга «Занимательной физики», хотя различие в этом отношении между обеими книгами настолько незначительно, что их можно читать в любой последовательности и независимо одну от другой.

Для настоящего издания в книгу введен ряд новых статей и рисунков.

Третьей книги «Занимательной физики» не существует. Взамен ее автором составлены следующие книги:

*«Занимательная механика»,*
*«Знаете ли вы физику?»*

и, кроме того, отдельная книга, посвященная вопросам астрономии:

*«Занимательная астрономия».*

*Я. Перельман*

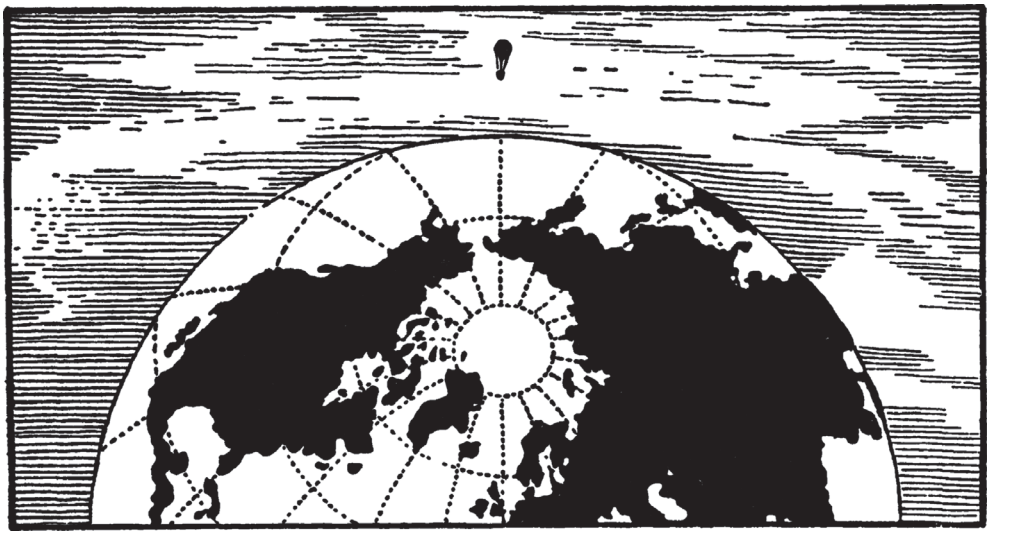


*Рис. 165. Можно ли с аэростата видеть, как вращается земной шар? (Масштаб в рисунке не соблюден.)*

## *ГЛАВА ПЕРВАЯ*

## ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ МЕХАНИКИ

### Самый дешевый способ путешествовать

Остроумный французский писатель XVII века Сирано де Бержерак в своей сатирической «Истории государств на Луне» (1652 г.) рассказывает, между прочим, о таком будто бы произошедшем с ним удивительном случае. Занимаясь физическими опытами, он однажды непостижимым образом был поднят вместе со своими склянками высоко в воздух. Когда же через несколько часов ему удалось спуститься вновь на землю, то, к изумлению, очутился он уже не в родной Франции и даже не в Европе, а на материке Северной Америки, в Канаде! Свой неожиданный перелет через Атлантический океан французский писатель, однако, находит вполне естественным. Он объясняет его тем, что, пока невольный путешественник был отделен от земной поверхности, планета наша продолжала по-прежнему вращаться на восток; вот почему, когда он опустился, под ногами его вместо Франции оказался уже материк Америки...

Казалось бы, какой дешевый и простой способ путешествовать! Стоит только подняться над Землей и продержаться в воздухе хотя бы несколько минут, чтобы опуститься уже совершенно в другом месте, далеко к западу. Вместо того чтобы предпринимать утомительные путешествия через

материки и океаны, можно неподвижно висеть над Землей и выжидать, пока она сама подставит путнику место назначения.

К сожалению, удивительный способ этот не более как фантазия. Во-первых, поднявшись в воздух, мы, в сущности, не отделяемся еще от земного шара: мы остаемся связанными с его газообразной оболочкой, висим в его атмосфере, которая тоже ведь участвует во вращении Земли вокруг оси. Воздух — вернее, его нижние более плотные слои — вращается вместе с Землей, увлекая с собой все, что в нем находится: облака, аэропланы, всех летящих птиц, насекомых и т. д. Если бы воздух не участвовал во вращении земного шара, то, стоя на Земле, мы постоянно чувствовали бы сильнейший ветер, по сравнению с которым самый страшный ураган должен считаться нежным дуновением[1]. Ведь совершенно безразлично: стоим ли мы на месте, а воздух движется мимо нас, или же, наоборот, воздух неподвижен, а мы перемещаемся в нем; в обоих случаях мы ощущаем одинаково сильный ветер. Автомобилист, мчащийся со скоростью 100 км в час, чувствует сильнейший встречный ветер даже в совершенно тихую погоду.

Это во-первых. Во-вторых, если бы даже мы могли подняться в высшие слои атмосферы или если бы Земля вовсе не была окружена воздухом, нам и тогда не удалось бы воспользоваться тем дешевым способом путешествовать, о котором фантазировал французский сатирик. В самом деле, отделяясь от поверхности вращающейся Земли, мы *продолжаем по инерции двигаться с прежней скоростью*, то есть с тою же, с какой перемещается под нами Земля. Когда же мы снова опускаемся вниз, мы оказываемся в том самом месте, от которого раньше отделились, подобно тому, как, подпрыгнув в вагоне движущегося поезда, мы опускаемся на прежнее место. Правда, мы будем двигаться по инерции прямолинейно (по касательной), а место под нами — по дуге; но для небольших промежутков времени это почти не меняет дела.

### «Земля, остановись!»

У известного английского писателя Герберта Уэллса есть фантастический рассказ о том, как некий конторщик творил чудеса. Весьма недалекий молодой человек оказался волею судьбы обладателем удивительного дара: стоило ему высказать какое-нибудь пожелание, — и оно немедленно же исполнялось. Однако заманчивый дар, как оказалось, не принес ни его обладателю, ни другим людям ничего, кроме неприятностей. Для нас поучителен конец этой истории.

После затянувшейся ночной попойки конторщик-чудодей, опасаясь явиться домой на рассвете, вздумал воспользоваться своим даром, чтобы продлить ночь. Как это сделать? Надо приказать светилам неба приостановить

[1] Скорость урагана — 40 м в секунду — 144 км в час. Земной же шар на широте, например, Ленинграда проносил бы нас через воздух со скоростью 230 м в секунду — 828 км в час!

свой бег. Конторщик не сразу решился на такой необычайный подвиг, и когда приятель посоветовал ему остановить Луну, он, внимательно поглядев на нее, сказал в раздумье:

«— Мне кажется, она слишком далека для этого... Как вы полагаете?

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

— Гм, — сказал Фотерингей (конторщик. — *Я. П.*). — Хорошо, попробую. Ну...

Он стал в повелительную позу, простер руки над миром и торжественно произнес:

— Земля, остановись! Перестань вращаться!

Не успел он договорить этих слов, как приятели уже летели в пространство со скоростью нескольких дюжин миль в минуту.

Несмотря на это, он продолжал думать. Меньше чем в секунду он успел и подумать и высказать про себя следующее пожелание:

— Что бы ни случилось, пусть я буду жив и невредим!

Нельзя не признать, что желание это было высказано вовремя. Еще несколько секунд, — и он упал на какую-то свежевзрытую землю, а вокруг него, не принося ему никакого вреда, неслись камни, обломки зданий, металлические предметы разного рода; летела и какая-то несчастная корова, разбившаяся при ударе о землю. Ветер дул со страшной силой; он не мог бы даже приподнять голову, чтобы оглянуться вокруг.

— Непостижимо, — воскликнул он прерывающимся голосом. — Что случилось? Буря, что ли? Должно быть, я что-нибудь не так сделал!

Осмотревшись, насколько позволял ему ветер и развевавшиеся фалды пиджака, он продолжал:

— На небе-то, кажется, все в порядке. Вот и Луна. Ну, а все остальное... Где же город? Где дома и улицы? Откуда взялся ветер? Я не приказывал быть ветру.

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

„Что-то такое во вселенной серьезно испортилось, — подумал он, — а что именно — неизвестно“.

Действительно, испортилось. Ни домов, ни деревьев, ни каких-либо живых существ — ничего не было видно. Только бесформенные развалины да разнородные обломки валялись кругом, едва видные среди целого урагана пыли.

Виновник всего этого не понимал, конечно, в чем дело. А между тем оно объяснялось очень просто. Остановив Землю сразу, Фотерингей не подумал об инерции, а между тем она при внезапной остановке кругового движения неминуемо должна была сбросить с поверхности Земли все на ней находящееся. Вот почему дома, люди, деревья, животные — вообще все, что только не было неразрывно связано с главной

массой земного шара, полетело по касательной к его поверхности со скоростью пули. А затем все это вновь падало на Землю, разбиваясь вдребезги.

Фотерингей понял, что чудо, им совершенное, не особенно удачно. А потому им овладело глубокое отвращение ко всяким чудесам, и он дал себе слово не творить их больше. Но прежде нужно было поправить беду, которую он наделал. Беда эта оказалась немалою. Буря свирепела, облака пыли закрыли Луну, и вдали слышен был шум приближающейся воды; Фотерингей видел даже, при свете молнии, целую водяную стену, со страшной скоростью подвигавшуюся к тому месту, на котором он лежал.

Он стал решительным.

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

Затем повторил то же распоряжение грому, молнии и ветру.

Все затихло.

Присев на корточки, он задумался.

„Как бы это опять не наделать какой-нибудь кутерьмы“, — подумал он и затем сказал: „Во-первых, когда исполнится все, что я сейчас прикажу, пусть я потеряю способность творить чудеса и буду таким же, как обыкновенные люди. Не надо чудес. Слишком опасная игрушка. А во-вторых, пусть все будет по-старому: тот же город, те же люди, такие же дома, и я сам такой же, каким был тогда“».

## Письмо с аэроплана

Вообразите, что вы находитесь на аэроплане, который быстро несется над землей. Внизу — знакомые места. Сейчас вы пролетите над домом, где живет ваш приятель. «Хорошо бы послать ему весточку», — мелькает у вас в уме. Быстро пишете вы несколько слов на листке записной книжки, привязываете записку к камню и, выждав момент, когда дом оказывается как раз под вами, выпускаете из рук камень.

Вы в полной уверенности, конечно, что камень упадет в саду дома. Однако он падает вовсе не туда, хотя сад и дом расположены прямо под вами!

Следя за его падением с аэроплана, вы увидели бы странное явление: камень опускается вниз, но в то же время *продолжает оставаться под аэропланом*, словно скользя по привязанной к нему невидимой нити. И когда камень достигнет земли, он будет находиться далеко впереди того места, которое вы наметили.

Здесь проявляется тот же закон инерции, который мешает воспользоваться соблазнительным советом путешествовать по способу Бержерака. Пока камень был в самолете, он несся вместе с машиной. Вы бросили его — но, отделившись от аэроплана и падая вниз, камень не утрачивает своей первоначальной скорости, а, падая, продолжает в то же время совершать движение в воздухе в прежнем направлении. Оба движения, отвесное и горизонтальное, складываются, — и в результате камень летит вниз по кривой линии, оставаясь все время под аэропланом (если только, конечно, сам аэроплан внезапно не изменит направления или скорости полета). Камень летит, в сущности,

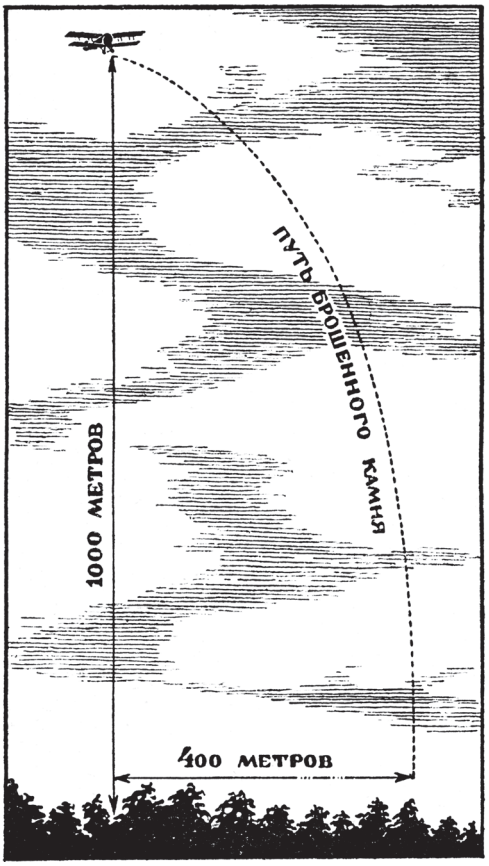



*Рис. 166. Камень, брошенный с летящего аэроплана, падает не отвесно, а по кривой.*

так же, как летит горизонтально брошенное тело, — например, пуля, выброшенная из горизонтально направленного ружья: тело описывает дугообразный путь, упирающийся в землю.

Уклонение от отвесной линии может быть очень значительно, если аэроплан летит высоко и с большою скоростью. В безветренную погоду камень, брошенный с аэроплана, который на высоте 1000 м летит со скоростью 100 км в час, падает метров на 400 впереди места, лежащего отвесно под аэропланом (рис. 166).

Расчет (если пренебречь сопротивлением воздуха) несложен. С высоты 1000 м камень должен падать в течение

$$\sqrt{\frac{2\times 1000}{9{,}8}}\text{, т. е. 14 сек.}$$

За это время он успеет переместиться в горизонтальном направлении на

$$\frac{100\,000}{3600}\times 14 = 390 \text{ м.}$$

## Бомбометание

После сейчас сказанного становится ясным, как трудна задача военного летчика, которому поручено сбросить бомбу над определенным местом: ему приходится принимать в расчет и скорость аэроплана, и условия падения тяжелого тела в воздухе, и кроме того еще скорость ветра. На рис. 167 схематически представлены различные пути, описываемые сброшенной бомбой при тех или иных условиях. Если ветра нет, сброшенная бомба летит по кривой *AF*; почему так — мы объяснили выше. При попутном ветре бомба относится вперед и движется по кривой *AG*. При встречном ветре умеренной силы бомба падает по кривой *AD*, если ветер вверху и внизу одинаков; если же, как часто бывает, ветер внизу имеет направление, противоположное верхнему ветру (наверху встречный, внизу — попутный), кривая падения изменяет свой вид и принимает форму линии *AE*.

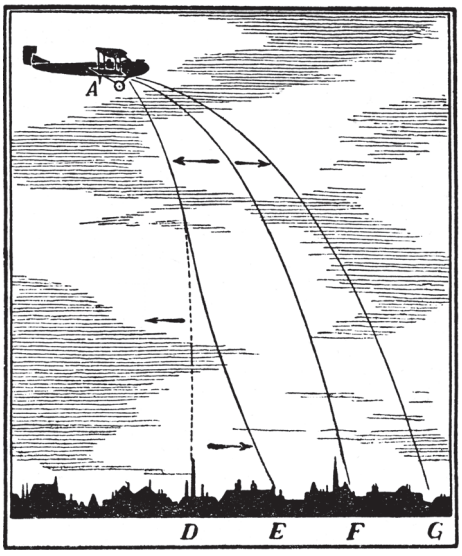



*Рис. 167. Путь, по которому падают бомбы, сброшенные с аэроплана: AF — в безветренную погоду; AG — при попутном ветре: AD — при встречном ветре: AE — при ветре, встречном вверху и попутном внизу.*

## Безостановочная железная дорога

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

Нисколько: вы войдете так же спокойно, как если бы вагон стоял неподвижно. Раз и вы, и поезд движетесь в одну сторону с одинаковой скоростью, то *по отношению к вам поезд находится в полном покое*. Правда, колеса его вращаются, но вам будет казаться, что они вертятся на месте. Строго говоря, и все те предметы, которые мы обычно считаем неподвижными, — например поезд, стоящий у вокзала, — движутся вместе с нами вокруг оси земного шара и вокруг Солнца; однако на практике мы с этим движением нисколько не считаемся[1].

Следовательно, вполне мыслимо устроить так, чтобы поезд, проходя мимо станций, принимал и высаживал пассажиров на полном ходу, не останавливаясь.

Приспособления такого рода нередко устраиваются на выставках, чтобы дать публике возможность быстро и удобно осматривать их достопримечательности, раскинутые на обширном пространстве. Крайние пункты

[1] См. «Занимательную механику» (гл. I), с. 471.

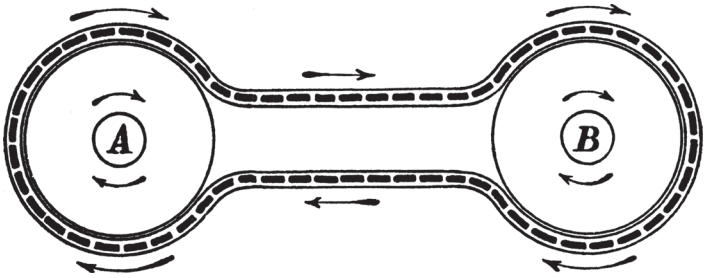



*Рис. 168. Схема устройства безостановочной железной дорога между станциями A и B. Устройство станции показано на следующем рисунке.*

выставочной площади, словно бесконечной лентой, соединяются железной дорогой; пассажиры могут в любой момент и в любом месте входить в вагоны и выходить из них на полном ходу поезда.

Это любопытное устройство показано на прилагаемых рисунках. На рис. 168 буквами *A* и *B* отмечены крайние станции. На каждой станции помещается круглая *неподвижная* площадка, окруженная большим *вращающимся* кольцеобразным диском. Вокруг вращающихся дисков обеих станций обходит канат, к которому прицеплены вагоны. Теперь последите, что происходит при вращении диска. Вагоны бегут вокруг дисков с такою же скоростью, с какою вращаются их внешние края; следовательно, пассажиры без малейшей опасности могут переходить с дисков в вагоны или, наоборот, покидать поезд. Выйдя из вагона, пассажир идет по вращающемуся диску к центру круга, пока не дойдет до *неподвижной* площадки; а перейти с внутреннего края подвижного диска на неподвижную площадку уже нетрудно, так как здесь, при малом радиусе круга, весьма мала и окружная скорость[1]. Достигнув внутренней, неподвижной площадки, пассажиру остается лишь перебраться по мостику на землю вне железной дороги (рис. 169).

Отсутствие частых остановок дает огромный выигрыш во времени и затрате энергии. В городских трамваях, например, бóльшая часть времени и почти две трети всей энергии тратятся на постепенное ускорение движения при отходе со станции и на замедление при остановках[2].

На станциях железных дорог можно было бы обойтись даже без специальных подвижных платформ, чтобы принимать и высаживать пассажиров

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

[2] Потеря энергии на торможение может быть избегнута, если при торможении переключать электромоторы вагона таким образом, чтобы они работали как динамомашины, возвращая ток в сеть. В Шарлоттенбурге (предместье Берлина) благодаря этому расход энергии на трамвайное движение удалось снизить на 30%.

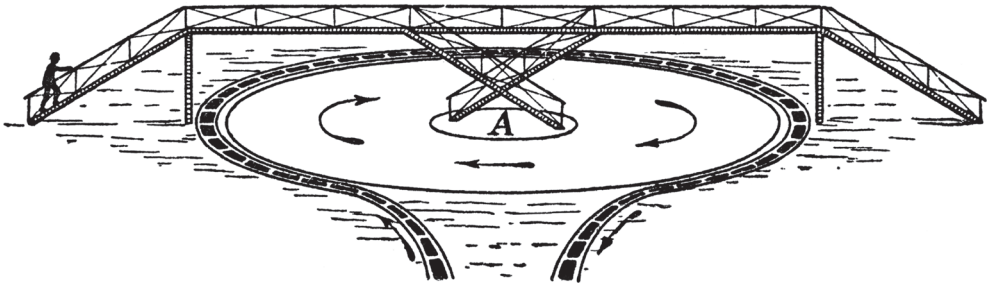



*Рис. 169. Станция безостановочной железной дороги.*

на полном ходу поезда. Вообразите, что мимо обыкновенной неподвижной станции проносится курьерский поезд; мы желаем, чтобы он, не останавливаясь, принял здесь новых пассажиров. Пусть же эти пассажиры займут пока места в другом поезде, стоящем на запасном параллельном пути, и пусть этот поезд начнет двигаться вперед, развивая ту же скорость, что и курьерский. Когда оба поезда окажутся рядом, они будут словно неподвижны *один относительно другого*: достаточно перекинуть мостки, которые соединяли бы вагоны обоих поездов, — и пассажиры вспомогательного поезда смогут спокойно перейти в курьерский. Остановки на станциях сделаются, как видите, излишними.

«Такова теория. Осуществление этого проекта на практике, вероятно, очень хлопотливо; потому-то подобные приспособления нигде еще не устраивались», — писал я в предшествующих изданиях «Занимательной физики». Но с 1924 г. я мог уже добавить, что высказанный проект *осуществлен* в Америке, и именно в том самом виде, в каком он сейчас изложен: на железнодорожных станциях устраивается параллельный путь в 1–2 км длины, по которому ходят трамвайные вагоны, принимающие и высаживающие пассажиров курьерского поезда на полном ходу. Что в 1922 г. было только темой для изобретателей, то в 1924-м уже претворилось в жизнь. Поучительный факт для тех, кто в рассмотрении научных фантазий склонны видеть лишь бесплодную игру ума...

С этим проектом сходен другой, выдвинутый в 1936 г. в США: проект надземной дороги из двух смежных платформ, движущихся с различною скоростью. «Первая платформа, — сообщалось в газетах, — движется со скоростью до 20 км в час и каждую минуту останавливается ровно на 10 сек. Движение ее согласовано с движением второй платформы, которая представляет собой настоящий поезд с сидениями. Этот поезд-платформа движется со скоростью 26 км в час, но время от времени замедляет ход и идет с той же скоростью, что и первая платформа. Когда скорость движения обеих платформ совпадает, пассажиры могут перейти с движущейся платформы на платформу-поезд, который затем ускоряет ход».

### Предупреждение катастроф

Интересным примером использования закона относительного движения может служить запатентованное недавно на Западе приспособление, с помощью которого изобретатель надеется предотвращать столкновения автомобилей с поездами в местах скрещения шоссе с железнодорожным полотном. У переездов устраивается особая въездная площадка, настил которой при приближении поезда начинает автоматически двигаться назад на роликах, подобно бесконечному ремню. Скорость движения настила превышает наибольшую скорость автомобиля; поэтому автомобиль, оказавшийся на такой движущейся площадке, будет отнесен ею назад, как бы ни была велика его скорость. После прохода поезда движение настила прекращается — и автомобиль беспрепятственно проносится через полотно.

### Улицы будущего

На том же законе относительного движения основано и другое приспособление, применявшееся до сих пор только на выставках: так называемые «движущиеся тротуары». Впервые они были осуществлены на выставке в Чикаго в 1893 г., затем на Парижской всемирной выставке в 1900 г.

Вот чертеж такого устройства (рис. 170). Вы видите пять замкнутых полос-тротуаров, движущихся посредством особого механизма, одна внутри другой, с различной скоростью. Самая крайняя полоса идет довольно медленно — со скоростью всего 5 км в час; это обыкновенная скорость пешехода, и, понятно, вступить на такую медленно ползущую полосу нетрудно. Рядом с ней, внутри, бежит вторая полоса, со скоростью 10 км в час. Вскочить на нее прямо с неподвижной улицы было бы опасно, но перейти на нее с первой полосы — ничего не стоит. В самом деле: по отношению к этой первой полосе,

*Рис. 170. Движущиеся тротуары.*

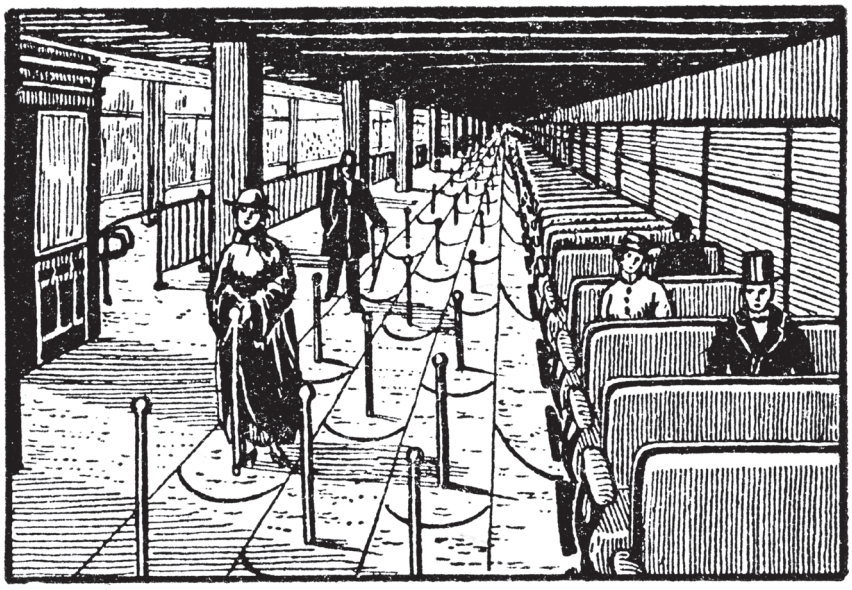


*Рис. 171. Движущаяся улица-поезд под землей (Нью-Йорк). Прежде чем сесть в поезд, пассажиры проходят три движущиеся полосы, бегущие каждая немного быстрее предыдущей.*

ползущей со скоростью 5 км в час, *вторая*, бегущая с быстротой 10 км, делает ведь всего только 5 км; значит, перейти с первой на вторую столь же легко, как перейти с земли на первую. *Третья* полоса движется уже со скоростью 15 км в час, но перейти на нее со *второй* полосы, конечно, нетрудно. Так же легко перейти с третьей полосы на следующую, *четвертую*, бегущую со скоростью 20 км в час и, наконец, с нее на *пятую*, мчащуюся уже со скоростью 25 км в час. Эта пятая полоса доставляет пассажира до того пункта, который ему нужен; отсюда, последовательно переходя обратно с полосы на полосу, он высаживается на неподвижную землю.

Между прочим, подобная непрерывно движущаяся улица-поезд проектируется в Нью-Йорке, в подземном туннеле. Цель — избегнуть чрезмерного скопления пассажиров у станции дороги — вполне будет достигнута, так как можно садиться в поезд в любом месте пути, не дожидаясь остановки.

Подсчитано, что непрерывная дорога обойдется дешевле дорог обычного типа[1].

---

[1] Мне неизвестно, осуществлен ли этот проект в настоящее время.

[Этот проект не был осуществлен — все-таки стоимость изготовления и обслуживания «улицы-поезда» оказалась слишком высокой. Так, строительство сдвоенного движущегося тротуара с тремя конвейерными лентами 600-метровой длины в Атланте обошлось бы подрядчику в 7,5 миллионов долларов — в ценах 1920 г. (*примеч. ред.*).]

## Непостижимый закон

Ни один из трех основных законов механики не вызывает, вероятно, столько недоумений, как знаменитый «третий закон Ньютона» — *закон действия и противодействия*. Все его знают, умеют даже в иных случаях правильно применять, — и однако мало кто верит в его истинность[1]. Может быть, читатель, вам посчастливилось сразу понять его, — но я, сознаюсь, вполне постиг его лишь десяток лет спустя после первого с ним знакомства.

Беседуя с разными лицами, имеющими отношение к механике, я не раз убеждался, что большинство готово признать правильность этого закона лишь с существенными оговорками. Охотно допускают, что он верен для тел неподвижных, но не постигают, как можно применять его к взаимодействию тел движущихся... Действие, — гласит закон, — всегда равно и противоположно противодействию. Это значит, что, если лошадь тянет телегу, телега тянет лошадь назад с такою же силою. Но ведь тогда телега должна оставаться на месте: почему же все-таки она движется? Почему эти силы не уравновешивают одна другую, если они равны?

Таковы обычные недоумения, связанные с этим законом. Значит, закон неверен? Нет, он безусловно верен; мы только неправильно понимаем его. Силы не уравновешивают друг друга просто потому, что приложены к *разным* телам: одна — к телеге, другая — к лошади. Силы равны, да, — но разве одинаковые силы всегда производят одинаковые действия? Разве равные силы сообщают всем телам равные скорости (ускорения)? Разве действие силы на тело не зависит от тела, от величины того сопротивления, которое само тело оказывает силе?

Если подумаете об этом, станет ясно, почему лошадь увлекает телегу, хотя телега тянет ее обратно с такой же силой. Сила, действующая на телегу, и сила, действующая на лошадь, в каждый момент равны; но так как телега свободно перемещается на колесах, а лошадь упирается в землю, то понятно, почему телега катится в сторону лошади. Подумайте и о том, что если бы телега не оказывала противодействия движущей силе лошади, то... можно было бы обойтись и без лошади: самая слабая сила должна была бы привести телегу в движение. Лошадь затем и нужна, чтобы преодолевать противодействие телеги.

Все это усваивалось бы лучше и порождало бы меньше недоумений, если бы закон высказывался не в обычной краткой форме: «действие равно противодействию», а, например, так: «сила противодействующая равна силе действующей». Ведь равны здесь только *силы*, — действия же (если понимать, как обычно понимают, под «действием силы» перемещение тела) обыкновенно не бывают равны, потому что силы приложены к разным телам.

---

[1] Точнее сказать, «мало кто свободен от ряда неясностей в его понимании» (*примеч. ред.*).

Точно так же, когда полярные льды сдавливали корпус «Челюскина», его борта давили на лед с равною силою. Катастрофа произошла оттого, что мощный лед оказался способным выдержать такой напор, не разрушаясь; корпус же судна, хотя и стальной, но не представляющий собою сплошного тела, поддался этой силе, был смят и раздавлен. (Подробнее о физических причинах гибели «Челюскина» рассказано далее, в отдельной статье, на с. 264.)

Даже падение тел строго подчиняется закону противодействия. Яблоко падает на Землю оттого, что его притягивает земной шар; но *с точно такой же силой и яблоко притягивает к себе всю нашу планету*. Строго говоря, яблоко и Земля падают друг на друга, но скорость этого падения различна для яблока и для Земли. Равные силы взаимного притяжения сообщают яблоку ускорение в 10 м/с$^2$, а земному шару — во столько же раз меньшее, во сколько раз масса Земли превышает массу яблока. Конечно, масса земного шара в неимоверное число раз больше массы яблока, и потому Земля получает перемещение настолько ничтожное, что практически его можно считать равным нулю. Оттого-то мы и говорим, что яблоко падает на Землю, вместо того, чтобы сказать: «яблоко и Земля падают друг на друга»[1].

### Отчего погиб Святогор-богатырь?

Помните народную былину о Святогоре-богатыре, который вздумал поднять Землю? Архимед, если верить преданию, тоже готов был совершить такой же подвиг и требовал точки опоры для своего рычага. Но Святогор был силен и без рычага. Он искал лишь, за что ухватиться, к чему приложить богатырские руки. «Как бы я тяги нашел, так бы всю Землю поднял!» Случай представился: богатырь нашел на земле «сумочку переметную», которая «не скрянется, не сворохнется, не подымется».

Слезает Святогор с добра коня,
Ухватил он сумочку обема рукама,
Поднял сумочку повыше колен:
И по колена Святогор в землю угряз,
А по белу лицу не слезы, а кровь течет.
Где Святогор угряз, тут и встать не мог.
Тут ему было и кончение.

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

[1] О законе противодействия см. также мою «Занимательную механику» (глава I), с. 482.

Во всяком случае, из былины видно, что народная наблюдательность давно подметила противодействие, оказываемое землей, когда на нее опираются. Люди бессознательно применяли закон противодействия за тысячелетия до того, как Ньютон впервые провозгласил его в своей бессмертной книге «Математические основы натуральной философии» (то есть физики).

### Можно ли двигаться без опоры?

При ходьбе мы отталкиваемся ногами от земли или от пола; по очень гладкому полу или по льду, от которого нога не может оттолкнуться, ходить нельзя. Паровоз при движении отталкивается «ведущими» колесами от рельсов: если рельсы смазать маслом, паровоз останется на месте. Пароход отталкивается от воды лопастями винта. Аэроплан отталкивается от воздуха также при помощи винта — пропеллера. Словом, в какой бы среде ни двигался предмет, он опирается о нее при своем перемещении. Но может ли тело начать двигаться, не имея *никакой опоры вне себя*?

Казалось бы, стремиться осуществить такое движение — все равно что пытаться самого себя поднять за волосы. Между тем, именно такое будто бы невозможное движение часто происходит на наших глазах. Правда, тело не может привести себя *целиком* в движение одними внутренними силами, но оно может заставить некоторую *часть* своего вещества двигаться в одну сторону, остальную же — в противоположную. Сколько раз видели вы летящую ракету, а задумались ли над вопросом: почему она летит? В ракете мы имеем наглядный пример как раз того рода движения, которое нас сейчас интересует.

### Почему взлетает ракета?

Даже среди людей, изучавших физику, случается нередко слышать совершенно превратное объяснение полета ракеты: она летит потому будто бы, что своими газами, образующимися при горении в ней пороха, *отталкивается от воздуха*. Так думали в старину (ракеты — давнее изобретение), и это мнение разделяется большинством и теперь. Однако, если бы пустить ракету в безвоздушном пространстве, она полетела бы не хуже, а даже лучше, чем в воздухе. Истинная причина движения ракеты совершенно иная. Очень понятно и просто изложил ее революционер-первомартовец Кибальчич в предсмертной своей записке об изобретенной им летательной машине. Объясняя устройство боевых ракет, он писал:

«В жестяной цилиндр, закрытый с одного основания и открытый с другого, вставляется плотно цилиндр из прессованного пороха, имеющий по оси пустоту в виде канала. Горение пороха начинается с поверхности этого канала и распространяется в течение определенного промежутка времени по наружной поверхности

прессованного пороха; образующиеся при горении газы производят давление во все стороны; но боковые давления газов взаимно уравновешиваются, давление же на дно жестяной оболочки пороха, не уравновешенное противоположным давлением (так как в эту сторону газы имеют свободный выход), толкает ракету вперед по тому направлению, на котором она была установлена в станке до зажигания».

Здесь происходит то же, что и при выстреле из пушки: снаряд летит вперед, а сама пушка отталкивается назад. Вспомните «отдачу» ружья и всякого вообще огнестрельного оружия! Если бы пушка висела в воздухе, ни на что не опираясь, она после выстрела двигалась бы назад с некоторой скоростью, которая во столько же раз меньше скорости снаряда, во сколько раз снаряд легче самой пушки. В фантастическом романе Жюля Верна «Вверх дном» американцы задумали даже воспользоваться силой отдачи исполинской пушки для выполнения грандиозной затеи — «выпрямить земную ось».

Ракета — та же пушка, только извергает она не снаряды, а пороховые газы. По той же причине вертится и так называемое китайское колесо, которым, вероятно, случалось вам любоваться при устройстве фейерверков: при горении пороха в трубках, прикрепленных к колесу, газы вытекают в одну сторону, сами же трубки (а с ними и колесо) получают обратное движение. В сущности, это лишь видоизменение общеизвестного физического прибора — сегнерова колеса[1].

Интересно отметить, что до изобретения парохода существовал проект механического судна, основанный на том же начале; запас воды на судне выпускался помощью сильного нагнетательного насоса в кормовой части; вследствие этого корабль должен был двигаться вперед, — как те плавучие жестянки, которые имеются для доказательства рассматриваемого принципа в школьных физических кабинетах. Проект этот (предложенный Ремзи[2]) не был осуществлен, однако он сыграл известную роль в изобретении парохода, так как натолкнул Фультона[3] на его идею.

Мы знаем также, что самая древняя паровая машина, изобретенная Героном Александрийским еще во II веке до нашей эры, была устроена по тому же принципу: пар из котла β (рис. 172) поступал по трубке εεη в шар, укрепленный на горизонтальной оси; вытекая затем из коленчато-изогнутых трубок, пар толкал эти трубки в обратном направлении, и шар начинал вращаться. К сожалению, геронова паровая турбина в древности оставалась

[1] *Сегнерово колесо* — двигатель, основанный на реактивном действии вытекающей воды; был предложен венгерским ученым Яношем Андрошем Сегнером (1704–1777) в 1750 г. (*примеч. ред.*).

[2] *Рамси (Ремзи) Джеймс* (1743–1792) — американский инженер-механик; лодка с водометным движителем была продемонстрирована им на реке Потомак в 1787 г. (*примеч. ред.*).

[3] *Фультон (Фултон) Роберт* (1765–1815) — американский инженер и изобретатель, создатель первого парохода (1807 г.) (*примеч. ред.*).

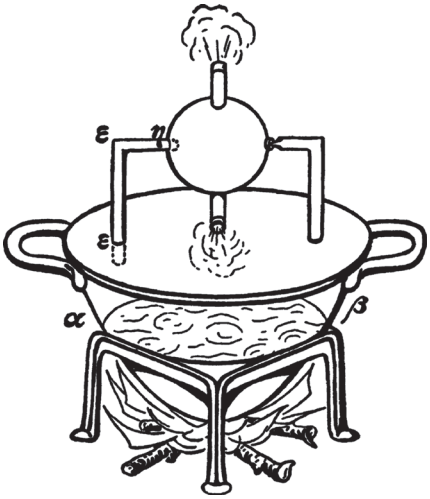



*Рис. 172. Самая древняя паровая машина (турбина), приписываемая Герону Александрийскому (II век до нашей эры).*

только любопытной игрушкой, так как дешевизна труда рабов никого не побуждала к практическому использованию машин. Но самый принцип не заброшен техникой: в наше время он применяется при устройстве реактивных турбин.

Ньютону — автору закона действия и противодействия — приписывают один из самых ранних проектов парового автомобиля, основанный на том же начале: пар из котла, поставленного на колеса, вырывается в одну сторону, а самый котел в силу отдачи катится в противоположную (рис. 173).

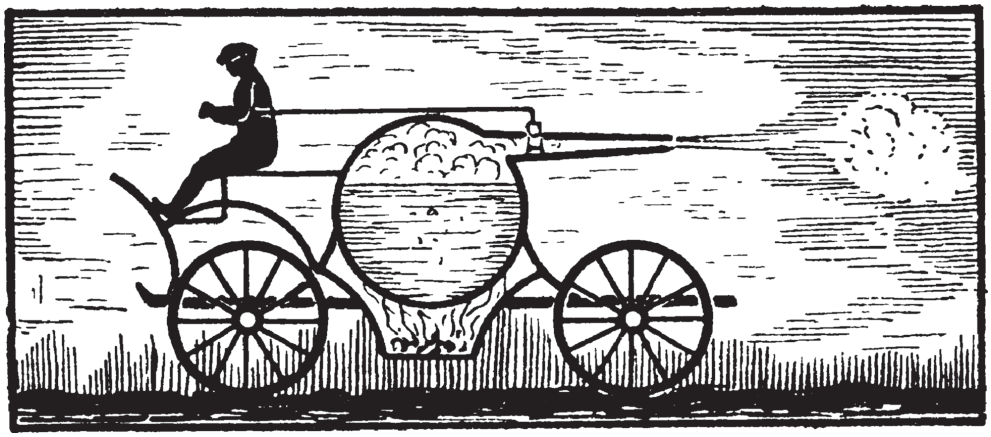


*Рис. 173. Паровой автомобиль, приписываемый Ньютону.*

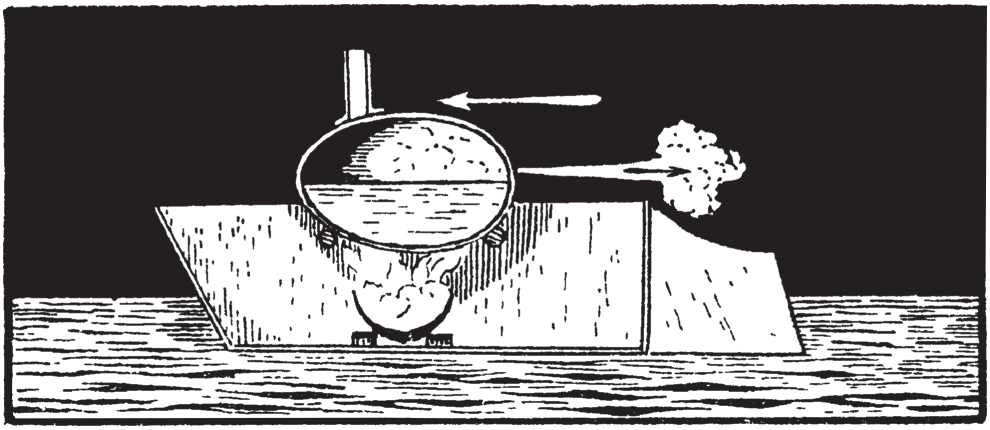


*Рис. 174. Игрушечный пароходик из бумаги и яичной скорлупы. Топливом служит налитый в наперсток спирт. Пар, выбивающийся из отверстия «парового котла» (выдутое яйцо), заставляет пароходик плыть в противоположном направлении.*

Ракетные автомобили, об опытах с которыми в 1928 г. много писали в газетах и журналах, представляют собою современное видоизменение ньютоновой повозки.

Для любителей мастерить приведен здесь рисунок бумажного пароходика, также очень похожего на ньютонову повозку: в паровом котле из опорожненного яйца, нагреваемом намоченной в спирте ваткой в наперстке, образуется пар; вырываясь струей в одну сторону, он заставляет весь пароходик двигаться в противоположную сторону. Для сооружения этой поучительной игрушки нужны, однако, очень искусные руки.

Подобный «реактивный» пароходик, изготовленный из алюминия искусным ленинградским физиком-конструктором Н. Г. Тимофеевым, можно было видеть в Павильоне занимательной науки (в ЦПКО Ленинграда); под действием выбивающейся струйки пара пароходик проворно описывал по поверхности плоского водного бассейна большие круги в обратном направлении.

### Как движется каракатица?

Вам странно будет услышать, что есть немало живых существ, для которых мнимое «поднятие самого себя за волосы» является обычным способом их перемещения в воде.

Каракатица и вообще большинство *головоногих моллюсков* движутся в воде таким образом: забирают воду в жаберную полость через боковую щель и особую воронку впереди тела, а затем энергично выбрасывают струю воды через

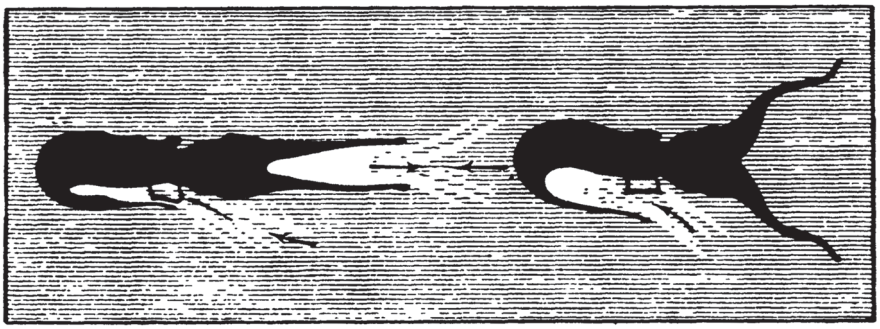


*Рис. 175. Плавательное движение каракатицы.*

упомянутую воронку; при этом они — по закону противодействия — получают обратный толчок, достаточный для того, чтобы довольно быстро плавать задней стороной тела вперед. Каракатица может, впрочем, направить трубку воронки вбок или назад и, стремительно выдавливая из нее воду, двигаться в любом направлении.

На том же основано и движение *медузы*: сокращением мускулов она выталкивает из-под своего колоколообразного тела воду, получая толчок в обратном направлении. Сходным приемом пользуются при движении *сальпы*, личинки *стрекоз* и другие водные животные. А мы еще сомневались, можно ли так двигаться!

## К звездам на ракете

Что может быть заманчивее, чем покинуть земной шар и путешествовать по необъятной Вселенной, перелетать с Земли на Луну, с планеты на планету? Сколько фантастических романов написано на эту тему! Кто только не увлекал нас в воображаемое путешествие по небесным светилам! Вольтер в «Микромегасе», Жюль Верн в «Путешествии на Луну» и «Гекторе Сервадаке», Уэллс в «Первых людях на Луне» и множество их подражателей совершали интереснейшие путешествия на небесные светила, — конечно, в мечтах. В действительности же мы остаемся пока пленниками земного шара[1].

Неужели же нет возможности осуществить эту давнишнюю мечту? Неужели все остроумные проекты, с таким заманчивым правдоподобием изображенные в романах, на самом деле неисполнимы? В дальнейшем мы будем еще беседовать о фантастических проектах межпланетных путешествий; теперь же познакомимся с реальным проектом подобных перелетов, впервые предложенным советским ученым К. Э. Циолковским.

[1] Текст написан в 1916 г., дополнен в 1936 г. (*примеч. ред.*).

Можно ли долететь до Луны на аэроплане? Конечно, нет: аэропланы и дирижабли движутся только потому, что опираются о воздух, отталкиваются от него, — а между Землей и Луной воздуха нет. В мировом пространстве вообще нет никакой среды, на которую мог бы опереться «межпланетный дирижабль». Значит, надо придумать такой аппарат, который способен был бы двигаться и управляться, ни на что не опираясь.

Мы знакомы уже с подобным снарядом в виде игрушки — с ракетой. Отчего бы не устроить огромную ракету, с особым помещением для людей, съестных припасов, баллонов с воздухом и всем прочим? Вообразите, что люди в ракете везут с собой большой запас горючих веществ и могут направлять истечение взрывных газов в любую сторону. Вы получите настоящий управляемый небесный корабль, на котором можно плыть в океане мирового пространства, полететь на Луну, на планеты... Пассажиры смогут, управляя взрывами, увеличивать скорость этого межпланетного дирижабля с необходимой постепенностью, чтобы возрастание скорости было для них безвредно. При желании спуститься на какую-нибудь планету они смогут, повернув свой корабль, постепенно уменьшить скорость снаряда и тем ослабить падение. Наконец, пассажиры смогут таким же способом возвратиться и на Землю.

Вопрос о заатмосферном летании, или «звездоплавании» по принципу ракеты, уже разработан теоретиками у нас (К. Э. Циолковский) и на Западе.

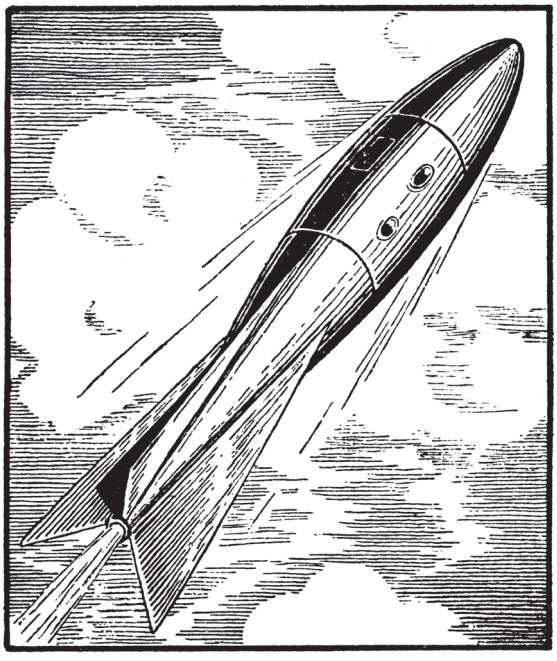


*Рис. 176. Проект межпланетного дирижабля, устроенного наподобие ракеты.*

Пока в этом направлении делаются только первые, весьма скромные шаги[1]. Но вспомним, как недавно еще делала свои первые робкие завоевания авиация. А сейчас — самолеты уже высоко реют в воздухе, перелетают горы, пустыни, материки, океаны; чудесная машина АНТ-25 совершает героический перелет по «Сталинскому маршруту»[2]. Может быть, и «звездоплаванию» предстоит такой же пышный расцвет через два-три десятка лет?[3] Тогда человек разорвет невидимые цепи, так долго приковывавшие его к родной планете, и ринется в безграничный простор Вселенной. Кто видел поучительный советский фильм «Космический рейс»[4], для того немного приоткрыт этот уголок заманчивого будущего.

В СССР успешно ведутся работы над созданием советского ракетного летательного аппарата, столь необходимого для овладения бесконечными просторами стратосферы и для обороны нашей великой социалистической родины.

---

[1] Подробнее о современном состоянии ракетной техники и звездоплавания читатели могут прочесть в моей книге «Межпланетные путешествия», а также в моих книгах «Ракетой на Луну», «К звездам на ракете», «Циолковский. Жизнь и технические идеи».

[2] Я. П. пишет о беспосадочном перелете советских авиаторов (В. П. Чкалова, Г. Ф. Байдукова, А. В. Белякова) по маршруту Москва — остров Удд, совершенном 20–22 июля 1936 г. Спустя год после выхода этой книги, 18–20 июня 1937 г., тот же экипаж на том же самолете совершит знаменитый беспосадочный перелет по маршруту Москва — Северный полюс — Ванкувер (*примеч. ред.*).

[3] Первый полет человека в космос состоялся спустя 25 лет после написания Я. П. этих строк (*примеч. ред.*).

[4] См. примечание на с. 127 (*примеч. ред.*).

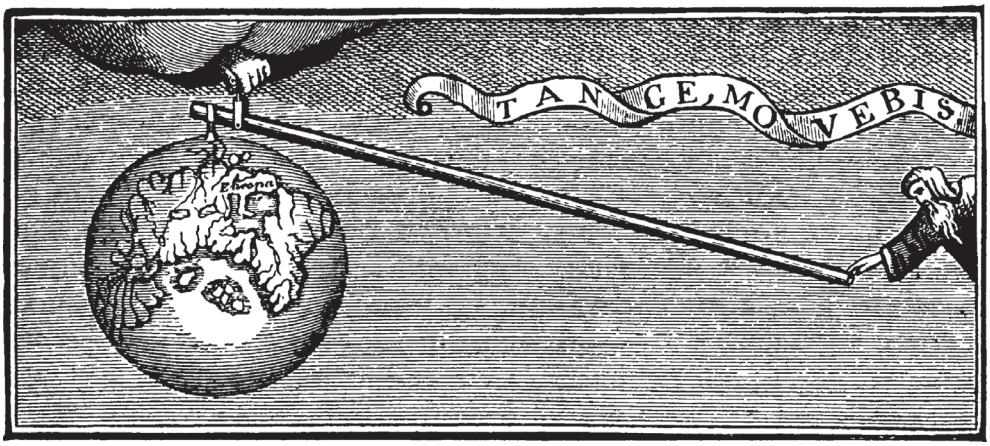



*Рис. 177. «Архимед рычагом поднимает Землю».*
*Гравюра из книги Вариньона (1787) о механике.*

## *ГЛАВА ВТОРАЯ*

## СИЛА — РАБОТА — ТРЕНИЕ

### Задача о лебеде, раке и щуке

История о том, как «лебедь, рак да щука везти с поклажей воз взялись», — известна всем. Но едва ли кто пробовал рассматривать эту басню с точки зрения механики. Результат получается вовсе не похожий на вывод баснописца Крылова.

Перед нами механическая задача на сложение нескольких сил, действующих под углом одна к другой. Направление сил определено в басне так:

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

Это значит (рис. 178), что одна сила, тяга лебедя (*OA*), направлена вверх; другая, тяга щуки (*OB*), — вбок; третья, тяга рака (*OC*), — назад. Не забудем, что существует еще четвертая сила — вес воза, — которая направлена отвесно вниз. Басня утверждает, что «воз и ныне там», другими словами, что равнодействующая всех приложенных к возу сил равна нулю.

Так ли это? Посмотрим. Лебедь, рвущийся к облакам, не мешает работе рака и щуки, даже помогает им: тяга лебедя, направленная против силы тяжести, уменьшает трение колес о землю и об оси, облегчая тем вес воза, а может быть, даже вполне уравновешивая его, — ведь груз невелик («поклажа бы для них

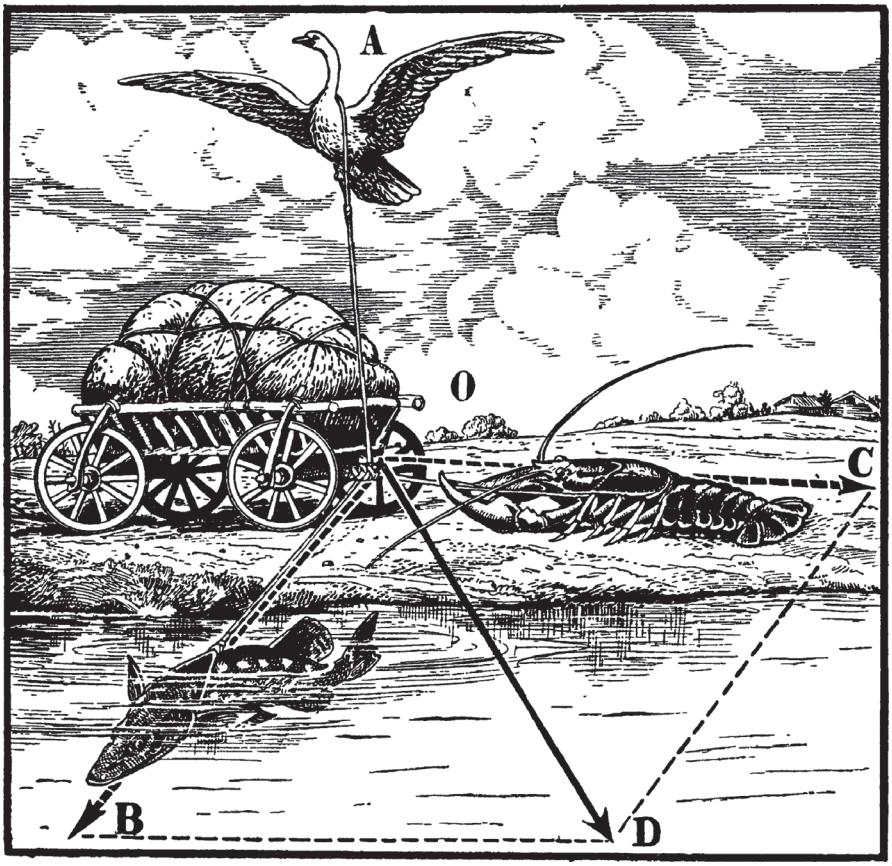



*Рис. 178. Задача о крыловских лебеде, раке и щуке, решенная по правилам механики. Равнодействующая (OD) должна увлекать воз в реку.*

казалась и легка»). Допустив для простоты последний случай, мы видим, что остаются только две силы: тяга рака и тяга щуки. О направлении этих сил говорится, что «рак пятится назад, а щука тянет в воду». Само собой разумеется, что вода находилась не впереди воза, а где-нибудь сбоку (не потопить же воз собрались крыловские труженики!). Значит, силы рака и щуки направлены под углом одна к другой; а если так, то равнодействующая их никак не может равняться нулю.

Поступая по правилам механики, строим на обеих силах *OB* и *OC* параллелограмм; диагональ его *OD* дает направление и величину искомой равнодействующей. Ясно, что эта равнодействующая сила должна сдвинуть воз с места, тем более что вес его вполне или частью уничтожается тягой лебедя. Другой вопрос — в какую сторону сдвинется воз: вперед, назад или вбок? Это зависит уже от соотношения сил и от величины угла между ними.

Читатели, имеющие некоторую практику в сложении и разложении сил, легко разберутся и в том случае, когда сила лебедя не уравновешивает веса воза; они убедятся, что воз и тогда не может оставаться неподвижным. При одном только условии воз может не сдвинуться под действием этих трех сил: если трение у его осей и о полотно дороги больше, чем приложенные усилия. Но это не согласуется с утверждением, что «поклажа бы для них казалась и легка».

Во всяком случае, Крылов не мог с уверенностью утверждать, что «возу все нет ходу», что «воз и ныне там». Это, впрочем, не меняет смысла басни.

## Вопреки Крылову

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

Мало кто знает, что усердные труженики-муравьи, которых тот же Крылов восхвалял как образцовых работников, трудятся совместно именно по осмеянному баснописцем способу. И дело у них в общем идет на лад. Выручает опять закон сложения сил. Внимательно следя за муравьями во время работы, вы скоро убедитесь, что разумное сотрудничество их — только кажущееся: на деле каждый муравей работает сам для себя, вовсе и не думая помогать товарищу.

Вот как описывает работу муравьев один зоолог[1]:

«Если крупную добычу тащит десяток муравьев по ровному месту, то все действуют одинаково, и получается внешность сотрудничества. Но вот добыча — например гусеница — зацепилась за какое-либо препятствие, за стебель травы, за камешек.

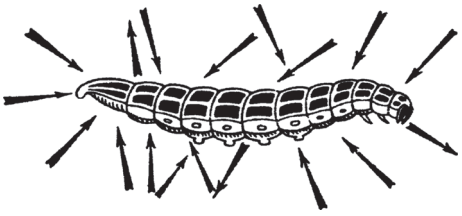


*Рис. 179. Как муравьи тянут добычу. Стрелки показывают направление усилий отдельных муравьев.*

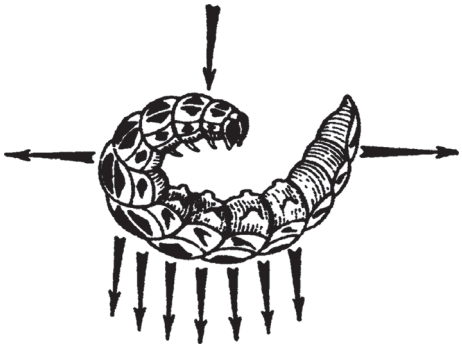


*Рис. 180. Как муравьи волокут гусеницу.*

[1] Е. Елачич, «Инстинкт».

Дальше вперед тащить нельзя, надо обогнуть. И тут с ясностью обнаруживается, что каждый муравей, по-своему и ни с кем из товарищей не сообразуясь, старается справиться с препятствием (рис. 179 и 180). Один тащит направо, другой налево; один толкает вперед, другой тянет назад. Переходят с места на место, хватаются за гусеницу в другом месте, и каждый толкает или тянет по-своему. Когда случится, что силы работающих сложатся так, что в одну сторону будут двигать гусеницу четыре муравья, а в другую шесть, то гусеница в конце концов двинется именно в сторону этих шести муравьев, несмотря на противодействие четырех».

Рис. 180 поясняет сказанное.

Приведем (заимствованный у другого исследователя) еще поучительный пример, наглядно иллюстрирующий это мнимое сотрудничество муравьев. На рис. 181 изображен прямоугольный кусочек сыра, за который ухватилось 25 муравьев. Сыр медленно подвигался в направлении, указанном стрелкой *А*, и можно бы думать, что передняя шеренга муравьев тянет ношу к себе, задняя — толкает ее вперед, боковые же муравьи помогают тем и другим. Однако это не так, в чем нетрудно убедиться: отделите ножом всю заднюю шеренгу, — ноша поползет гораздо быстрее! Ясно, что эти 11 муравьев тянули назад, а не вперед: каждый из них старался повернуть ношу так, чтобы, пятясь назад, волочить ее к гнезду. Значит, задние муравьи не только не помогали передним, но усердно мешали им, уничтожая их усилия. Чтобы волочить этот кусочек сыра, достаточно было бы усилий всего четырех муравьев, но несогласованность действий и взаимное мешание приводят к тому, что ношу тащат 25 муравьев[1].

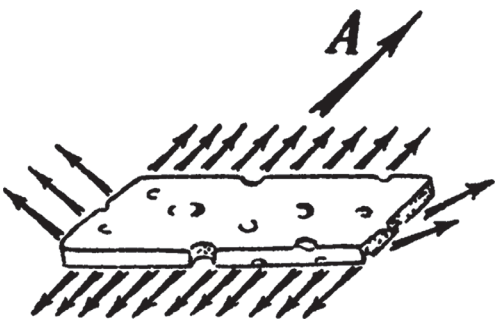



*Рис. 181. Как муравьи стараются притащить кусочек сыра к муравейнику, расположенному в направлении стрелки А.*

[1] Достойно удивления, что эта особенность совместных действий муравьев давно уже подмечена была американским юмористом Марком Твеном. Рассказывая о встрече двух муравьев, из которых один нашел ножку кузнечика, он говорит: «Они берут ногу за оба конца и тянут изо всех сил в противоположные стороны. Оба видят, что что-то неладно, но что — не могут понять. Начинаются взаимные пререкания; спор переходит в драку... Происходит примирение, и снова начинается совместная и бессмысленная работа, причем раненный в драке товарищ является только помехой. Стараясь изо всей мочи, здоровый товарищ тащит ношу, а с ней и раненого друга, который вместо того, чтобы уступить добычу, висит на ней...»

Шутя, Твен бросает совершенно правильное замечание, что «муравей хорошо работает только тогда, когда за ним наблюдает неопытный натуралист, делающий неверные выводы».

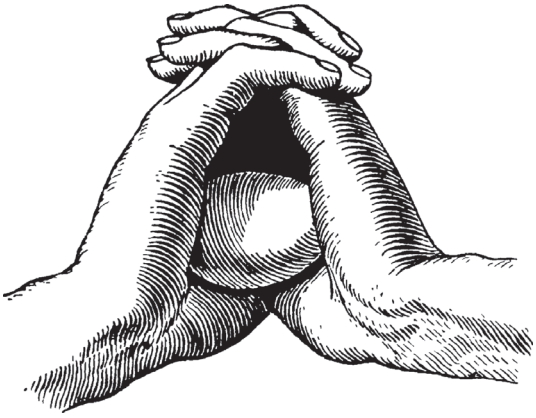


*Рис. 182. Чтобы сломать яйцо в таком положении, требуется значительное усилие.*

### Легко ли сломать яичную скорлупу?

В числе философских вопросов, над которыми ломал свою мудрую голову глубокомысленный Кифа Мокиевич из «Мертвых душ», была такая проблема: «Ну, а если бы слон родился в яйце, ведь скорлупа, чай, сильно бы толста была, — пушкой не прошибешь; нужно какое-нибудь новое огнестрельное орудие выдумать».

Гоголевский философ был бы, вероятно, немало изумлен, если бы узнал, что и обыкновенная *яичная* скорлупа, несмотря на тонкость, — тоже далеко не нежная вещь. Раздавить яйцо между ладонями, напирая на его концы, не так-то легко; нужно немалое усилие, чтобы сломать скорлупу при подобных условиях[1].

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

На прилагаемом рис. 183 изображен разрез небольшого каменного свода над окном. Груз *S* (т. е. вес вышележащих частей кладки), напирающий на клинообразный средний камень свода, давит вниз с силой, которая обозначена на рисунке стрелкой *A*. Но сдвинуться вниз камень не может вследствие своей клинообразной формы; он только давит на соседние камни. При этом сила *A* разлагается, по правилу параллелограмма, на две силы, обозначенные стрелками *C* и *B*; они уравновешиваются сопротивлением прилегающих камней, в свою очередь зажатых между соседними. Таким образом, сила, давящая на свод *снаружи*, не может его разрушить. Зато сравнительно легко разрушить

[1] Опыт представляет некоторую опасность (скорлупа может вонзиться в руку) и требует осмотрительности.

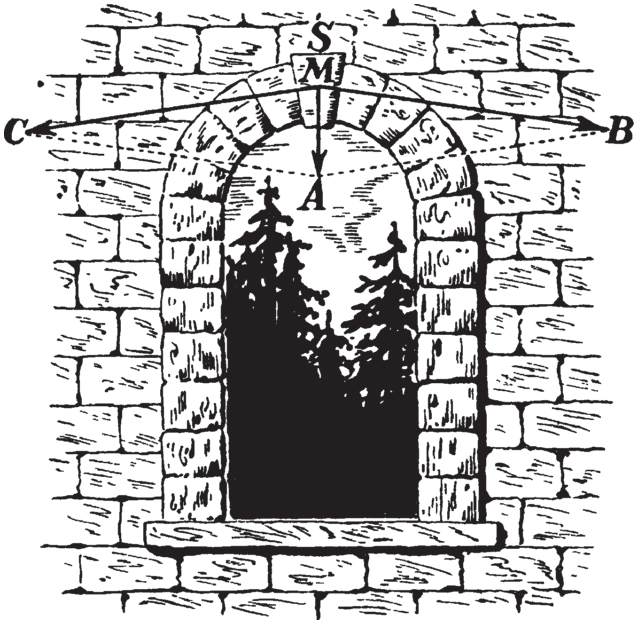



*Рис. 183. Причина прочности свода.*

его силой, действующей *изнутри*. Это и понятно, так как клинообразная форма камней, мешающая им *опускаться*, нисколько, однако, не препятствует им *подниматься*.

Скорлупа яйца — тот же свод, только сплошной, а не составленный из отдельных частей. При давлении *снаружи* он разрушается не так легко, как можно бы ожидать от такого хрупкого материала. Можно поставить довольно тяжелый стол ножками на четыре сырых яйца, — и они не раздавятся (для устойчивости яиц и увеличения площади давления надо снабдить яйца на концах гипсовыми расширениями; гипс легко пристает к известковой скорлупе).

Теперь вы понимаете, почему наседке не приходится опасаться сломать скорлупу яиц тяжестью своего тела. И в то же время слабый птенчик, желая выйти из природной темницы, без труда пробивает клювиком скорлупу *изнутри*.

С легкостью разламывая скорлупу яйца боковым ударом чайной ложечки, мы и не подозреваем, как прочна она, когда давление действует на нее при естественных условиях, и какой надежной броней защитила природа развивающееся в ней живое существо.

Загадочная прочность электрических лампочек, казалось бы столь нежных и хрупких, объясняется так же, как и прочность яичной скорлупы. Их крепость станет еще поразительнее, если вспомним, что многие из них (пустотные,

а не газополные) — почти *абсолютно пусты* и ничто *изнутри* не противодействует давлению внешнего воздуха. А величина давления воздуха на электрическую лампочку весьма немалая: при поперечнике в 10 см она сдавливается с обеих сторон силою более 75 кг (вес человека!). Опыт показывает, что пустотная электрическая лампочка способна выдержать даже в 2½ раза большее давление.

### Под парусами против ветра

Не моряку кажется непостижимым, как могут парусные суда идти «против ветра» — или, по выражению моряков, идти «в бейдевинд». Правда, моряк скажет вам, что прямо против ветра идти под парусами нельзя, а можно двигаться лишь под острым углом к направлению ветра. Но угол этот мал — около четверти прямого угла, — и представляется, пожалуй, одинаково непонятным: плыть ли прямо против ветра или под углом к нему в 22°.

На деле это, однако, не безразлично, и мы сейчас объясним, каким образом можно силой ветра идти навстречу ему под небольшим углом. Сначала рассмотрим, как вообще действует ветер на парус, т. е. куда он толкает парус, когда дует на него. Если вы не моряк, то, вероятно, думаете, что ветер всегда толкает парус в ту сторону, куда сам дует. Но это не так: куда бы ветер ни дул, он толкает парус перпендикулярно к его плоскости. В самом деле: пусть ветер дует в направлении, указанном стрелками на рис. 184; линия *AB* обозначает парус. Так как ветер напирает равномерно на всю поверхность паруса, то заменяем давление ветра силой *R*, приложенной к середине паруса. Эту силу разложим на две: силу *Q*, перпендикулярную к парусу, и силу *P*, направленную вдоль него (рис. 184, справа). Последняя сила никуда не толкает парус, так как трение ветра о холст незначительно. Остается сила *Q*, которая толкает парус под прямым углом к нему.

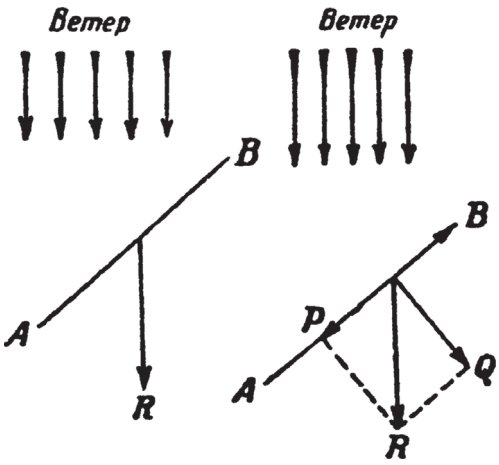



*Рис. 184. Ветер толкает парус всегда под прямым углом к его плоскости.*

Зная это, мы легко поймем, как может парусное судно идти под острым углом навстречу ветру. Пусть линия *KK* (рис. 185) 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. 185 за разложением сил. Напор ветра на парус мы изображаем силой *Q*, которая, мы знаем,

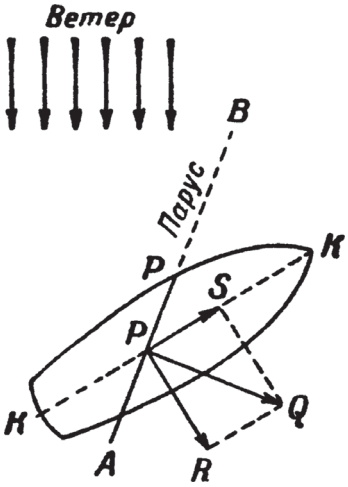



*Рис. 185. Как можно идти на парусах против ветра.*

должна быть перпендикулярна к парусу. Силу эту разложим на две: силу *R*, перпендикулярную к килю, и силу *S*, направленную вперед, вдоль килевой линии судна. Так как движение судна в направлении *R* встречает сильное сопротивление воды (киль в парусных судах делается очень глубоким), то сила *R* почти полностью уравновешивается сопротивлением воды. Остается одна лишь сила *S*, которая, как видите, направлена вперед и, следовательно, подвигает судно под углом, как бы навстречу ветру[1]. Обыкновенно это движение выполняется зигзагами, как показывает рис. 186. На языке моряков такое движение судна называется «лавировкой» в тесном смысле слова.

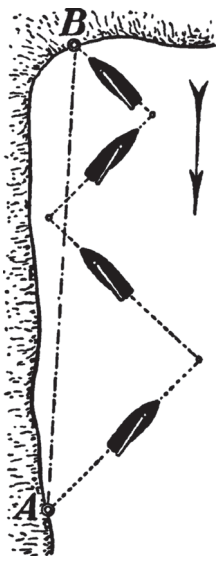



*Рис. 186. Лавировка парусного судна.*

### Мог ли Архимед поднять Землю?

«Дайте мне точку опоры, и я подниму Землю!» — такое восклицание легенда приписывает Архимеду, гениальному механику древности, открывшему законы рычага. «Однажды Архимед, — читаем мы у Плутарха, — написал сиракузскому царю Гиерону, которому он был родственник и друг, что данной силой можно подвинуть какой угодно груз. Увлеченный силой доказательств, он прибавил, что если бы была другая Земля, он, перейдя на нее, сдвинул бы с места нашу».

Архимед знал, что нет такого груза, которого нельзя было бы поднять самой слабой силой, если воспользоваться рычагом: стоит только приложить эту силу к очень длинному плечу рычага, а короткое плечо заставить действовать на груз. Поэтому он и думал, что, напирая на чрезвычайно длинное плечо рычага, можно силой рук поднять и груз, масса которого равна массе земного шара[2].

[1] Можно доказать, что сила *S* получает наибольшее значение тогда, когда плоскость паруса делит пополам угол между направлениями киля и ветра.

[2] Под выражением «поднять Землю» мы будем подразумевать — чтобы внести определенность в задачу — поднятие на земной поверхности такого груза, масса которого равна массе нашей планеты.

Но если бы великий механик древности знал, как огромна масса земного шара, он, вероятно, воздержался бы от своего горделивого восклицания. Вообразим на мгновение, что Архимеду дана та «другая Земля», та точка опоры, которую он искал; вообразим далее, что он изготовил рычаг нужной длины. Знаете ли, сколько времени понадобилось бы ему, чтобы груз, равный по массе земному шару, поднять хотя бы на один сантиметр? *Не менее тридцати тысяч биллионов*[1] *лет*!

В самом деле. Масса Земли известна астрономам[2]; тело с такой массой весило бы на Земле круглым числом

6 000 000 000 000 000 000 000 тонн.

Если человек может непосредственно поднять только 60 кг, то, чтобы «поднять Землю», ему понадобится приложить свои руки к длинному плечу рычага, которое больше короткого в

100 000 000 000 000 000 000 000 раз!

Простой расчет убедит вас, что, пока конец короткого плеча поднимается на 1 см, другой конец опишет во Вселенной огромную дугу в

1 000 000 000 000 000 000 км.

Такой невообразимо длинный путь должна была бы пройти рука Архимеда, налегающая на рычаг, чтобы «поднять Землю» только на один сантиметр! Сколько же времени понадобится для этого? Если считать, что Архимед способен был поднять груз в 60 кг на высоту 1 м в одну секунду (работоспособность почти в целую лошадиную силу!), то и тогда для «поднятия Земли» на 1 см потребуется

1 000 000 000 000 000 000 000 секунд,

или тридцать тысяч биллионов лет! За всю свою долгую жизнь Архимед, напирая на рычаг, не «поднял бы Земли» даже на толщину тончайшего волоса...

Никакие ухищрения гениального изобретателя не помогли бы ему заметно сократить этот срок. «Золотое правило механики» гласит, что на всякой машине выигрыш в силе неизбежно сопровождается соответствующей потерей в длине перемещения, т. е. во времени. Если бы даже Архимед довел быстроту своей руки до величайшей скорости, какая возможна в природе, — до 300 000 км в секунду (скорость света), то и при таком фантастическом допущении он «поднял бы Землю» на 1 см лишь после *десяти миллионов лет* работы.

---

[1] Здесь *биллион* = $10^9$; в современной российской системе наименования это число называют *миллиард* (*примеч. ред.*)

[2] О том, как она была определена, см. «Занимательную астрономию».

## Жюль-верновский силач и формула Эйлера

Вы помните у Жюля Верна силача-атлета Матифу? «Великолепная голова, пропорциональная исполинскому росту; грудь, похожая на кузнечный мех; ноги — как хорошие бревна, руки — настоящие подъемные краны, с кулаками, похожими на молоты»... Вероятно, из подвигов этого силача, описанных в романе «Матиас Сандорф», вам памятен поразительный случай с судном «Трабоколо», когда наш гигант силой могучих рук задержал спуск целого корабля.

Вот как рассказывает романист об этом подвиге:

«Судно, освобожденное уже от подпорок, которые поддерживали его по бокам, было готово к спуску. Достаточно было отнять швартов, чтобы судно начало скользить вниз. Уже с полдюжины плотников возились под килем судна. Зрители с живым любопытством следили за операцией. В этот момент, обогнув береговой выступ, появилась увеселительная яхта. Чтобы войти в порт, яхта должна была пройти перед верфью, где подготовляли спуск „Трабоколо“, и, как только она подала сигнал, пришлось, во избежание всяких случайностей, задержать спуск, чтобы снова приняться за дело после прохода яхты в канал. Если бы суда, — одно, стоявшее поперек, другое, подвигающееся с большой быстротой, — столкнулись, яхта погибла бы.

Рабочие перестали стучать молотками. Все взоры были устремлены на грациозное судно, белые паруса которого казались позолоченными в косых лучах солнца. Скоро яхта очутилась как раз против верфи, где замерла тысячная толпа любопытных. Вдруг раздался крик ужаса: „Трабоколо“ закачалось и пришло в движение в тот самый момент, когда яхта повернулась к нему штирбортом! Оба судна готовы были столкнуться; не было ни времени, ни возможности помешать этому столкновению. „Трабоколо“ быстро скользило вниз по наклону... Белый дымок, появившийся вследствие трения, закрутился перед его носом, тогда как корма погрузилась уже в воду бухты (судно спускалось кормой вперед. — *Я. П.*).

Вдруг появляется человек, схватывает швартов, висящий у передней части „Трабоколо“, и старается удержать его, пригнувшись к земле. В одну минуту он наматывает швартов на вбитую в землю железную трубу и, рискуя быть раздавленным, держит с нечеловеческой силой в руках канат в продолжение 10 секунд. Наконец швартов обрывается. Но этих 10 секунд было достаточно: „Трабоколо“, погрузившись в воду, только слегка задело яхту и пронеслось вперед.

Яхта была спасена. Что касается человека, которому никто не успел даже прийти на помощь, — так быстро и неожиданно все произошло, — то это был Матифу».

Как изумился бы автор романа, если бы ему сказали, что для совершения подобного подвига не нужно вовсе быть великаном и обладать, как Матифу, «силою тигра». Каждый находчивый человек, при обыкновенной силе мышц, мог бы сделать то же самое!

Механика учит, что при скольжении каната, навитого на тумбу, трение достигает сильнейшей степени. Чем больше число оборотов каната, тем трение

больше; правило возрастания трения таково, что с увеличением числа оборотов в прогрессии арифметической — трение растет в прогрессии геометрической. Поэтому даже слабый ребенок, держа за свободный конец каната, 3–4 раза навитого на неподвижный вал, может уравновесить огромную силу. Подростки часто на речных пароходных пристанях останавливают этим приемом подходящие к пристаням пароходы с сотней пассажиров. Помогает им не феноменальная сила их рук, а установленная знаменитым математиком XVIII века Эйлером зависимость величины трения от числа оборотов веревки вокруг сваи.

Для тех, кого не пугает сжатый язык алгебраических выражений, приводим эту поучительную формулу Эйлера:

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

Здесь $F$ — та сила, против которой направлено наше усилие $f$. Буквой $e$ обозначено число 2,718...[1]; $k$ — коэффициент трения между канатом и тумбой. Буквой $\alpha$ обозначен «угол навивания», т. е. отношение длины дуги, охваченной веревкой, к радиусу этой дуги.

Применим формулу к тому случаю, который описан у Жюля Верна. Результат получится поразительный. Силой $F$ в данном случае является сила тяги судна, скользящего по доку. Вес судна из романа известен: 50 т. Пусть наклон стапеля $\frac{1}{10}$; тогда на канат действовал не полный вес судна, а $\frac{1}{10}$ его, т. е. 5 т, или 5000 кг.

Далее, величину $k$ — коэффициента трения каната о железную тумбу — будем считать равной $\frac{1}{3}$. Величину $\alpha$ легко определим, если примем, что Матифу обвил канат вокруг тумбы всего три раза. Тогда:

$$\alpha = \frac{3 \times 2\pi r}{r} = 6\pi.$$

Подставив все эти значения в приведенную выше формулу Эйлера, получим уравнение:

$$5000 = f \times 2{,}726\pi \times \tfrac{1}{3} = f \times 2{,}722\pi.$$

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

$$\lg 5000 = \lg f + 2\pi \times \lg 2{,}72,$$

откуда

$$f = 9{,}3 \text{ кг}.$$

Итак, чтобы совершить подвиг, великану достаточно было тянуть канат с силой лишь 10 килограммов!

---

[1] Основание натуральных логарифмов (*примеч. ред.*).

Не думайте, что эта цифра — 10 кг — только теоретическая и что на деле потребуется усилие гораздо большее. Напротив, наш результат даже преувеличен: при *пеньковой веревке и деревянной* свае, когда коэффициент трения $k$ больше, усилие потребуется до смешного ничтожное. Лишь бы веревка была достаточно крепка и могла выдержать натяжение, — тогда даже слабый ребенок, благодаря формуле Эйлера, мог бы, навив веревку 3–4 раза, не только повторить подвиг жюль-верновского богатыря, но и превзойти его.

### От чего зависит крепость узлов

В обыденной жизни мы, сами не подозревая, часто пользуемся выгодой, на которую указывает нам *формула Эйлера*. Что такое узел, как не бечевка, навитая на валик, роль которого в данном случае играет другая часть той же бечевки? Крепость всякого рода узлов — обыкновенных, «беседочных», «морских», завязок, бантов и т. п. — зависит исключительно от трения, которое здесь во много раз усиливается вследствие того, что шнурок обвивается вокруг себя, как веревка вокруг тумбы. В этом нетрудно убедиться, проследив за изгибами шнурка в узле. Чем больше изгибов, чем больше раз бечевка обвивается вокруг себя, — тем больше «угол навивания» в формуле Эйлера и, следовательно, тем крепче узел.

Бессознательно пользуется формулой Эйлера и портной, пришивая пуговицу. Он много раз обматывает нить вокруг захваченного стежком участка материи и затем обрывает ее; если только нитка крепка, пуговица не отпорется. Здесь применяется уже знакомое нам правило: с увеличением числа оборотов нитки в прогрессии арифметической крепость шитья возрастает в прогрессии геометрической.

Если бы не было трения, мы не могли бы пользоваться пуговицами: нитки размотались бы под их тяжестью, и пуговицы отвалились бы.

### Если бы не было трения

Вы видите из сейчас сказанного, как разнообразно и порой неожиданно проявляется роль трения в окружающей нас обстановке. Трение принимает участие, и притом весьма существенное, в целом ряде таких явлений, где мы о нем даже и не подозреваем. Если бы трение внезапно исчезло из мира, огромное множество обычных явлений протекало бы совершенно иным образом.

Очень картинно пишет о роли трения французский физик Гильом[1]:

«Всем нам случалось выходить в гололедицу: сколько усилий стоило нам удерживаться от падения, сколько смешных движений приходилось нам проделывать, чтобы

[1] *Гильом (Гийом) Шарль Эдуар* (1861–1938) — швейцарско-французский физик, лауреат Нобелевской премии 1920 г. (*примеч. ред.*).

устоять! Это заставляет нас признать, что обычно Земля, по которой мы ходим, обладает драгоценным свойством, благодаря которому мы сохраняем равновесие без особых усилий. Та же мысль возникает у нас, когда мы едем на велосипеде по скользкой мостовой или когда лошадь скользит по асфальту и падает. Изучая подобные явления, мы приходим к открытию тех следствий, к которым приводит трение. Инженеры стремятся по возможности устранить его в машинах — и хорошо делают. В прикладной механике о трении говорится как о крайне нежелательном явлении, и это правильно, — однако лишь в узкой, специальной области. Во всех прочих случаях мы должны быть благодарны трению: оно дает нам возможность ходить, сидеть и работать без опасения, что книги и чернильница упадут на пол, что стол будет скользить, пока не упрется в угол, а перо выскользнет из пальцев.

Трение представляет настолько распространенное явление, что нам, за редкими исключениями, не приходится призывать его на помощь: оно является к нам само. Иногда услугами трения пренебрегают, — и это ведет к печальным результатам.

Трение способствует устойчивости. Плотники выравнивают пол так, что столы и стулья остаются там, куда их поставили. Блюда, тарелки, стаканы, поставленные на стол, остаются неподвижными без особых забот с нашей стороны, если только дело не происходит на пароходе во время качки.

Вообразим, что трение может быть устранено совершенно. Тогда никакие тела, будь они величиною с каменную глыбу или малы, как песчинка, никогда не удержатся одно на другом: все будет скользить и катиться, пока не окажется на одном уровне. Не будь трения, Земля предоставляла бы шар без неровностей, подобно жидкому».

К этому можно прибавить, что при отсутствии трения гвозди и винты выскальзывали бы из стен, ни одной вещи нельзя было бы удержать в руках, никакой постройки невозможно было бы возвести, никакой вихрь никогда бы не прекращался, никакой звук не умолкал бы, а звучал бы бесконечным эхом, неослабно отражаясь от стен комнаты.

Наглядный урок, убеждающий нас в огромной важности трения, дает нам всякий раз гололедица. Застигнутые ею на улице, мы оказываемся беспомощными и не рискуем ступить ни шагу, чтобы не упасть. Вот поучительная выдержка из газеты (декабрь 1927 г.):

«Лондон, 21. Вследствие сильной гололедицы уличное и трамвайное движение в Лондоне заметно затруднено. Около 1400 человек поступило в больницы с переломом рук, ног и т. д.».

«При столкновении вблизи Гайд-парка трех автомобилей и двух трамвайных вагонов машины были совершенно уничтожены из-за взрыва бензина...»

«Париж, 21. Гололедица в Париже и его пригородах вызвала многочисленные несчастные случаи...»

Однако ничтожное трение на льду может быть успешно использовано технически. Уже обыкновенные сани служат тому примером. Еще лучше свидетельствуют об этом так называемые ледяные дороги, устраиваемые

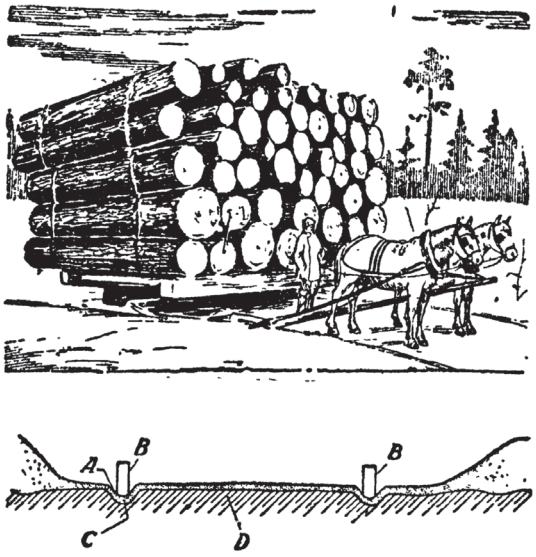



*Рис. 187. Вверху — нагруженные сани на ледяной дороге; две лошади везут 70 т груза. Внизу — ледяная дорога: A — колея; B — полоз; C — уплотненный снег; D — земляное основание дороги.*

для вывозки леса с места рубки к железной дороге или к пунктам сплава. На такой дороге, имеющей словно гладкие ледяные рельсы, две лошади тащат сани, нагруженные 70 тоннами бревен (рис. 187).

### Физическая причина катастрофы «Челюскина»

Из сказанного сейчас не следует делать поспешного вывода, что трение о лед ничтожно при всяких обстоятельствах. Даже при температуре, близкой к нулю, трение о лед бывает нередко довольно значительно. В последние годы, в связи с работой наших ледоколов, тщательно изучалось трение льда полярных морей о стальную обшивку корабля. Оказалось, что оно неожиданно велико, не меньше трения железа по железу: коэффициент трения новой стальной судовой обшивки о лед равен 0,2.

Чтобы понять, какое значение имеет эта цифра для судов при плавании во льдах, разберемся в рисунке 188; он изображает направление сил, действующих на борт $MN$ судна при напоре льда. Сила $P$ давления льда разлагается на две силы: $R$ — перпендикулярную к борту и $F$ — направленную по касательной к борту. Угол между $P$ и $R$ равен углу $\alpha$ наклона борта к вертикали. Сила $Q$ трения льда о борт равна силе $R$, умноженной на коэффициент трения, то есть на 0,2; имеем $Q = 0{,}2R$. Если сила трения $Q$ меньше $F$, последняя сила увлекает напирающий лед под воду; лед скользит вдоль борта, не успевая

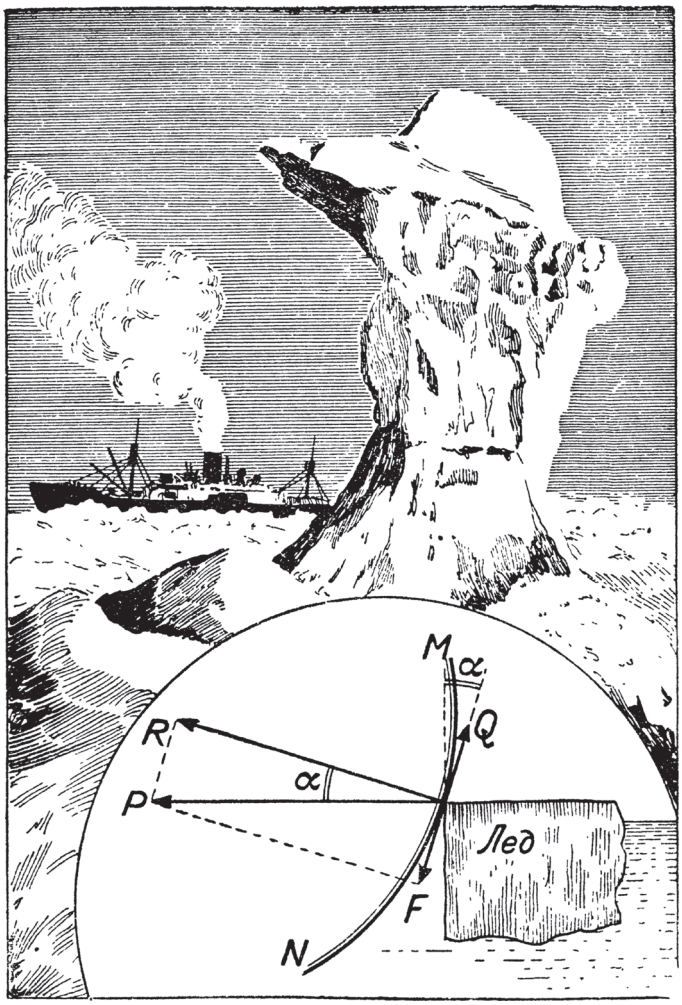



*Рис. 188. «Челюскин», затертый во льдах.*
*Внизу: силы, действующие на борт MN судна при напоре льда.*

причинить судну вреда. Если же сила $Q$ больше $F$, трение мешает скольжению льдины, и лед при продолжительном напоре может смять и продавить борт.

Когда же $Q < F$? Легко видеть, что $F = R \operatorname{tg} \alpha$; следовательно, должно существовать неравенство $Q < R \operatorname{tg} \alpha$; а так как $Q = 0{,}2R$, то неравенство $Q < F$ приводит к другому:

$$0{,}2R < R \operatorname{tg} \alpha,$$

или

$$\operatorname{tg} \alpha > 0{,}2.$$

По таблицам отыскиваем угол, тангенс которого 0,2; он равен 11°. Значит, $Q < F$ тогда, когда $\alpha > 11°$. Тем самым определяется, какой наклон бортов корабля к вертикали обеспечивает безопасное плавание во льдах: наклон должен быть не меньше 11°.

Обратимся теперь к гибели «Челюскина». Этот пароход, не ледокол, успешно прошел весь северный морской путь, но в Беринговом проливе оказался зажатым во льдах.

Льды унесли «Челюскин» далеко на север и раздавили (в феврале 1934 г.). Двухмесячное героическое пребывание челюскинцев на льдине и спасение их героями-летчиками общеизвестны.

Вот описание самой катастрофы:

«Крепкий металл корпуса сдал не сразу, — сообщал по радио начальник экспедиции проф. О. Ю. Шмидт. — Видно было, как льдина вдавливается в борт и как над нею листы обшивки пучатся, изгибаясь наружу. Лед продолжал медленное, но неотразимое наступление. Вспученные железные листы обшивки корпуса разорвались по шву. С треском летели заклепки. В одно мгновение левый борт парохода был оторван от носового трюма до кормового конца палубы»...

После того, что сказано было в этой статье, читателю должна быть понятна физическая причина катастрофы.

Отсюда вытекают и практические следствия: при сооружении судов, предназначенных для плавания во льдах, необходимо придавать бортам их надлежащий уклон, а именно не менее 11°.[1]

### Самоуравновешивающаяся палка

На указательные пальцы расставленных рук положите гладкую палку, как показано на рис. 189. Теперь двигайте пальцы навстречу друг другу, пока они сойдутся вплотную. Странная вещь! Окажется, что в этом окончательном положении палка не опрокидывается, а сохраняет равновесие. Вы проделываете опыт много раз, меняя первоначальное положение пальцев, но результат неизменно тот же: палка оказывается уравновешенной. Заменив палку чертежной линейкой, тростью с набалдашником, биллиардным кием, половой щеткой, — вы заметите ту же особенность.

В чем разгадка неожиданного финала?

Прежде всего устанавливаем следующее: раз палка оказывается уравновешенной на примкнутых пальцах, то ясно, что пальцы сошлись под центром тяжести палки (тело остается в равновесии, если отвесная линия, проведенная из центра тяжести, проходит внутри границ опоры). Далее соображаем, что, когда пальцы раздвинуты, бóльшая нагрузка приходится на тот палец, который ближе к центру тяжести палки. С давлением растет и трение;

[1] Угол, тангенс которого равен коэффициенту трения льда об обшивку корабля.

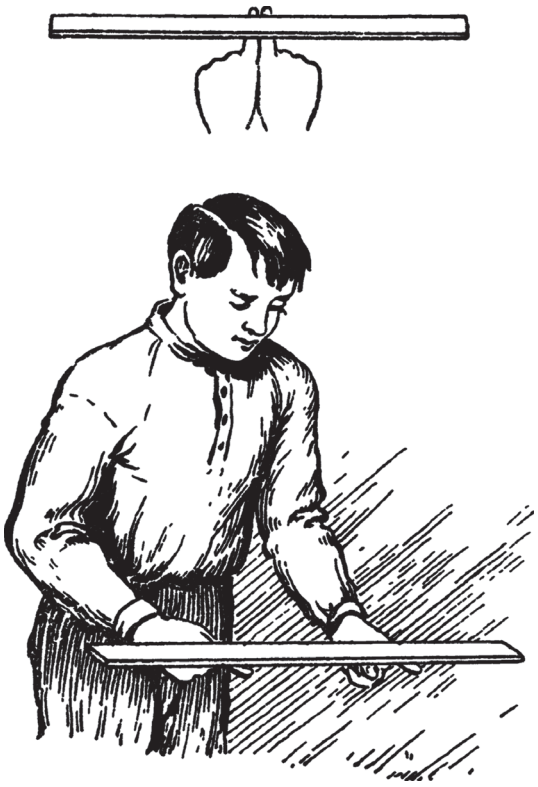


*Рис. 189. Опыт с линейкой. Вверху — конец опыта.*

палец, более близкий к центру тяжести, испытывает большее трение, чем удаленный. Поэтому близкий к центру тяжести палец не скользит под палкой; двигается всегда лишь тот палец, который дальше от этой точки. Как только двигавшийся палец окажется ближе к центру тяжести, нежели другой, пальцы меняются ролями; такой обмен совершается несколько раз, пока пальцы не сойдутся вплотную. И так как движется каждый раз только один из пальцев, именно тот, который дальше от центра тяжести, то естественно, что в конечном положении оба пальца сходятся под центром тяжести палки.

Прежде чем с этим опытом покончить, повторите его с половой щеткой (рис. 190, вверху) и поставьте перед собой такой вопрос: если разрезать щетку в том месте, где она подпирается пальцами, и положить обе части на разные чашки весов (рис. 190, внизу), то какая чашка перетянет — с палкой или со щеткой?

Казалось бы, раз обе части щетки уравновешивали одна другую на пальцах, они должны уравновешиваться и на чашках весов. В действительности же чашка со щеткой перетянет. О причине нетрудно догадаться, если принять

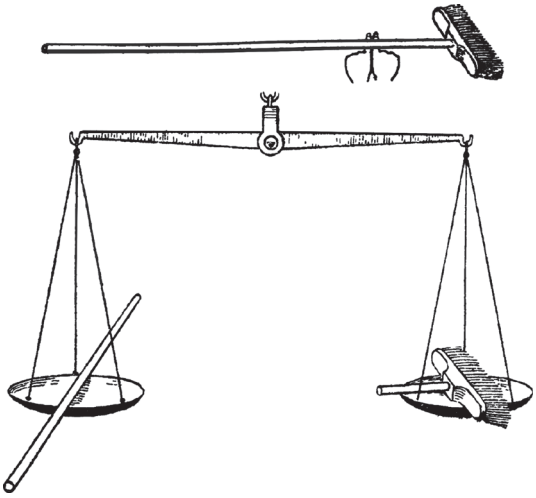


*Рис. 190. Тот же опыт с половой щеткой. Что перевесит?*

в расчет, что, когда щетка уравновешивалась на пальцах, силы веса обеих частей приложены были к *неравным* плечам рычага; в случае же весов те же силы приложены к концам равноплечего рычага.

Для Павильона занимательной науки в Ленинградском парке культуры мною был заказан набор палок с различным положением центра тяжести; палки разнимались на две обычно неравные части как раз в том месте, где находился центр тяжести. Кладя эти части на весы, посетители с удивлением убеждались, что короткая часть тяжелее длинной.

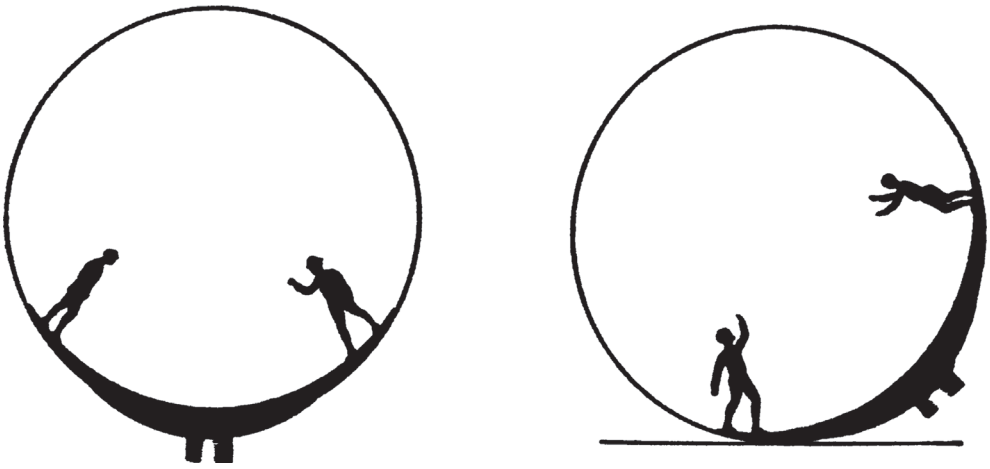


*Рис. 191. Каково истинное положение людей внутри «заколдованного» шара (налево) и что кажется при этом (направо) каждому из двух посетителей (см. текст на с. 282).*

## *ГЛАВА ТРЕТЬЯ*

## КРУГОВОЕ ДВИЖЕНИЕ

### Почему не падает вращающийся волчок?

Из тысяч людей, забавлявшихся в детстве верчением волчка, едва ли хоть один сможет правильно ответить на этот вопрос. Как, в самом деле, объяснить то, что вращающийся волчок, поставленный отвесно или даже наклонно, не опрокидывается, вопреки всем ожиданиям? Какая сила удерживает его в таком, казалось бы, неустойчивом положении? Разве тяжесть на него не действует?

Здесь имеет место весьма любопытное взаимодействие сил.

Теория волчка нелегка, и углубляться в нее мы не станем. Наметим лишь основную причину, вследствие которой вращающийся волчок не падает.

На рис. 192 изображен волчок, вращающийся в направлении стрелок.

*Рис. 192. Почему волчок не падает?*

Обратите внимание на часть *A* его ободка и на часть *B*, противоположную ей. Часть *A* стремится двигаться *от вас*, часть *B* — *к вам*. Проследите теперь, какое движение получают эти части, когда вы наклоняете ось волчка *вправо*. Этим толчком вы заставляете часть *A* двигаться вверх, часть *B* — вниз; обе части получают толчок под прямым углом к их собственному движению. Но так как при быстром вращении волчка окружная скорость частей диска очень велика, то сообщаемая вами незначительная скорость, складываясь с большой круговой скоростью точки *A*, дает равнодействующую, весьма близкую к этой круговой, — и движение волчка почти не меняется. Отсюда понятно, почему волчок как бы сопротивляется попытке его опрокинуть. Чем массивнее волчок и чем быстрее он вращается, тем упорнее противодействует он опрокидыванию.

Не будем рассматривать всех движений волчка, которые возникают при действии на него посторонней силы. Это потребовало бы чересчур подробных объяснений, которые, пожалуй, многим покажутся скучными. Я хотел лишь разъяснить причину основного стремления всякого вращающегося тела — сохранять неизменным направление оси вращения.

*Рис. 193. Диаболо легко поймать только потому, что во все время своего подъема и падения он не перестает вращаться.*

Этим свойством широко пользуется современная техника. Различные гироскопические (основанные на свойстве волчка) приборы — компасы, стабилизаторы и др. — устанавливаются на нынешних кораблях, самолетах. Таково полезное использование простой, казалось бы, игрушки[1].

## Искусство жонглеров

Кое-что о жонглерах: многие удивительнейшие фокусы их разнообразной программы основаны тоже на стремлении вращающихся тел сохранять направление оси вращения. Позволю себе привести выдержку из увлекательной книги английского физика проф. Джона Перри[2] «Вращающийся волчок»:

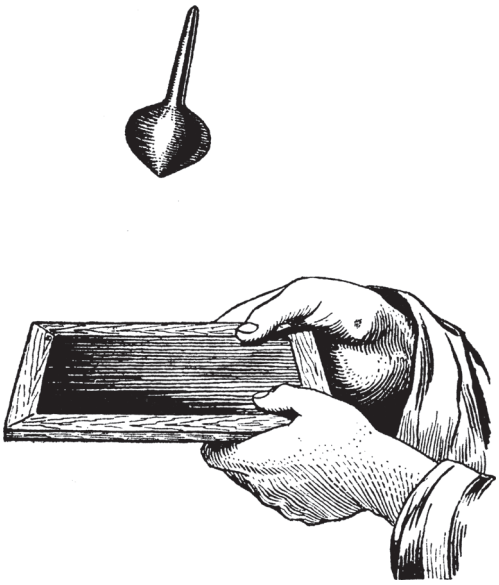


*Рис. 194. Вращающийся волчок, будучи подброшен, сохраняет первоначальное направление своей оси.*

«Однажды я показывал некоторые из моих опытов перед публикой, пившей кофе и курившей табак в великолепном помещении концертного зала „Виктория“ в Лондоне. Я старался заинтересовать моих слушателей, насколько мог, и рассказывал о том, что плоскому кольцу надо сообщить вращение, если его желают бросить так, чтобы можно было наперед указать, куда оно упадет; точно так же поступают, если хотят

[1] В первых изданиях «Занимательной физики» последний абзац этой статьи был иным, но к 1930-м гг. упомянутая в нем игра окончательно утратила популярность (*примеч. ред.*):

«Этим свойством объясняется ряд явлений, с которыми мы сталкиваемся в обыденной жизни. Ребенок, катящий свой обруч, бессознательно пользуется тем же свойством вращающихся тел: пока обруч находится в быстром вращении, он не падает. Игра с диаболо основана на том же принципе: сначала мы с помощью бечевки приводим диаболо в быстрое вращательное движение и затем закидываем его высоко; но, летя вверх и падая потом вниз, вращающийся диаболо не перестает сохранять горизонтальность оси вращения, — вот почему его легко поймать на вытянутую бечевку, опять подкинуть, вновь поймать и т. д. Если бы диаболо не вращался, все это было бы неисполнимо даже для самого искусного жонглера».

[2] *Перри Джон* (1850–1920) — инженер и математик ирландского происхождения, помощник лорда Кельвина в университете Глазго; именно лорду Кельвину и посвящена цитируемая здесь книга (*примеч. ред.*).

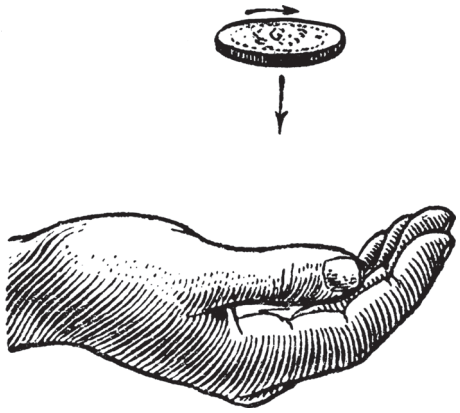


*Рис. 195. Как летит монета, подброшенная с вращением.*

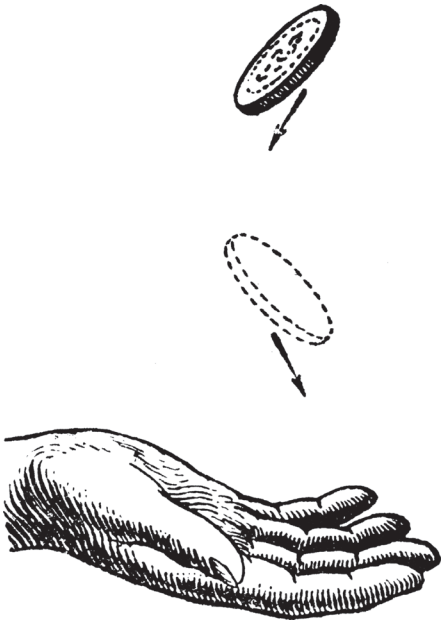


*Рис. 196. Монета, подброшенная без вращения, падает в случайном положении.*

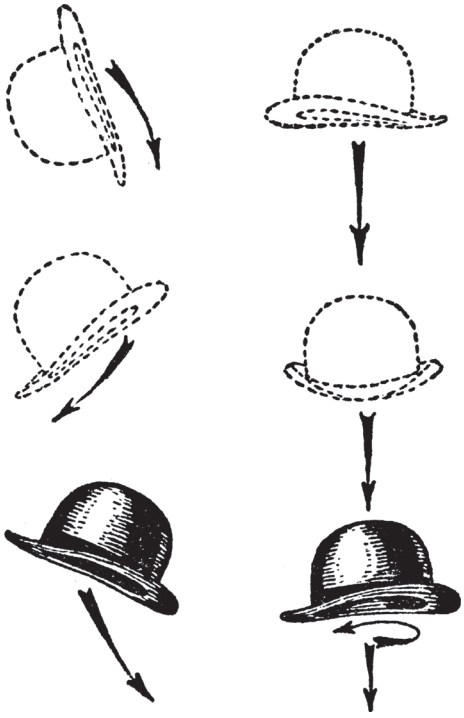


*Рис. 197. Подброшенную шляпу легче поймать, если ей было сообщено вращение около оси.*

кому-нибудь бросить шляпу так, чтобы он мог поймать этот предмет палкой. Всегда можно полагаться на сопротивление, которое оказывает вращающееся тело, когда изменяют направление его оси. Далее я объяснял моим слушателям, что, *отполировав* гладко дуло пушки, никогда нельзя рассчитывать на точность прицела; вследствие этого теперь делают нарезные дула, т. е. вырезают на внутренней стороне дула пушек спиралеобразные желоба, в которые приходятся выступы ядра или снаряда, так что последний должен получить вращательное движение, когда сила взрыва пороха заставляет его двигаться по каналу пушки. Благодаря этому снаряд покидает пушку с точно определенным вращательным движением.

Это было все, что я мог сделать во время этой лекции, так как я не обладаю ловкостью в метании шляп или дисков. Но после того, как я закончил свою лекцию, на подмостки выступили два жонглера, — и я не мог пожелать лучшей иллюстрации упомянутых выше законов, нежели та, которую давал каждый отдельный фокус, показанный этими двумя артистами. Они бросали друг другу вращающиеся шляпы, обручи, тарелки, зонтики... Один из жонглеров бросал в воздух целый ряд ножей, ловил их опять и снова подбрасывал с большой точностью вверх; моя аудитория, только что прослушав объяснение этих явлений, ликовала от удовольствия; она замечала вращение, которое жонглер сообщал каждому ножу, выпуская его из рук так, что мог наверное знать, в каком положении нож снова вернется к нему. Я был тогда поражен, что почти все без исключения жонглерские фокусы, показанные в тот вечер, представляли иллюстрацию изложенного выше принципа».

## Новое решение колумбовой задачи

Свою знаменитую задачу о том, как поставить яйцо, Колумб решил чересчур просто: надломил его скорлупу[1].

Такое решение, в сущности, неверно: надломив скорлупу яйца, Колумб изменил его *форму* и, значит, поставил не яйцо, а другое тело; ведь вся суть

*Рис. 198. Решение колумбовой задачи: яйцо вращается, стоя на конце.*

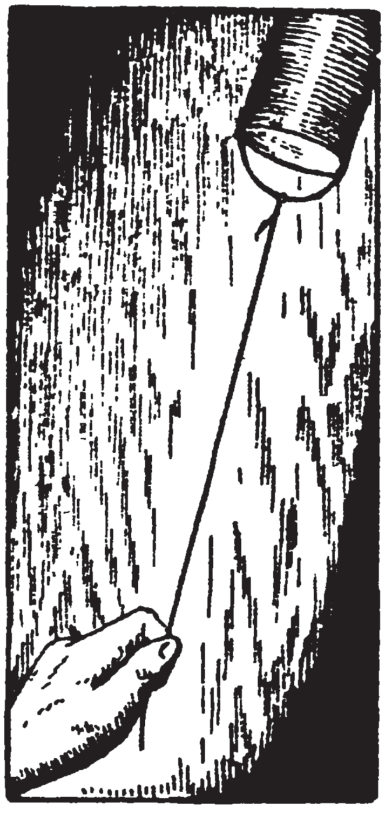
[1] Следует отметить, впрочем, что популярная легенда о колумбовом яйце не имеет под собой исторической почвы. Молва приписала знаменитому мореплавателю то, что было сделано гораздо раньше другим лицом и по совершенно другому поводу, — а именно итальянским архитектором Брунеллески (1377–1446), строителем огромного купола Флорентийского собора («Мой купол устоит так же надежно, как держится это яйцо на своем остром конце!»).

задачи в форме яйца: изменяя форму, мы как бы заменяем яйцо другим телом. Колумб дал решение не для того тела, для которого оно искалось.

А между тем можно решить задачу великого мореплавателя, нисколько не изменяя формы яйца, если воспользоваться свойством волчка; для этого достаточно только привести яйцо во вращательное движение вокруг его длинной оси, — и оно будет, не опрокидываясь, стоять некоторое время на тупом или даже на остром конце. Как это сделать — показывает рисунок: яйцу придают вращательное движение пальцами. Отняв руки, вы увидите, что яйцо продолжает еще некоторое время вращаться стоймя: задача решена.

Для опыта необходимо брать непременно вареные яйца. Это ограничение не противоречит условию колумбовой задачи: предложив ее, Колумб взял яйцо тут же со стола, — а к столу, надо полагать, поданы были не сырые яйца. Вам едва ли удастся заставить стоймя вращаться яйцо сырое, потому что внутренняя жидкая масса является в данном случае как бы тормозом. В этом, между прочим, состоит простой способ отличать сырые яйца от сваренных вкрутую — секрет, известный многим хозяйкам.

### Уничтоженная тяжесть



«Вода не выливается из сосуда, который вращается, — не выливается даже тогда, когда сосуд перевернут дном вверх, ибо этому мешает вращение», — писал две тысячи лет назад Аристотель. На рис. 199 изображен этот эффектный опыт, который, без сомнения, многим знаком: вращая достаточно быстро ведерко с водой, как показано на рисунке, вы достигаете того, что вода не выливается даже в той части пути, где ведерко опрокинуто вверх дном.

В обиходе принято объяснять это явление «центробежной силой», понимая под нею ту воображаемую силу, которая будто бы приложена к телу и обусловливает стремление его удалиться от центра вращения. Этой силы не существует: указанное стремление есть не что иное, как проявление *инерции*, а всякое движение по инерции осуществляется без участия силы. В физике под центробежной силой

*Рис. 199. Вода из опрокинутого ведерка не выливается, если вращать его на веревке с достаточной скоростью.*

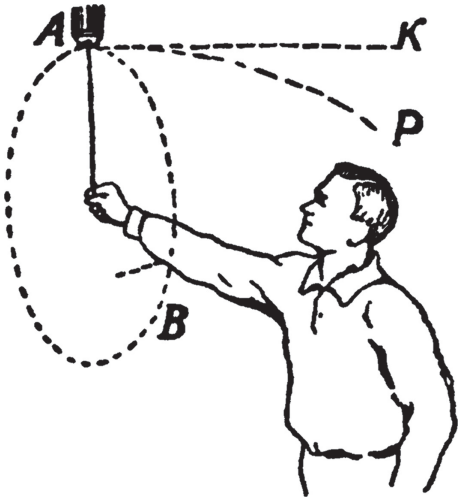



*Рис. 200. Почему не выливается вода из вращаемого ведерка?*

разумеют нечто иное, а именно — ту реальную силу, с какою вращающееся тело натягивает удерживающую его нить или давит на свой криволинейный путь. Сила эта приложена не к движущемуся телу, а к *препятствию*, мешающему ему двигаться прямолинейно: к нити, к рельсам на кривом участке пути и т. п. Где этих препятствий нет, — например, при движении планеты по орбите, — там нет и центробежной силы в научном понимании этого слова, хотя есть стремление тела удалиться от центра вращения.

Обращаясь к вращению ведерка, попытаемся разобраться в причине этого явления, не прибегая вовсе к двусмысленному понятию «центробежной силы». Зададим себе вопрос: куда направится струя воды, если в стенке ведерка сделать отверстие? Не будь силы тяжести, водяная струя по *инерции* направилась бы по касательной *AK* к окружности *AB* (рис. 200). Тяжесть же заставляет струю снижаться и описывать кривую (параболу *AP*). Если окружная скорость достаточно велика, эта кривая расположится вне окружности *AB*. Струя обнаруживает перед нами тот путь, по которому при вращении ведерка двигалась бы вода, если бы не препятствовало надавливающее на нее ведерко. Теперь понятно, что вода вовсе не стремится двигаться отвесно вниз, а потому и не выливается из ведерка. Она могла бы вылиться из него лишь в том случае, если бы ведерко было обращено отверстием в направлении его вращения.

Вычислите теперь, с какой скоростью надо в нашем опыте вращать ведерко, чтобы вода из него не выливалась вниз. Скорость эта должна быть такова, чтобы центростремительное ускорение вращающегося ведерка было не меньше ускорения тяжести: тогда путь, по которому стремится двигаться вода,

будет лежать вне окружности, описываемой ведерком, и вода нигде от ведерка не отстанет. Формула для вычисления центростремительного ускорения $W$ такова:

$$W = \frac{v^2}{R},$$

где $v$ — окружная скорость, $R$ — радиус кругового пути. Так как ускорение тяжести на земной поверхности $g = 9{,}8$ м/с$^2$, то имеем неравенство:

$$\frac{v^2}{R} \geq 9{,}8;$$

$R$ приблизительно 70 см. Значит,

$$\frac{v^2}{0{,}7} \geq 9{,}8 \quad \text{и} \quad v \geq \sqrt{0{,}7 \times 9{,}8}; \; v \geq 2{,}6 \text{ м/с}.$$

Легко рассчитать, что для получения такой окружной скорости надо делать рукой около полутора оборотов в секунду. Подобная быстрота вращения вполне достижима, и опыт обыкновенно удается без труда.

Способностью жидкости прижиматься к стенкам сосуда, в котором она вращается вокруг горизонтальной оси, пользуются в технике для так называемого *центробежного литья*. При этом имеет существенное значение то, что неоднородная жидкость расслаивается по удельному весу: более тяжелые составные части располагаются дальше от оси вращения, легкие — занимают место ближе к оси. Вследствие этого все газы, содержащиеся в расплавленном металле и образующие так называемые раковины в литье, выделяются из металла во внутреннюю, полую часть отливки. Изделия, изготовленные таким способом, получаются плотные и свободные от раковин. Центробежное литье дешевле обычного литья под давлением и не требует сложного оборудования.

### Вы в роли Галилея

Для любителей сильных ощущений во многих городах устраивается весьма своеобразное развлечение — так называемая чертова качель. Имелась такая качель и в Ленинграде. Мне не пришлось самому на ней качаться, а потому приведу здесь ее описание из сборника научных забав Федо:

«Качель подвешена к прочной горизонтальной перекладине, перекинутой через комнату на известной высоте над полом. Когда все сядут, особо приставленный к этому служитель запирает входную дверь, убирает доску, служившую для входа, и, заявив, что он сейчас даст возможность зрителям сделать небольшое воздушное путешествие, начинает легонько раскачивать качель. Вслед за тем он садится назади качели, подобно кучеру на запятках, или совсем выходит из зала.

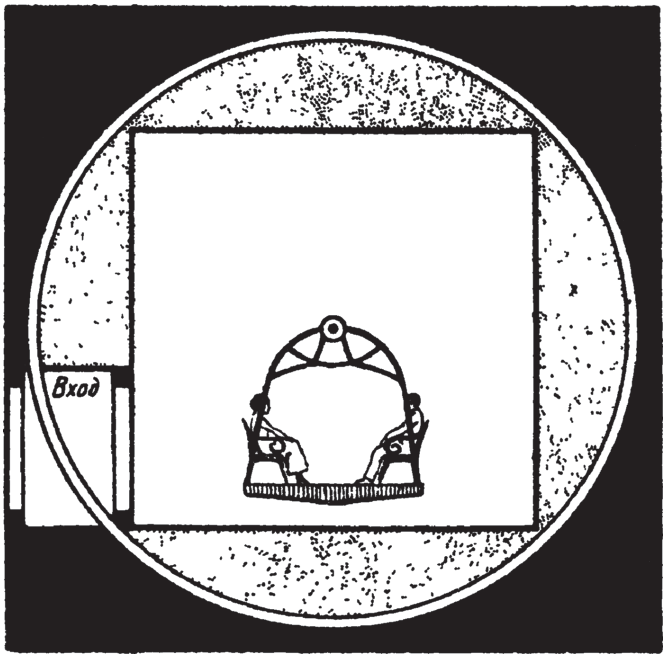



*Рис. 201. Схема устройства «чертовой качели».*

Между тем размахи качели становятся все больше и больше; она, по-видимому, поднимается до высоты перекладины, потом переходит за нее выше и выше и, наконец, описывает полный круг. Движение ускоряется все заметнее, и качающиеся, хотя по большей части уже предупрежденные, испытывают несомненные ощущения качания и быстрого движения; им кажется, что они несутся вниз головой в пространстве, так что невольно хватаются за спинки сидений, чтобы не упасть.

Но вот размахи начинают уменьшаться; качель более не поднимается уже на высоту перекладины, а еще через несколько секунд останавливается совершенно.

На самом же деле качель *все время висела неподвижно*, пока продолжался опыт, а сама комната, с помощью очень несложного механизма, напротив, обращалась мимо зрителей вокруг горизонтальной оси. Разного рода мебель прикреплена к полу или стенам зала; лампа, припаянная 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 зала и делал только вид, что раскачивает. Вся обстановка способствует полному успеху обмана».

Секрет иллюзии, как видите, прост до смешного. И все-таки, если бы теперь, уже зная, в чем дело, вы очутились на «чертовой качели», вы неизбежно поддались бы обману. Такова сила иллюзии!

Помните стихотворение Пушкина «Движение»?

— Движенья нет, — сказал мудрец брадатый[1].
Другой[2] смолчал — и стал пред ним ходить.
Сильнее бы не мог он возразить.
Хвалили все ответ замысловатый.
Но, господа, забавный случай сей
Другой пример на память мне приводит:
Ведь каждый день над нами Солнце ходит,
Однако ж прав упрямый Галилей!

Среди пассажиров качели, не посвященных в ее секрет, вы были бы своего рода Галилеем — только наоборот: Галилей доказывал, что Солнце и звезды неподвижны, а кружимся, вопреки очевидности, мы сами; вы же будете доказывать, что неподвижны мы, а вся комната вертится вокруг нас. Возможно, что вам пришлось бы при этом испытать и печальную участь Галилея: на вас смотрели бы как на человека, спорящего против очевидных вещей...

### Мой спор с вами

Доказать свою правоту вам будет не так легко, как вы, может быть, полагаете. Вообразите, что вы в самом деле очутились на «чертовой качели» и хотите убедить ваших соседей, что они заблуждаются. Предлагаю вам вступить в этот спор со мной. Сядем с вами на «чертову качель», дождемся момента, когда, раскачавшись, она начнет, по-видимому, описывать полные круги, и заведем диспут о том, что кружится: качель или вся комната? Прошу только помнить, что во время спора мы не должны покидать качели; все необходимое захватим с собой заблаговременно.

*Вы*. Как можно сомневаться в том, что мы неподвижны, а вертится комната! Ведь если бы нашу качель в самом деле опрокинуть вверх дном, то мы с вами не повисли бы вниз головой, а выпали бы из нее. Но мы, как видите, не падаем. Значит, вертится не качель, а комната.

*Я*. Однако, вспомните, что вода из быстро кружащегося ведерка не выливается, хотя оно и опрокидывается вверх дном (с. 274). Велосипедист в «чертовой петле» (см. далее, с. 284) также не падает, хотя и едет вниз головой.

*Вы*. Если так, то вычислим центростремительное ускорение и убедимся, достаточно ли оно для того, чтобы мы не выпали из качели. Зная наше расстояние от оси вращения и число оборотов в секунду, мы легко определим по формуле...

---

[1] Греческий философ Зенон Элейский (V в. до нашей эры), учивший, что все в мире неподвижно и что только вследствие обмана чувств нам кажется, будто какое-либо тело движется.

[2] Диоген.

*Я*. Не трудитесь вычислять. Устроители «чертовой качели», зная о нашем споре, предупредили меня, что число оборотов будет вполне достаточно, чтобы явление объяснялось по-моему. Следовательно, вычисление не решит нашего спора.

*Вы*. Однако я не потерял надежды вас переубедить. Видите, вода из этого стакана не выливается на пол... Впрочем, вы и тут сошлетесь на опыт с вращающимся ведерком. Хорошо же: я держу в руке отвес, — он все время направлен к нашим ногам, т. е. вниз. Если бы вертелись мы, а комната оставалась неподвижной, отвес был бы все время обращен к полу, — т. е. вытягивался бы то к нашим головам, то вбок.

*Я*. Ошибаетесь: если мы вертимся с достаточною скоростью, то отвес все время должен отбрасываться от оси вдоль радиуса вращения, т. е. к нашим ногам, как мы и наблюдаем.

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

*Я*. Если бы ваш карандаш был раньше в покое, то, выроненный, он должен был бы упасть на пол, вниз. Но ведь карандаш обладал значительною скоростью прежде, чем вы его уронили, скоростью кругового движения (я утверждаю, что мы движемся); при таком условии он вовсе не должен упасть непременно на пол: он может быть откинут, вопреки силе тяжести, и на потолок, и на стены. Как видите, и этот ваш довод пока ничего не доказывает...

### Финал нашего спора

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

В самом деле: если бы мы вместе с пружинными весами описывали круги около оси, то на гирю, кроме силы тяжести, действовал бы также центробежный эффект, который в нижних точках пути *увеличивал бы* и вес гири, а в верхних *уменьшал бы* его; мы должны были бы замечать, что гиря то становится тяжелее, то почти ничего не весит. А раз этого не замечается, значит, вращается комната, а не мы.

### В «заколдованном» шаре

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

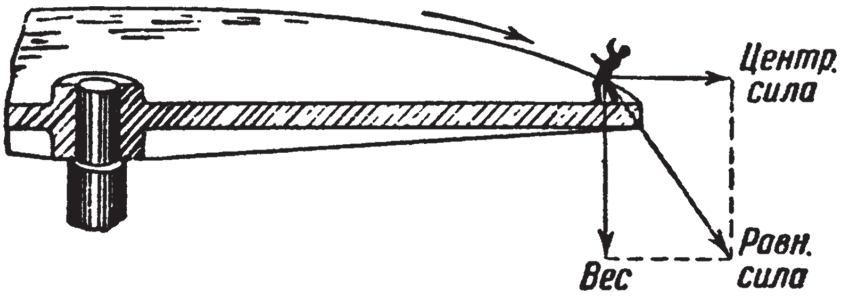



*Рис. 202. Что испытывает человек на краю вращающейся платформы.*

Вспомним сначала, что испытывает человек, стоящий на быстро вращающейся круглой платформе.

Вращательное движение стремится отбросить человека наружу; чем дальше стоите вы от центра, тем сильнее будет клонить и тянуть вас наружу. Если закроете глаза, вам будет казаться, что вы стоите не на горизонтальном полу, а на наклонной плоскости, на которой с трудом сохраняете равновесие. Это станет понятно, когда рассмотрим, какие силы действуют здесь на наше тело (рис. 202). Действие вращения увлекает наше тело наружу, тяжесть — тянет вниз; оба движения, складываясь по правилу параллелограмма, дают результирующее действие, которое *наклонено вниз*. Чем быстрее вращается платформа, тем это результирующее движение больше и направляется более отлого.

Представьте же себе теперь, что край платформы загнут вверх и вы стоите на этой отогнутой наклонной части (рис. 203). 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

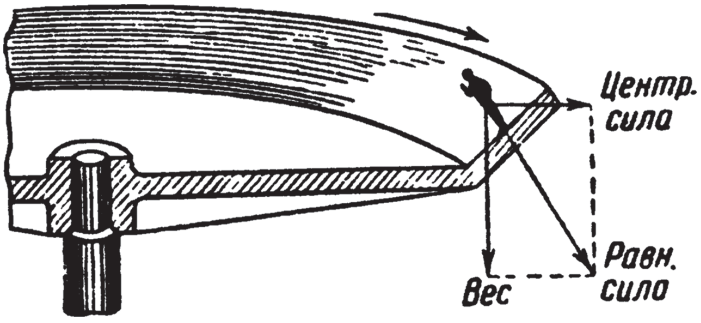



*Рис. 203. Человек прочно стоит на наклонном конце вращающейся платформы.*

результирующее обоих увлекающих вас движений направится тоже наклонно, под прямым углом к отогнутой части платформы[1].

Если вращающейся платформе придать такую кривизну, чтобы при определенной скорости ее поверхность была в *каждой* точке перпендикулярна к результирующей, то помещенный на ней человек будет чувствовать себя во всех ее точках как на горизонтальной плоскости. Математическим вычислением найдено, что такая кривая поверхность есть поверхность особого геометрического тела — *параболоида*. Ее можно получить, если быстро вращать вокруг вертикальной оси стакан, до половины налитый водой: тогда вода у краев поднимется, в центре опустится, и поверхность ее примет форму параболоида.

Если вместо воды налить в стакан растопленный воск и продолжать вращение до тех пор, пока воск не остынет, то затвердевшая поверхность его даст нам точную форму параболоида. При определенной скорости вращения такая поверхность является для тяжелых тел как бы горизонтальной: шарик, положенный в любую ее точку, не скатывается вниз, а остается на этом уровне (рис. 204).

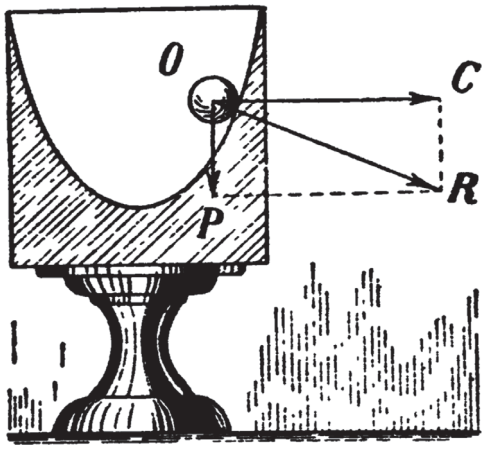



*Рис. 204. Если этот бокал вращать с достаточной скоростью, то шарик не скатится на его дно.*

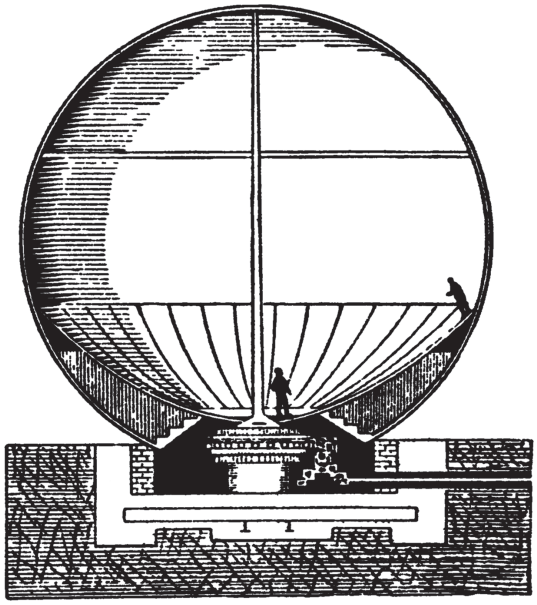


*Рис. 205. «Заколдованный» шар (разрез).*

Теперь легко будет понять устройство «заколдованного» шара. Дно его (рис. 205) составляет большая вращающаяся

[1] Это, заметим кстати, объясняет, почему на закруглениях железнодорожного пути наружный рельс укладывают выше внутреннего, а также почему наклоняют внутрь трековую дорожку для велосипедов и мотоциклов и почему гонщики-профессионалы могут ехать по круто наклоненному круговому настилу.

платформа, которой придана кривизна параболоида. Хотя вращение благодаря скрытому под платформой механизму совершается чрезвычайно плавно, все же люди на платформе испытывали бы головокружение, если бы окружающие предметы не перемещались вместе с ними; чтобы не дать возможности наблюдателю обнаружить движение, вращающуюся платформу помещают внутри большого шара с непрозрачными стенками, который вращается с такою же скоростью, как и сама платформа.

Таково устройство этой карусели, носящей название «заколдованной», или «волшебной» сферы. Что же испытываете вы, находясь на платформе внутри сферы? Когда она вращается, пол под вашими ногами горизонтален, в какой бы точке кривой платформы вы ни находились, — у оси, где пол действительно горизонтален, или у края, где он наклонен на 45 градусов. Глаза ясно видели бы вогнутость, мускульное же чувство свидетельствовало бы, что под вами *ровное* место. Показания обоих чувств противоречили бы друг другу самым резким образом. Если вы перейдете с одного края платформы на другой, то вам покажется, будто весь огромный шар с легкостью мыльного пузыря перевалился на другой бок под тяжестью вашего тела: ведь во всякой точке вы чувствуете себя как на горизонтальной плоскости. А положение других людей, стоящих на платформе наклонно, должно представляться вам до крайности необычайным: вам буквально будет казаться, что люди, как мухи, ходят по стенам (рис. 191, с. 269).

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

*Рис. 206. Вращающаяся лаборатория — действительное положение.*

*Рис. 207. Кажущееся положение той же вращающейся лаборатории.*

Привычные представления о законах тяжести словно отменяются в этом поистине заколдованном шаре, и мы переносимся в сказочный мир чудес...

Подобные ощущения испытывает на поворотах летчик, несущийся с большой скоростью. Так, если он летит со скоростью 200 км в час по кривой радиусом 500 м, то земля должна казаться[1] ему приподнявшейся и наклоненной на 16°.

В Германии, в городе Гёттингене, была сооружена для научных изысканий подобная вращающаяся лаборатория. Это (рис. 206) цилиндрическая комната 3 м в поперечнике, вращающаяся со скоростью до 50 оборотов в секунду. Так как пол комнаты плоский, то при вращении наблюдателю, стоящему у стены, кажется, будто комната откинулась назад, а сам он полулежит на покатой стене (рис. 207).

## Жидкий телескоп

Наилучшая форма для зеркала отражательного телескопа — параболическая, т. е. та именно форма, какую сама собою принимает поверхность жидкости во вращающемся сосуде. Конструкторы телескопов затрачивают много хлопотливого труда, чтобы придать зеркалу подобную форму. Шлифовка зеркала для телескопа длится целые годы. Американский физик, проф. Вуд[2], обошел эти затруднения, устроив *жидкое зеркало*: вращая ртуть в широком сосуде, он получил идеальную параболическую поверхность, могущую играть роль зеркала, так как ртуть хорошо отражает лучи света. Рис. 208 изображает этот своеобразный жидкий телескоп Вуда. *C* — сосуд с ртутью; *D* — электромотор, приводящий его в весьма быстрое вращение; *B* — труба «телескопа», *A* — отверстие в крыше здания, с которого наблюдатель смотрит в «зеркало», находящееся на дне трубы, значительно ниже уровня земли.

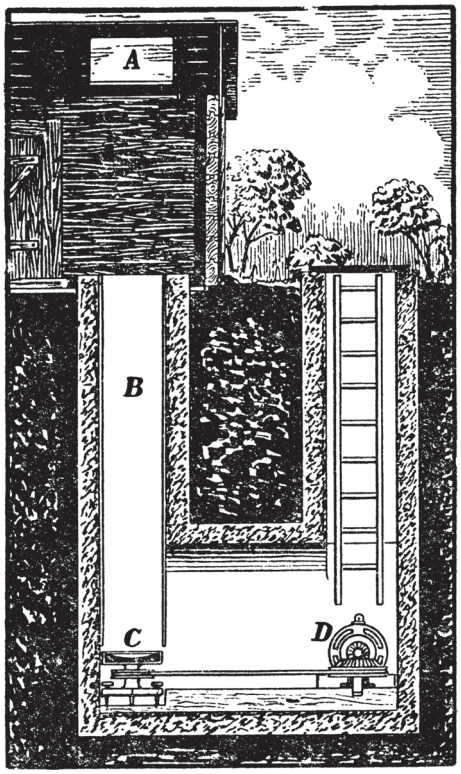



*Рис. 208. Жидкое зеркало телескопа.*

[1] См. «Занимательную механику», гл. V, с. 535.

[2] *Вуд Роберт Уильямс* (1868–1955) — физик-экспериментатор, работавший в области физической оптики (*примеч. ред.*).

Недостаток телескопа, однако, тот, что малейший толчок морщит поверхность жидкого зеркала и искажает изображение, а также и тот, что горизонтальное зеркало дает возможность непосредственно рассматривать только те светила, которые находятся в зените.

## «Чертова петля»

Быть может, вам знаком головокружительный велосипедный трюк, иногда исполняемый в цирках: велосипедист едет в петле снизу вверх и описывает полный круг, несмотря на то, что по верхней части круга ему приходится *ехать вниз головой*. На арене устраивают деревянную дорожку в виде петли с одним или несколькими завитками, как изображено на нашем рис. 209. Артист спускается на велосипеде по наклонной части петли, затем быстро взлетает на своем стальном коне вверх, по круговой ее части, совершает полный оборот, буквально вися вниз головой, и благополучно съезжает на землю[1].

Этот головоломный велосипедный фокус кажется зрителям верхом акробатического искусства. Озадаченная публика в недоумении спрашивает себя:

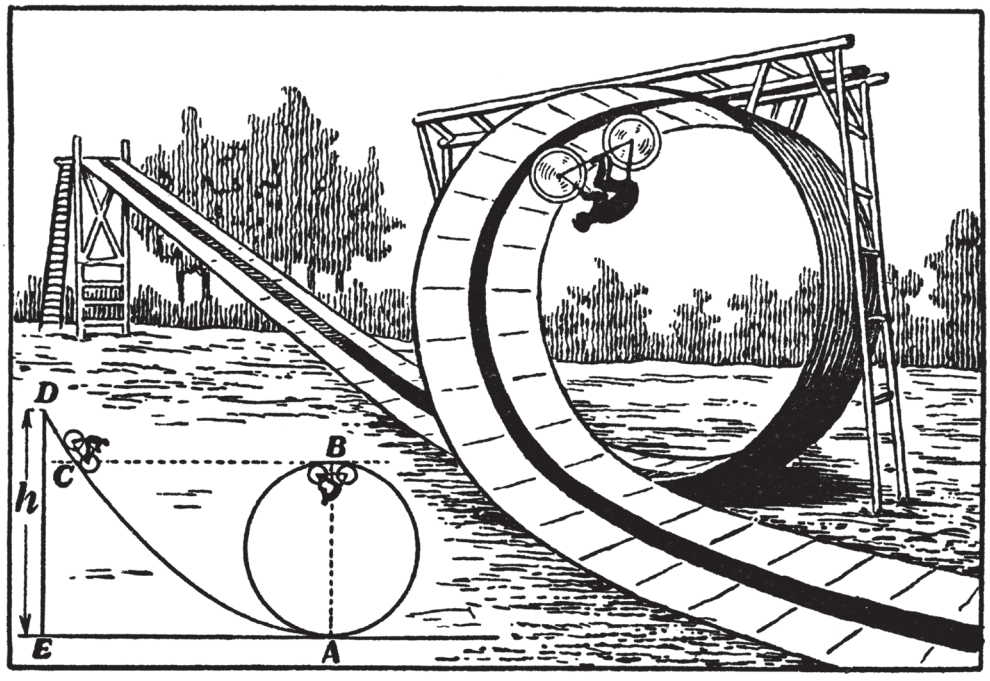



*Рис. 209. «Чертова петля». Внизу налево — схема для расчета.*

[1] «Чертова петля» изобретена в 1902 г. одновременно двумя цирковыми артистами — «Дьяволо» (Джонсоном) и «Мефисто» (Нуазеттом).

какая таинственная сила удерживает смельчака вниз головой? Недоверчиво настроенные готовы подозревать здесь ловкий обман, — между тем в фокусе нет ничего сверхъестественного. Он нацело объясняется законами механики. Биллиардный шар, пущенный по этой дорожке, выполнил бы тот же фокус не с меньшим успехом. В школьных физических кабинетах имеются миниатюрные «чертовы петли», в которых пробег совершает маленький шарик. В большом масштабе такая мертвая петля с шаром демонстрировалась в ленинградском «Павильоне занимательной науки» в ЦПКО.

Знаменитый исполнитель и изобретатель этого трюка артист «Мефисто» для испытания прочности «чертовой петли» имел тяжелый шар, вес которого равнялся весу артиста вместе с велосипедом. Шар этот пускали по дорожке петли, и если он благополучно пробегал ее, то артист решался проделать петлю сам.

Читатель, конечно, догадывается, что причина странного явления та же, которая объясняет общеизвестный опыт с кружащимся ведерком (с. 274). Однако фокус удается не всегда; необходимо в точности рассчитать высоту, с которой велосипедист должен начать свое движение, — иначе трюк окончится катастрофой.

### Математика в цирке

Я знаю, что ряды «бездушных» формул отпугивают иных любителей физики. Но, отказываясь от знакомства с математической стороной явлений, такие недруги математики лишают себя удовольствия заранее предусматривать ход явления и определять его условия. В данном, например, случае две-три формулы помогут нам в точности определить, при каких условиях возможно успешное выполнение столь удивительного фокуса, как пробег в «чертовой петле».

Приступим же к расчетам.

Обозначим буквами те величины, с которыми придется вести расчеты:

буквой $h$ обозначим *высоту*, с которой скатывается велосипедист;

буквой $x$ обозначим ту часть высоты $h$, которая возвышается над верхней точкой «петли»; из рис. 209 очевидно, что $x = h - AB$;

буквой $r$ обозначим радиус круга петли;

буквой $m$ — общую *массу* артиста вместе с велосипедом; вес их выразится тогда через $mg$, причем:

буквой $g$ обозначено *ускорение силы земной тяжести*; оно равно, как известно, 9,8 м в сек. за сек.[1];

буквой $v$ обозначим *скорость* велосипеда в тот момент, когда он достигает самой верхней точки круга.

---

[1] Так можно сказать, хотя в наши дни привычнее звучит «ускорение свободного падения, 9,8 м/с$^2$» (*примеч. ред.*).

Все эти величины мы можем связать двумя уравнениями. Во-первых, мы знаем из механики, что скорость, которую приобретает велосипед к моменту, когда, катясь по наклонной дорожке, он находится в *C* на уровне точки *B* (это положение изображено внизу рис. 209), равна той, какую он имеет в верхней части петли, в точке *B*. Первая скорость выражается формулой[1] $v = \sqrt{2gx}$, или $v^2 = 2gx$. Следовательно, и скорость $v$ велосипедиста в точке *B* равна $\sqrt{2gx}$, т. е. $v^2 = 2gx$.

Далее, для того чтобы велосипедист, достигнув высшей точки кругового пути, не упал вниз, нужно (ср. с. 276), чтобы развивающееся при этом центростремительное ускорение было больше, нежели ускорение тяжести, т. е. надо, чтобы

$$\frac{v^2}{r} > g, \text{ или } v^2 > gr.$$

Но мы уже знаем, что $v^2 = 2gx$; следовательно, $2gx > gr$, или

$$x > \frac{r}{2}.$$

Итак, мы узнали, что для успешного выполнения этого головоломного фокуса необходимо устроить «чертову петлю» так, чтобы вершина наклонной части пути возвышалась над верхней точкой петли больше, чем на ½ ее радиуса, или более чем на ¼ ее диаметра. Крутизна наклона, как видите, роли не играет, — нужно только, чтобы пункт, с которого велосипедист начинает спускаться, возвышался над вершиной петли больше, чем на ¼ ее поперечника. Если, например, петля имеет в поперечнике 16 м, то артист должен начать спуск не меньше, чем с 20-метровой высоты. Не выполни он этого условия, — никакое искусство не поможет ему описать «чертову петлю»: достигнув ее верхней части, он неминуемо упадет вниз.

Надо заметить, что при исполнении этого трюка велосипедист едет без цепи, предоставляя машину действию тяжести: ни ускорять, ни замедлять своего движения он не может, да и не должен. Все его искусство в том, чтобы держаться середины деревянной дорожки; при малейшем уклонении артист рискует съехать с дорожки и быть с огромной силой отброшенным в сторону. Скорость движения по кругу весьма велика: при круге с поперечником 16 м ездок совершает оборот в 3 секунды. Это соответствует скорости 60 км в час! Управлять велосипедом при такой быстроте, конечно, мудрено; но этого и не надо; можно смело положиться на законы механики. «Сам по себе велосипедный трюк, — читаем мы в брошюре, составленной профессионалом[2], — при правильном расчете и прочной конструкции аппарата не опасен.

---

[1] При этом мы пренебрегаем энергией вращающихся ободов велосипедных колес; влияние этого обстоятельства на результат расчета незначительно (см. мою книгу «Знаете ли вы физику?», § 47).

[2] Бостонс, «Велосипедные аттракционы».

Опасность трюка лежит в самом артисте. Если рука артиста дрогнет, если он будет взволнован, потеряет самообладание, если ему неожиданно сделается дурно, то можно ожидать всего».

На этом же законе покоится всем известная «мертвая петля» и другие фигуры высшего пилотажа. В «мертвой петле» первостепенную роль играет правильный «разгон» пилота по кривой и умелое управление мотором.

### Нехватка в весе

Какой-то шутник объявил однажды, что знает способ без обмана обвешивать покупателей. Секрет состоит в том, чтобы покупать товары в странах экваториальных, а продавать — поближе к полюсам. Давно известно, что близ экватора вещи имеют меньший вес, нежели близ полюсов; 1 кг, перенесенный с экватора на полюс, прибавится в весе на 5 г. Надо пользоваться, однако, не обыкновенными весами, а пружинными, притом изготовленными (градуированными) на экваторе, — иначе никакой выгоды не получится: товар станет тяжелее, и на столько же тяжелее сделаются гири. Если купить тонну золота где-нибудь в Перу, а сбыть ее, скажем, в Исландии, то можно, пожалуй, на этом кое-что заработать, — при бесплатном провозе, разумеется.

Не думаю, чтобы подобная торговля могла кого-нибудь обогатить, но по существу шутник прав: сила тяжести действительно увеличивается с удалением от экватора. Происходит это оттого, что тела на экваторе описывают при вращении Земли самые большие круги, а также и оттого, что земной шар как бы вздут у экватора.

Главная доля недостачи веса обусловлена вращением Земли; оно уменьшает вес тела близ экватора на $\frac{1}{290}$ долю по сравнению с весом того же тела у полюсов.

Разница в весе при переносе тела с одной широты на другую для легких тел ничтожна. Но для предметов грузных она может достигнуть величины довольно солидной. Вы и не подозревали, например, что паровоз, весящий в Москве 60 т, становится по прибытии в Архангельск на 60 кг тяжелее, а в Одессу — на столько же легче. С острова Шпицбергена ежегодно вывозят в более южные порты до 300 000 т угля. Если бы это количество было доставлено в какой-нибудь экваториальный порт, то там обнаружена была бы недостача в 1200 т, будь груз перевешен при приемке на пружинных весах, вывезенных со Шпицбергена. Линкор, весивший в Архангельске 20 000 т, по прибытии в экваториальные воды становится легче тонн на 80; но это остается неощутимым, так как соответственно становятся легче и все другие тела, не исключая, конечно, и воды в океане[1].

[1] Поэтому, между прочим, судно сидит в экваториальных водах столь же глубоко, как и в полярных: оно хотя и делается легче, но на столько же легче становится и вытесняемая им вода.

Если бы земной шар вращался вокруг своей оси быстрее, чем теперь, — например, если бы сутки длились не 24 часа, а, скажем, 4 часа, — то разница в весе тел на экваторе и полюсах была бы заметна резче. При четырехчасовых сутках, например, гиря, весящая на полюсе 1 кг, весила бы на экваторе всего 875 г. Именно таковы приблизительно условия тяжести на Сатурне: близ полюсов этой планеты все тела на ⅙ тяжелее, чем на экваторе.

Так как центростремительное ускорение возрастает пропорционально квадрату скорости, то нетрудно вычислить, при какой быстроте вращения оно на земном экваторе должно стать в 290 раз более, т. е. сравняться с силой притяжения. Это наступит при скорости в 17 раз большей, нежели нынешняя (17 × 17 = почти 290). Тогда сила тяжести полностью будет расходоваться только на то, чтобы удерживать тела на круговом пути, не допускать двигаться за его пределами. В таком состоянии тела́ перестанут оказывать давление на свои опоры. Другими словами, если бы Земля вращалась в 17 раз скорее, вещи на экваторе *совсем не имели бы веса*! На Сатурне это наступило бы при скорости вращения всего в 2½ раза большей, чем нынешняя.

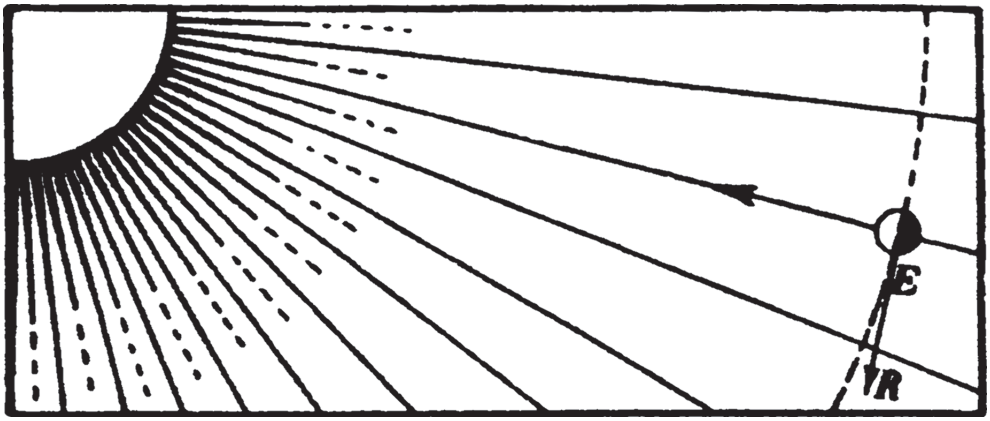



*Рис. 210. Притяжение Солнца искривляет путь Земли E.*
*Вследствие инерции земной шар стремится умчаться по касательной линии ER.*

## *ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ*

## ВСЕМИРНОЕ ТЯГОТЕНИЕ

### Велика ли сила притяжения?

«Если бы мы не наблюдали ежеминутно падения тел, оно было бы для нас самым удивительным явлением», — писал знаменитый французский астроном Араго. Привычка делает то, что притяжение всех земных предметов Землей кажется нам естественным и обычным явлением. Но когда нам говорят, что предметы притягивают также и *друг друга*, мы не склонны этому верить, потому что ведь в обыденной жизни ничего подобного не замечается.

Почему, в самом деле, закон всеобщего притяжения не проявляется постоянно вокруг нас в обычной обстановке? Почему не видим мы, чтобы притягивали друг друга столы, арбузы, люди? Потому что для небольших предметов сила притяжения чрезвычайно мала. Приведу наглядный пример. Два человека, отстоящие на два метра друг от друга, несомненно притягивают один другого, — но сила этого притяжения ничтожна: для людей среднего веса — менее $\frac{1}{100}$ миллиграмма. Это значит, что два человека притягивают друг друга с такою же силой, с какой гирька в одну 100 000-ную грамма давит на чашку весов; только чрезвычайно чувствительные весы научных лабораторий способны обнаружить столь ничтожный грузик! Такая сила, понятно, не может сдвинуть нас с места, — этому мешает трение наших подошв о пол. Чтобы сдвинуть нас, например, на деревянном полу (сила трения подошв о пол равна 30% веса тела), нужна сила не меньше 20 кг. Смешно даже сравнивать эту силу с ничтожной силой притяжения в одну сотую мг. Миллиграмм — тысячная

часть грамма; грамм — тысячная часть килограмма; значит, 0,01 мг составляет половину *одной миллиардной* доли той силы, которая нужна, чтобы сдвинуть нас с места! Удивительно ли, что при обычных условиях мы не замечаем и намека на взаимное притяжение земных тел?

Другое дело, если бы трения не существовало; тогда ничто не мешало бы даже и слабому притяжению вызвать сближение тел. Но при силе в 0,01 мг *быстрота* этого движения людей должна быть совершенно ничтожна. Можно вычислить, что при отсутствии трения два человека, отстоящие на расстоянии 2 м, в течение первого часа придвинулись бы друг к другу на 3 см; в течение следующего часа они сблизились бы еще на 9 см; в течение третьего часа — еще на 15 см. Движение все ускорялось бы, но вплотную оба человека сблизились бы не ранее чем через пять часов.

Так ничтожна сила тяготения между небольшими массами! При увеличении масс она возрастает пропорционально их произведению. Но тут многие склонны преувеличивать эту силу. Один ученый — правда, не физик, а зоолог — пытался уверить меня, что взаимное притяжение, наблюдаемое нередко между морскими судами, вызывается силой всемирного тяготения! Нетрудно показать вычислением, что тяготение здесь ни при чем: два линейных корабля, в 25 000 т каждый, на расстоянии 100 м притягивают друг друга с силой всего 400 г. Разумеется, такая сила недостаточна, чтобы сообщить кораблям в воде хотя бы ничтожное перемещение. Истинную же причину загадочного притяжения кораблей объясним позже, в главе о свойствах жидкостей.

Ничтожная для небольших масс сила тяготения становится весьма ощутимой, когда речь идет о колоссальных массах небесных тел. Так, даже Нептун, страшно далекая от нас планета, медленно кружащаяся почти на краю Солнечной системы, шлет нам свой «привет», притягивая Землю с силою 18 миллионов тонн! Несмотря на невообразимо огромное расстояние, отделяющее нас от Солнца, Земля удерживается на своей орбите единственно лишь силой тяготения. Если бы сила солнечного притяжения почему-либо исчезла, Земля полетела бы по линии, касательной к ее орбите, и навеки умчалась бы в бездонную глубь мирового пространства.

### Стальной канат от Земли до Солнца

Вообразите, что могущественное притяжение Солнца почему-либо в самом деле исчезло и Земле предстоит печальная участь навсегда удалиться в холодные и мрачные пустыни Вселенной. Вы можете представить себе, — здесь необходима фантазия, — что инженеры решили, так сказать, заменить невидимые цепи притяжения материальными связями, т. е. попросту задумали соединить Землю с Солнцем крепкими стальными канатами, которые должны удерживать земной шар на круговом пути в его беге вокруг Солнца. Что может быть крепче стали, способной выдержать натяжение в 100 кг на каждый квадратный миллиметр? Представьте себе мощную стальную

колонну, поперечником в 5 м. Площадь ее сечения заключает круглым счетом 20 000 000 кв. мм; следовательно, такая колонна разрывается лишь от груза в 2 000 000 000 кг, или два миллиона тонн. Вообразите далее, что колонна эта простирается от Земли до самого Солнца, соединяя оба светила. Знаете ли вы, сколько таких могучих колонн потребовалось бы для удержания Земли на ее орбите? Миллион миллионов! Чтобы нагляднее представить себе этот лес стальных колонн, густо усеивающих все материки и океаны, прибавлю, что при равномерном распределении их по всей обращенной к Солнцу половине земного шара промежутки между соседними колоннами были бы лишь немногим шире самих колонн. Вообразите силу, необходимую для разрыва этого огромного леса стальных колонн, и вы получите представление о могуществе невидимой силы взаимного притяжения Земли и Солнца.

И вся эта колоссальная сила проявляется лишь в том, что, искривляя путь движения Земли, каждую секунду заставляет Землю уклоняться от касательной на 3 мм; благодаря этому путь нашей планеты и превращается в замкнутый, эллиптический. Не странно ли: чтобы придвигать Землю каждую секунду на 3 мм, — толщину этой строки, — нужна такая исполинская сила! Это только показывает, как огромна *масса* земного шара, если даже столь чудовищная сила может сообщить ей лишь весьма незначительное перемещение.

### Можно ли укрыться от силы тяготения?

Сейчас мы фантазировали о том, что было бы, если бы взаимное притяжение между Солнцем и Землей исчезло. Освободившись от невидимых цепей притяжения, Земля умчалась бы в бесконечный простор Вселенной. Теперь пофантазируем на другую тему: что стало бы со всеми земными предметами, если бы не было тяжести? Ничто не привязывало бы их к нашей планете, и при малейшем толчке они уносились бы прочь в межпланетное пространство. Не пришлось бы, впрочем, дожидаться и толчка: вращение нашей планеты раскидало бы в пространство все, что непрочно связано с ее поверхностью.

Английский писатель Уэллс воспользовался подобного рода идеей, чтобы описать в романе фантастическое путешествие на Луну. В этом произведении («Первые люди на Луне») остроумный романист указывает на очень оригинальный способ путешествовать с планеты на планету. А именно: ученый герой его романа изобрел особый состав, который обладает замечательным свойством — непроницаемостью для силы тяготения. Если слой такого состава подвести под какое-нибудь тело, оно освободится от притяжения Земли и станет невесомым. Это фантастическое вещество Уэллс назвал «кеворитом» — по имени его вымышленного изобретателя Кевора.

«Мы знаем, — пишет романист, — что для всемирного тяготения, то есть для силы тяжести, проницаемы все тела. Вы можете поставить преграды, чтобы отрезать лучам света доступ к предметам; с помощью металлических листов можете оградить

предмет от доступа электрических волн радиотелеграфа, — но никакими преградами не можете вы защитить предмет от действия тяготения Солнца или от силы земной тяжести. Отчего, собственно, в природе нет подобных преград для тяготения, — трудно сказать. Однако Кевор не видел причин, почему бы и не существовать такому веществу, непроницаемому для тяготения; он считал себя способным искусственно создать такое непроницаемое для тяготения вещество.

Всякий обладающий хоть искрой воображения легко представит себе, какие необычайные возможности открывает перед нами подобное вещество. Если, например, нужно поднять груз, то, как бы огромен он ни был, достаточно будет разостлать под ним лист из этого вещества, — и груз можно будет поднять хоть соломинкой».

Обладая таким замечательным веществом, герои романа сооружают небесный корабль, в котором и совершают смелый полет на Луну. Устройство снаряда весьма несложно: в нем нет никакого двигательного механизма, так как он перемещается действием притяжения светил.

Вот описание этого фантастического снаряда:

«Вообразите себе шарообразный снаряд, достаточно просторный, чтобы вместить двух человек с их багажом. Снаряд будет иметь две оболочки — внутреннюю и наружную; внутренняя из толстого стекла, наружная — стальная. Можно взять с собой запас сгущенного воздуха, концентрированной пищи, аппараты для дистилляции воды и т. п. Стальной шар будет весь снаружи покрыт слоем „кеворита“. Внутренняя стеклянная оболочка будет сплошная, кроме люка; стальная же будет состоять из отдельных частей, и каждая такая часть может сворачиваться, как штора. Это легко устроить посредством особых пружин; шторы можно будет опускать и свертывать электрическим током, проводимым по платиновым проводам в стеклянной оболочке. Но это уже технические подробности. Главное то, что наружная оболочка снаряда будет вся состоять как бы из окон и „кеворитных“ штор. Когда все шторы наглухо спущены, внутрь шара не может проникнуть ни свет, ни какой-либо вообще вид лучистой энергии, ни сила всемирного тяготения. Но вообразите, что одна из штор поднята, — тогда любое массивное тело, которое случайно находится вдали против этого окна, притянет нас к себе. Практически мы сможем путешествовать в мировом пространстве в том направлении, в каком пожелаем, притягиваемые то одним, то другим небесным телом».

### Как полетели на Луну герои Уэллса

Интересно описан у романиста самый момент отправления межпланетного вагона в путь. Тонкий слой «кеворита», покрывающий наружную поверхность снаряда, делает его как бы совершенно невесомым. Вы понимаете, что невесомое тело не может лежать спокойно на дне воздушного океана; с ним должно произойти то же, что произошло бы с пробкой, погруженной на дно озера: пробка быстро всплыла бы на поверхность воды. Точно так же невесомый снаряд, — отбрасываемый к тому же и инерцией вращения земного шара, —

должен стремительно взлететь ввысь и, дойдя до крайних границ атмосферы, свободно продолжать свой путь в мировом пространстве. Герои романа так и полетели. А очутившись в мировом пространстве, они, открывая одни заслонки, закрывая другие, подвергая внутренность снаряда притяжению то Солнца, то Земли, то Луны, добрались до поверхности нашего спутника. Впоследствии один из путешественников в том же снаряде возвратился на Землю.

Не будем останавливаться здесь на разборе идеи Уэллса по существу, — это сделано мною в другом сочинении[1], в котором я и выяснил ее несостоятельность. Поверим на минуту остроумному романисту и последуем за его героями на Луну.

## Полчаса на Луне

Посмотрим, как чувствовали себя герои повести Уэллса, очутившись в мире, где тяжесть слабее, чем на Земле.

Вот эти любопытные страницы[2] романа «Первые люди на Луне». Рассказ ведется от лица одного из жителей Земли, только что прибывших на Луну.

«Я принялся вывинчивать крышку снаряда. Став на колени, я высунулся из люка: внизу, на расстоянии трех футов от моей головы, лежал девственный снег Луны.

Закутавшись в одеяло, Кевор сел на край люка и стал осторожно свешивать ноги. Спустив их до высоты полуфута над почвой, он, после минутного колебания, соскользнул вниз на почву лунного мира.

Я следил за ним через стеклянную оболочку шара. Пройдя несколько шагов, он постоял минуту, озираясь кругом, затем решился и — прыгнул вперед.

Стекло искажало его движения, но мне казалось, что это и в действительности был чересчур большой прыжок. Кевор сразу очутился от меня в расстоянии 6–10 метров. Стоя на скале, он делал мне какие-то знаки; возможно, что он и кричал, — однако звуки не достигали меня... Но как он проделал свой прыжок?

Озадаченный, я пролез через люк и тоже спустился вниз, очутившись на краю снежной выемки. Сделав шаг вперед, я прыгнул.

Я почувствовал, что лечу, и вскоре очутился близ скалы, на которой стоял поджидавший меня Кевор; ухватившись за нее, я повис в страшном изумлении.

Кевор, нагнувшись, кричал мне визгливым голосом, чтобы я был осторожнее.

Я и забыл, что на Луне напряжение тяжести[3] в шесть раз слабее, нежели на Земле. Действительность сама напоминала мне об этом.

Осторожно, сдерживая свои движения, я поднялся на вершину скалы и, ступая словно больной ревматизмом, стал на солнце рядом с Кевором. Снаряд наш лежал на тающем сугробе снега, футах в тридцати от нас.

---

[1] «Межпланетные путешествия».

[2] Отрывок приведен здесь с несущественными пропусками.

[3] Т. е. сила тяжести (*примеч. ред.*).

— Посмотрите, — обратился я, поворачиваясь к Кевору.

Но Кевор исчез.

Одно мгновение я стоял, пораженный этой неожиданностью, затем, желая заглянуть за край скалы, поспешно шагнул вперед, совершенно забыв, что я на Луне. Усилие, которое я сделал, подвинуло бы меня на один метр, будь я на Земле; на Луне же оно подвинуло меня на 6 метров, и я очутился в 5 метрах за краем скалы.

Я испытывал то ощущение витания в пространстве, которое приходится переживать во сне, когда снится, будто падаешь в бездну. На Земле человек, падая, опускается в течение первой секунды на 5 метров, на Луне же он проходит при падении в первую секунду 80 сантиметров. Вот почему я плавно порхнул вниз на глубину метров девяти. Падение показалось мне продолжительным; оно длилось секунды три. Я поплыл в воздухе и опустился плавно, как пушинка, увязши по колено в снежном сугробе на дне скалистой долины.

— Кевор! — крикнул я, осматриваясь кругом. Но нигде не было и следов его.

— Кевор! — крикнул я громче.

И вдруг я увидел его: он смеялся и делал мне знаки, стоя на голом утесе, метрах в двадцати от меня. Я не мог слышать слов, но понял смысл его жестов: он приглашал меня прыгнуть к нему.

Я колебался: расстояние казалось мне слишком огромным. Но скоро я сообразил, что раз Кевор проделал такой прыжок, то, наверное, удастся прыгнуть и мне.

Отступив на шаг, я прыгнул изо всех сил. Стрелой взвился я в воздух и, казалось, никогда не опущусь вниз. Это был фантастический полет, — чудовищный, как в сновидении, но в то же время восхитительно приятный.

Прыжок оказался слишком сильным: я перелетел над головой Кевора».

## Стрельба на Луне

Следующий эпизод, взятый из повести выдающегося советского изобретателя К. Э. Циолковского «На Луне», поможет нам уяснить условия движения под действием силы тяжести. На Земле атмосфера, препятствуя движению в ней тел, заслоняет от нас простые законы падения, усложняя их добавочными условиями. На Луне воздух отсутствует совершенно. Луна была бы превосходной лабораторией для изучения падения тел, если бы мы могли на ней очутиться и заниматься там научными исследованиями.

Обращаясь к эпизоду повести, поясним, что два собеседника приводимого далее отрывка находятся на Луне и желают исследовать, как будут двигаться там пули, вылетевшие из ружья.

«— Но будет ли тут работать порох?

— Взрывчатые вещества в пустоте должны проявлять себя даже с большей силой, чем в воздухе, так как последний только препятствует их расширению; что же касается кислорода, то они в нем не нуждаются, потому что все необходимое его количество заключается в них самих.

— Установим ружье вертикально, чтобы пулю после взрыва отыскать поблизости...

Огонь, слабый звук[1], легкое сотрясение почвы.

— Где же пыж? Он должен быть тут, поблизости.

— Пыж улетел вместе с пулей и едва ли от нее отстанет, так как только атмосфера мешает ему на Земле поспевать за свинцом; здесь же пух падает и летит вверх с такой же стремительностью, как и камень. Возьми пушинку, торчащую из подушки, а я возьму чугунный шарик. Ты можешь кидать свою пушинку и попадать ею в цель, даже отдаленную, с таким же удобством, как я шариком. Я могу, при малой тяжести, кинуть шарик метров на 400; ты на такое же расстояние можешь бросить пушинку; правда, ты никого ею не убьешь и при бросании даже не почувствуешь, что ты что-нибудь бросаешь. Бросим наши метательные снаряды изо всех сил, — которые у нас не очень различны, — и в одну цель: вон в тот красный гранит...

Пушинка опередила немного чугунный шарик, как бы увлекаемая сильным вихрем.

— Но что это? Со времени выстрела прошло три минуты, а пули нет!

— Подожди две минуты, и она, наверное, вернется.

Действительно, через указанный срок мы ощущаем легкое сотрясение почвы и видим прыгающий невдалеке пыж.

— Как долго летала пуля! На какую же высоту она должна подняться?

— Километров на семьдесят. Эту высоту создают малая тяжесть и отсутствие воздушного сопротивления».

Проверим. Если для скорости пули в момент вылета из ружейного ствола взять сравнительно скромную цифру 500 м в секунду (для современных ружей это раза в полтора меньше действительной), то высота поднятия на *Земле, при отсутствии атмосферы*, была бы:

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{500^2}{2 \times 10} = 12\,500 \text{ м},$$

т. е. 12½ км. На Луне же, где напряжение тяжести в 6 раз слабее, вместо $g$ надо взять 1⅔ м/с$^2$; достигаемая пулей высота должна равняться:

$$12\,500 \times 6 = 75 \text{ км}.$$

## В бездонном колодце

О том, что делается в глубоких недрах нашей планеты, ученым известно пока очень мало. Одни полагают, что под твердой корой в сотню километров толщины начинается огненно-жидкая масса; другие считают весь земной шар отвердевшим до самого центра. Решить вопрос трудно: ведь самая глубокая

[1] Звук, передаваемый через почву и тела людей, а не через воздух, которого на Луне нет.

шахта простирается не глубже 2½ км[1], а радиус земного шара равен 6400 км. Если бы можно было просверлить через нашу планету сквозной колодец, прорезающий земной шар по диаметру, — тогда подобные вопросы, разумеется, были бы разрешены. Современная техника далека еще от возможности осуществления подобных предприятий, — хотя все прорытые в земной коре буровые скважины, взятые вместе, составили бы длину, превышающую диаметр нашей планеты.

О прорытии сквозного туннеля через земной шар мечтали в XVIII веке знаменитый математик Мопертюи и философ Вольтер. К этому проекту — правда, в ином, более скромном масштабе, — вернулся французский астроном Фламмарион; мы воспроизводим здесь заглавный рисунок его статьи, посвященной этой теме (рис. 211).

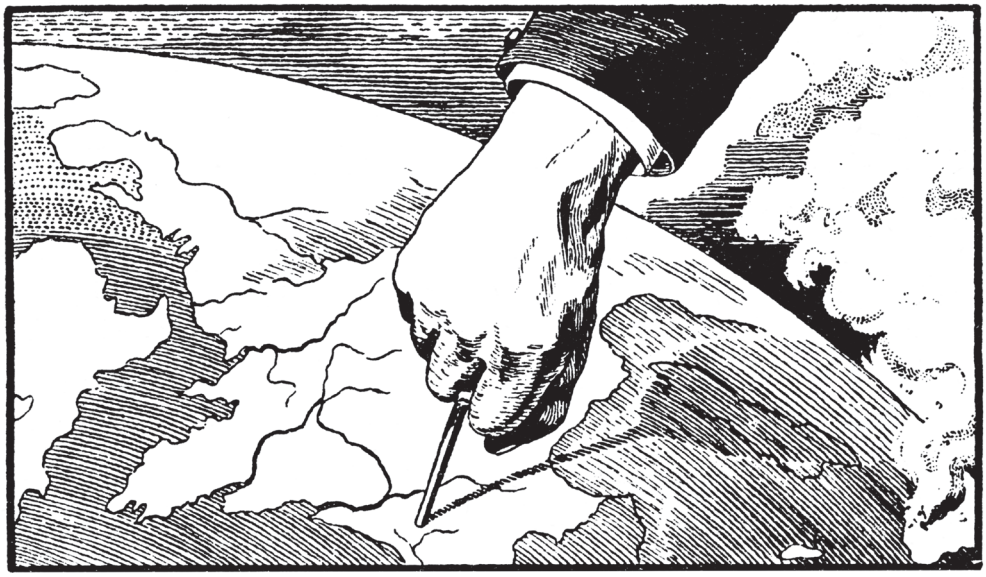


*Рис. 211. Если просверлить земной шар по диаметру...*

[1] Такую глубину имеет шахта, прорытая в 1932 г. в Южной Африке в золотом руднике Вилейдж Дип. Второе место в мире по глубине (около 2300 м) занимает бразильский золотой рудник Морро Вельхо, о котором мы еще будем говорить в главе VI. Глубочайшая шахта нашего Союза — «Новая Смолянка» в Донбассе — достигает 900 м.

Глубже проникает в земную кору бурильное долото; самая глубокая нефтяная скважина заложена в Техасе (США): она достигает 3835 метров.

[Я. П. приводит данные на 1936 г.; в наши дни самая глубокая в мире шахта — золоторудная Тау-Тона близ Йоханнесбурга (ЮАР): более 4,5 км. А самым глубоким в мире отверстием в земной коре является Кольская сверхглубокая скважина (СГ-3) в Мурманской области, в 10 км от города Заполярный, пробуренная в 1970–1990 гг.: ее глубина составляет 12 262 м (*примеч. ред.*).]

*Рис. 212. Упав в колодец, прорытый через центр земного шара, тело будет качаться безостановочно от одного конца колодца до другого, совершая каждое полное качание в течение 1 часа 24 минут.*

Ничего подобного, конечно, пока еще не сделано; но воспользуемся воображаемым бездонным колодцем, чтобы заняться одной любопытной задачей. Как вы думаете, что было бы с вами, если бы вы упали в такой бездонный колодец (о сопротивлении воздуха на время забудем)? Разбиться о дно вы не можете — дна здесь не существует, — но где же вы остановитесь?

В центре Земли? Нет.

Когда вы долетите до центра, тело ваше будет иметь такую колоссальную скорость (около 8 км/с), что об остановке в этой точке не может быть и речи. Вы промчитесь далее и будете нестись, постепенно замедляя движение, пока не поравняетесь с краями противоположного конца колодца. Здесь надо будет вам покрепче ухватиться за края, — иначе вы вновь проделаете прогулку через весь колодец до другого конца. Если и тут не удастся вам ухватиться за что-нибудь, вы опять полетите в колодец и будете качаться так без конца. Механика учит, что при таких условиях (если только, повторяю, пренебречь сопротивлением воздуха в колодце) тело должно качаться туда и назад вечно[1].

Какова была бы продолжительность одного такого качания? Оказывается, что весь путь, туда и обратно, занял бы 84 минуты 24 секунды, т. е. круглым счетом полтора часа.

«Так было бы, — продолжает французский астроном, — если бы колодец вырыт был по оси от полюса до полюса. Но достаточно перенести точку отправления на какую-либо иную широту — на материк Европы, Азии или Африки, — и придется принять в расчет влияние вращения Земли. Известно, что каждая точка земной поверхности пробегает на экваторе 465 м в секунду, а на широте Парижа — 300 м. Так как окружная скорость *возрастает* с удалением от оси вращения, то свинцовый шарик, например, брошенный в колодец, падает не по вертикали, а уклоняется несколько к востоку. Если вырыть бездонный колодец на экваторе,

[1] При наличии же сопротивления воздуха качания будут постепенно затухать, и дело кончится тем, что человек остановится в центре Земли.

то ширина его должна быть весьма значительна, либо же он должен быть сильно скошен, потому что тело, падающее с поверхности Земли, пронеслось бы далеко к востоку от ее центра.

Если бы входное отверстие колодца находилось на одном из плоскогорий Южной Америки, на высоте, положим, двух километров, а противоположный конец туннеля приходился на уровне океана, то человек, который по неосторожности свалился бы в американское отверстие, достиг бы противоположного конца с такою скоростью, что вылетел бы из него на высоту двух километров.

А если бы оба конца колодца приходились на уровне океана, можно было бы подать летящему человеку руку в момент появления его у отверстия, когда скорость полета равняется нулю. В предыдущем же случае следовало бы, напротив, с опаскою посторониться от чересчур стремительного путешественника».

## Сказочная дорога

В начале XX века в Санкт-Петербурге появилась брошюра со странным заглавием: «Самокатная подземная железная дорога между С.-Петербургом и Москвой. Фантастический роман пока в трех главах, да и то неоконченных». Автор этой брошюры, А. А. Родных, предлагает остроумный проект, с которым интересно познакомиться любителю физических парадоксов.

Проект состоит «в проведении 600-километрового туннеля, который должен соединить обе наши столицы по совершенно прямой подземной линии. Таким образом, впервые явилась бы возможность для человечества совершать путь по прямой, а не ходить кривыми путями, как это было до сих пор». (Автор хочет сказать, что все наши дороги, подчиняясь кривизне земной поверхности, следуют по дугам, между тем как проектируемый туннель пройдет по прямой линии — по хорде.)

Такой туннель, если бы его можно было прорыть, имел бы удивительное свойство, каким не обладает ни одна дорога в мире. Оно заключается в том, что любой экипаж в подобном туннеле *должен двигаться сам собой*. Вспомним наш подземный колодец, пробуравливающий земной шар. Ленинградо-московский туннель — тот же колодец, только просверленный не по диаметру, а по хорде. Правда, при взгляде на рис. 213 может казаться, что туннель прорыт горизонтально и что поезду, следовательно, нет причины катиться

*Рис. 213. Если бы прорыть туннель между Ленинградом и Москвой, то поезда мчались бы в нем туда и обратно собственным весом, без паровозов.*

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 прорыт не под прямым углом к отвесу, т. е. не горизонтально, а *наклонно*.

В таком косом колодце всякое тело должно качаться, увлекаемое силою тяжести, вперед и назад, все время прижимаясь ко дну. Если в туннеле устроить рельсы, то железнодорожный вагон будет сам катиться по ним: вес заменит тягу паровоза. Вначале поезд будет двигаться очень медленно. С каждой секундой скорость самокатного поезда будет возрастать; вскоре она дойдет до невообразимой величины, так что воздух в туннеле будет уже заметно мешать его движению. Но забудем на время об этом досадном препятствии, мешающем осуществлению многих заманчивых проектов, и проследим за поездом дальше. Домчавшись до середины туннеля, поезд будет обладать такой огромной скоростью — во много раз быстрее пушечного снаряда! — что с разбега докатится почти до противоположного конца туннеля. Если бы не трение, не было бы и этого «почти»: поезд без паровоза сам доехал бы из Ленинграда в Москву. Продолжительность перелета в один конец, как показывает расчет, — та же, что и для падения сквозь туннель, прорытый по диаметру: 42 минуты 12 секунд. Странным образом она не зависит от длины туннеля; путешествия в туннеле Москва — Ленинград, Москва — Владивосток или Москва — Мельбурн продолжались бы одинаковое время[1].

То же повторялось бы с любым другим экипажем: дрезиной, каретой, автомобилем и т. д. Поистине сказочная дорога, которая, сама оставаясь неподвижной, мчит по себе все экипажи от одного конца до другого, и притом с невообразимой быстротой!

(Интересующиеся математической стороной этой задачи могут найти подробный разбор ее в моей статье, напечатанной в журнале «Математика и физика в школе», 1936, № 3, с. 106–107.)

### Как роют туннели?

Взгляните на рис. 214, изображающий три способа проведения туннелей, и скажите, какой из них прорыт горизонтально?

Не верхний и не нижний, а средний, идущий по дуге, которая во всех точках образует прямые углы с направлением отвесных линий (или земных радиусов). Это и есть горизонтальный туннель, — его изгиб вполне соответствует кривизне земной поверхности.

Большие туннели прорывают обыкновенно так, как показано вверху рисунка 214: по прямым линиям, касательным к земной поверхности в крайних

[1] Можно доказать еще и другое, не менее любопытное положение, относящееся к бездонному колодцу: продолжительность качания зависит не от размера планеты, а только от ее плотности.

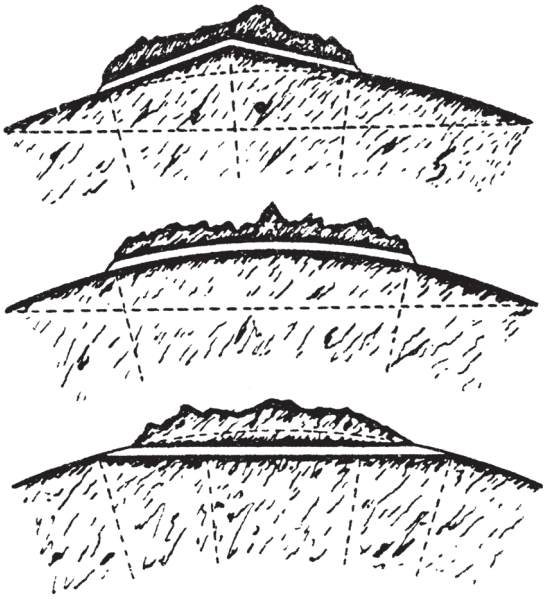


*Рис. 214. Три способа прокладывать туннели сквозь горы.*

точках туннеля. Такой туннель сначала идет немного *вверх*, затем *вниз*. Он представляет то удобство, что вода не застаивается в нем, а сама стекает к краям.

Если бы туннель рылся строго горизонтально, то длинный туннель имел бы дугообразную форму. Вода не имела бы стремления вытекать из него, так как в каждой его точке находилась бы в равновесии. Когда такой туннель длиннее 15 км (Симплонский[1], например, имеет в длину 20 км), то, стоя у одного выхода, нельзя видеть другого: луч зрения упирается в потолок, так как средняя точка такого туннеля более чем на 4 м возвышается над его конечными точками.

Наконец, если прорыть туннель по прямой линии, соединяющей крайние точки, он будет с обоих концов иметь легкий наклон *вниз* к середине. Вода не только не будет вытекать из него, но, напротив, скопится в средней, самой низкой его части. Зато, стоя у одного конца такого туннеля, можно будет видеть другой. Прилагаемые рисунки поясняют сказанное[2].

---

[1] Железнодорожный тоннель в Альпах, соединяющий Италию и Швейцарию (*примеч. ред.*).

[2] Из изложенного следует, между прочим, что все горизонтальные линии — кривые; прямых горизонтальных линий быть не может. Вертикальные же, напротив, могут быть только прямые.

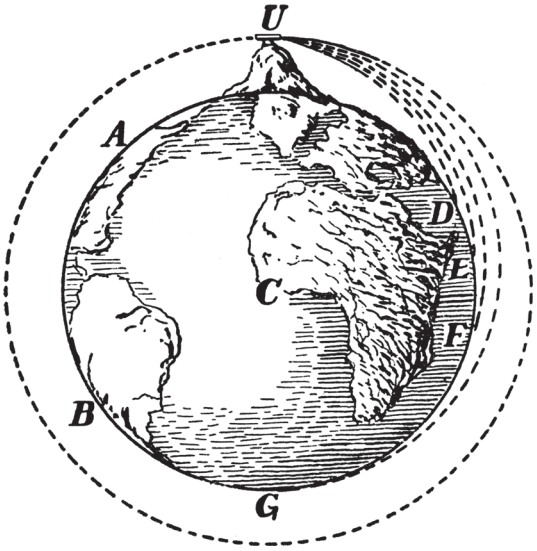



*Рис. 215. Как должны падать камни,*
*бросаемые на вершине горы с огромной скоростью в горизонтальном направлении.*

## *ГЛАВА ПЯТАЯ*

## ПУТЕШЕСТВИЕ В ПУШЕЧНОМ СНАРЯДЕ

В заключение наших бесед о законах движения и силе притяжения разберем то фантастическое путешествие на Луну, которое так занимательно описано Жюлем Верном в романах «С Земли на Луну» и «Вокруг Луны»[1]. Вы, конечно, помните, что члены Пушечного клуба Балтиморы, обреченные на бездеятельность с окончанием Североамериканской войны, решили отлить исполинскую пушку, зарядить ее огромным полым снарядом и, посадив внутрь пассажиров, выстрелом отправить снаряд-вагон на Луну.

Фантастична ли эта мысль? И прежде всего: можно ли сообщить телу такую скорость, чтобы оно безвозвратно покинуло земную поверхность?

---

[1] Русский перевод (Марко Вовчок) озаглавлен «Из пушки на Луну». Он вышел под редакцией Я. Перельмана в «Детиздате» в 1936 г.

## Ньютонова гора

Предоставим слово гениальному Ньютону, открывшему закон всемирного тяготения. В своих «Математических началах физики» он пишет (приводим это место ради облегчения понимания в вольном переводе):

«Брошенный камень под действием тяжести отклоняется от прямолинейного пути и падает на Землю, описывая кривую линию. Если бросить камень с большею скоростью, то он полетит дальше; поэтому может случиться, что он опишет дугу в десять, сто, тысячу миль и, наконец, выйдет за пределы Земли и не вернется на нее больше. Пусть *AFB* (рис. 215) представляет поверхность Земли, *C* — ее центр, а *UD*, *UE*, *UF* — кривые линии, которые описывает тело, бросаемое в горизонтальном направлении с очень высокой горы с все большей и большей скоростью. Мы не принимаем во внимание противодействия атмосферы, т. е. предполагаем, что она совершенно отсутствует. При меньшей первоначальной скорости тело описывает кривую *UD*, при большей скорости — кривую *UE*, при еще бóльших скоростях — кривые *UF*, *UG*. При некоторой скорости тело обойдет вокруг всей Земли и возвратится к вершине горы, с которой его бросили. Так как при возвращении к исходному пункту скорость тела будет не *меньше*, чем в самом начале, то *тело* будет продолжать двигаться и *дальше* по той же кривой».

Если бы на этой воображаемой горе была пушка, то выброшенный ею снаряд при известной скорости никогда не упал бы обратно на Землю, а стал бы безостановочно кружиться вокруг земного шара. Путем довольно простого расчета[1] нетрудно определить, что это должно наступить при скорости около 8 км в секунду. Другими словами, снаряд, извергаемый пушкой со скоростью восьми километров в секунду, навсегда покидает поверхность земного шара и становится как бы спутником нашей планеты. Он будет мчаться в 17 раз быстрее, чем какая-либо точка на экваторе, и опишет полный оборот вокруг нашей планеты в 1 час 24 мин. Если же сообщить снаряду бóльшую скорость, он будет вращаться около Земли уже не по кругу, а по более или менее вытянутому эллипсу, удаляясь от Земли на огромное расстояние. При еще большей начальной скорости снаряд навсегда удалится от нашей планеты в мировое пространство. Это должно наступить при начальной скорости около 11 км в секунду. (Во всех этих рассуждениях имеются в виду снаряды, движущиеся в *пустом* пространстве, а не в воздушной среде.)

Итак, если бы не существовало атмосферы, ничего невозможного не было бы в мысли перебросить на Луну какое-либо земное тело. Теперь посмотрим, можно ли осуществить это теми средствами, которые предлагал Жюль Верн. Современные пушки сообщают снарядам скорость не более двух километров в первую секунду. Это в пять раз меньше той скорости, с какой тело может полететь на Луну. Герои романов думали, что, соорудив исполинскую пушку

[1] См. «Занимательную физику», кн. 1-ю, гл. II, с. 40.

и зарядив ее огромным количеством взрывчатых веществ, им удастся получить скорость, достаточную, чтобы отправить снаряд на Луну.

### Фантастическая пушка

И вот члены Пушечного клуба отливают гигантскую пушку, длиной в четверть километра, отвесно врытую в землю. Изготавливается соответственно огромный снаряд, который внутри представляет собою каюту для пассажиров. Вес его — 8 т. Заряжают пушку хлопчатобумажным порохом — пироксилином — в количестве 160 т. В результате взрыва снаряд, если верить романисту, приобретает скорость в 16 км в секунду, но вследствие трения о воздух скорость эта уменьшается до 11 км в секунду. Таким образом, очутившись за пределами атмосферы, жюль-вернов снаряд обладает скоростью, достаточной, чтобы долететь до Луны.

Так описывается в романе. Что же может сказать об этом физика?

Проект Жюля Верна уязвим совсем не в том пункте, куда обычно направляется сомнение читателя. Во-первых, можно доказать (я доказываю это в книге «Межпланетные путешествия»), что пороховые пушки никогда не смогут сообщить снарядам скорости, большей 3 км/с.

Кроме того, Жюль Верн не посчитался с сопротивлением воздуха, которое при такой огромной скорости должно быть весьма велико и совершенно изменить картину полета. Но и помимо этого имеются серьезные возражения против проекта полета на Луну в артиллерийском снаряде.

Главные опасения вызывает участь самих пассажиров. Не думайте, что опасность грозит им во время полета от Земли до Луны. Если бы им удалось остаться живыми к тому моменту, когда они покинут жерло пушки, то во время дальнейшего путешествия им нечего уже было бы опасаться. Огромная скорость, с которой пассажиры будут мчаться в мировом пространстве вместе с их вагоном, столь же безвредна для них, как безвредна для нас, обитателей Земли, та еще бóльшая скорость, с какой земной шар мчится вокруг Солнца.

### Тяжелая шляпа

Самый опасный момент для наших путешественников представили бы те несколько сотых долей секунды, в течение которых каюта-снаряд движется в канале пушки. Ведь в течение этого ничтожно малого промежутка времени скорость, с какою пассажиры будут двигаться в пушке, должна возрасти от нуля до 16 километров в секунду! Недаром в романе пассажиры с таким трепетом ожидали выстрела. И Барбикен был вполне прав, утверждая, что момент, когда снаряд полетит, будет для пассажиров столь же опасен, как если бы они находились не внутри, а впереди снаряда. Действительно: в момент выстрела нижняя площадка каюты ударит пассажиров снизу с такой же силой, с какой налетел бы снаряд на всякое тело, находящееся на его пути. Герои романа

отнеслись к этой опасности чересчур легко, воображая, что отделаются в худшем случае только приливом крови к голове...

Дело обстоит серьезнее. В канале ствола снаряд движется ускоренно: скорость его растет под постоянным напором газов, образующихся при взрыве. В течение ничтожной доли секунды скорость эта возрастает от 0 до 16 км/с. Допустим для простоты, что возрастание скорости совершается равномерно; тогда ускорение, необходимое для того, чтобы в столь ничтожное время довести скорость снаряда до 16 км/с, достигнет здесь круглым счетом 600 км в секунду за секунду. (Вычисления приведены далее на с. 305.)

Роковое значение этой цифры мы вполне поймем, если вспомним, что обычное ускорение силы тяжести на земной поверхности равняется всего 10 м в секунду за секунду[1]. Отсюда следует, что каждый предмет внутри снаряда в момент выстрела оказывал бы на дно каюты давление, которое в 60 000 раз больше веса этого предмета. Другими словами: пассажиры чувствовали бы, что сделались словно в несколько десятков тысяч раз тяжелее! Под действием такой колоссальной тяжести они были бы мгновенно раздавлены. Один цилиндр мистера Барбикена весил бы в момент выстрела не менее 15 тонн (вес груженого вагона); такой шляпы слишком достаточно, чтобы раздавить ее владельца.

Правда, в романе описаны меры, принятые для ослабления удара: ядро снабжено пружинными буферами и двойным дном с водою, заполняющей пространство в нем. Продолжительность удара от этого немного растягивается и, следовательно, быстрота нарастания скорости ослабевает. Но при огромных силах, с которыми приходится здесь иметь дело, выгода от этих приспособлений получается мизерная. Сила, которая будет придавливать пассажиров к полу, уменьшается на ничтожную долю, — а не все ли равно, быть раздавленным шляпой в 15 или 14 тонн?!.

### Как ослабить сотрясение?

Физика дает указание на то, как можно было бы ослабить роковую быстроту нарастания скорости.

Этого можно достигнуть, если во много раз *удлинить ствол пушки*.

Удлинение потребуется, однако, весьма значительное, если мы хотим, чтобы в момент выстрела сила «искусственной» тяжести внутри снаряда равнялась обыкновенной тяжести на земном шаре. Приблизительный расчет показывает, что для этого нужно было бы изготовить пушку длиной ни мало ни много — в 6000 км! Другими словами, жюль-вернова «колумбиада» должна бы простираться вглубь земного шара до самого его центра... Тогда пассажиры могли бы быть избавлены от всяких неприятностей: к их обычному весу

[1] Прибавлю еще, что ускорение гоночного автомобиля, начинающего свое быстрое движение, не превышает 2–3 м/с$^2$, а ускорение поезда, плавно отходящего от станции, — 1 м в секунду за секунду.

прибавился бы еще только такой же кажущийся вес вследствие медленного нарастания скорости, и они чувствовали бы, что стали всего вдвое тяжелее.

Впрочем, в течение краткого промежутка человеческий организм способен без вреда переносить увеличение тяжести в несколько раз. Когда мы скатываемся с ледяной горы вниз и здесь быстро меняем направление своего движения, вес наш в этот краткий миг заметно увеличивается, т. е. тело наше прижимается к санкам сильнее обычного. Увеличение тяжести раза в три переносится нами довольно благополучно. Если допустить, что человек может безвредно переносить в течение короткого времени даже десятикратное увеличение веса, то достаточно будет отлить пушку «всего» в 600 км длиною. Однако это мало утешительно, потому что и подобное сооружение лежит за пределами технически возможного.

Вот при каких лишь условиях мыслимо осуществление заманчивого проекта Жюля Верна: полететь на Луну в пушечном снаряде[1].

### Для друзей математики

Среди читателей этой книги, без сомнения, найдутся и такие, которые пожелают сами проверить расчеты, упомянутые выше. Приводим здесь эти вычисления. Они верны лишь приблизительно, так как основаны на допущении, что в канале пушки снаряд движется равномерно-ускоренно (в действительности же возрастание скорости происходит неравномерно).

Для расчетов придется пользоваться следующими двумя формулами ускоренного движения:

скорость $v$ по истечении $t$-й секунды равна $at$, где $a$ — ускорение:

$$v = at;$$

пространство $S$, пройденное за $t$ секунд, определяется формулой:

$$S = \frac{at^2}{2}.$$

По этим формулам определим прежде всего ускорение снаряда, когда он скользил в канале «колумбиады».

---

[1] Описывая в романе условия жизни внутри летящего пушечного снаряда, Жюль Верн сделал существенное упущение, о котором подробно говорится в первой книге «Занимательной физики». Романист не принял в расчет, что после выстрела, во все время перелета, предметы внутри снаряда будут совершенно невесомы, так как сила тяжести сообщает одинаковые ускорения и снаряду, и всем телам в нем (см. также далее статью «Недостающая глава в романе Жюля Верна», с. 357). Невесомыми должны быть предметы и внутри того небесного корабля, о котором говорилось в статье «К звездам на ракете», с. 248. Подробнее об этом см. мои книги «Межпланетные путешествия», «Ракетой на Луну», «Циолковский», а также послесловие к книге Ж. Верна «Из пушки на Луну» — в изд. «Детгиза».

Из романа известна длина части пушки, не занятой зарядом, — 210 м; это и есть пройденный снарядом путь $S$.

Мы знаем и конечную скорость $v$ = 16 000 м/с. Данные $S$ и $v$ позволяют определить величину $t$ — продолжительность движения снаряда в канале орудия (рассматривая это движение как равномерно-ускоренное). В самом деле:

$$v = at = 16\,000,$$

$$210 = S = \frac{at \times t}{2} = \frac{16\,000t}{2} = 8000t,$$

откуда

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

Снаряд, оказывается, скользил бы внутри пушки всего ¹⁄₄₀ секунды!

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

$$16\,000 = \frac{a}{40}, \text{ откуда } a = 640\,000 \text{ м/с}^2.$$

Значит, ускорение снаряда при движении в канале равно 640 000 м/с$^2$, т. е. в 64 000 раз больше ускорения силы тяжести!

Какой же длины должна быть пушка, чтобы ускорение снаряда было всего в 10 раз больше ускорения падающего тела (т. е. равнялось 100 м/с$^2$)?

Это — задача, обратная той, которую мы сейчас решили. Данные: $a$ = 100 м/с$^2$; $v$ = 11 000 м/с (при отсутствии сопротивления атмосферы такая скорость достаточна).

Из формулы $v = at$ имеем: 11 000 = 100$t$, откуда $t$ = 110 секундам.

Из формулы $S = \frac{at^2}{2} = \frac{at \times t}{2}$ получаем, что длина пушки должна равняться $\frac{11\,000 \times 110}{2}$ = 605 000 м, т. е. круглым счетом 600 км.

Такими вычислениями получены те цифры, которые разрушают заманчивые планы героев Жюля Верна.

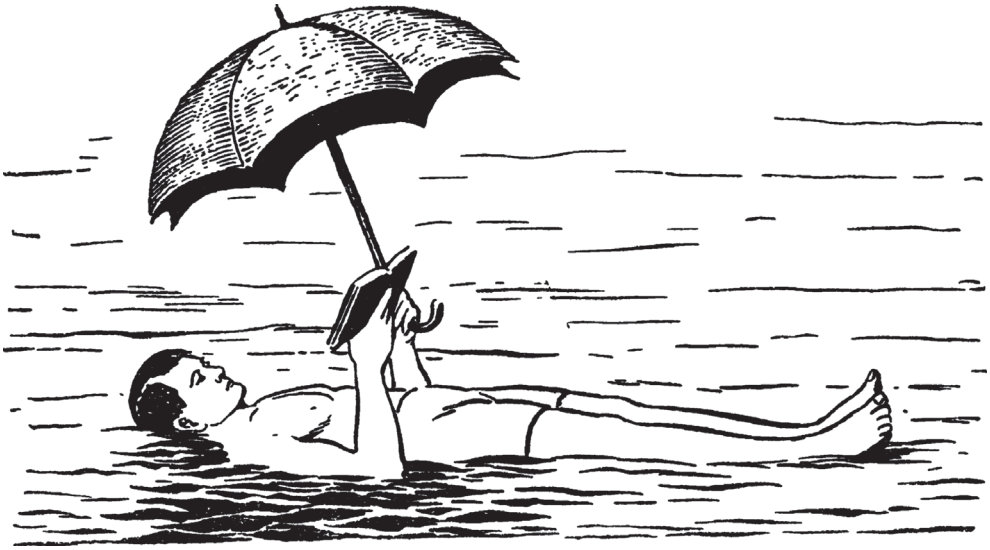


*Рис. 216. Человек на поверхности Мертвого моря (с фотографии).*

## *ГЛАВА ШЕСТАЯ*

# СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

### Море, в котором нельзя утонуть

Такое море существует в стране, известной человечеству с древнейших времен. Это знаменитое Мертвое море Палестины. Воды его необыкновенно солены, настолько, что в них не может жить ни одно живое существо. Знойный, бездождный климат Палестины вызывает сильное испарение воды с поверхности моря. Но испаряется только чистая вода, растворенные же соли остаются в море и увеличивают соленость воды. Вот почему вода Мертвого моря содержит не 2 или 3 процента соли (по весу), как большинство морей и океанов, а 27 и более процентов; с глубиной соленость растет. Итак, четвертую часть содержимого Мертвого моря составляют соли, растворенные в его воде. Общее количество солей в нем оценивается в 40 миллионов тонн.

Высокая соленость Мертвого моря связана с одной любопытной его особенностью: вода этого моря значительно тяжелее обыкновенной морской воды. Утонуть в такой тяжелой жидкости — нельзя: человеческое тело легче нее. Вес нашего тела заметно меньше веса равного объема густо-соленой воды и, следовательно, по закону плавания, человек не может в Мертвом море потонуть; он всплывает в нем, как всплывает в соленой воде куриное яйцо (которое в пресной тонет).

Юморист Марк Твен, посетивший это озеро-море, с комичной обстоятельностью описывает необычайные ощущения, которые он и его спутники испытали, купаясь в тяжелых водах Мертвого моря:

«Это было забавное купанье! Мы не могли утонуть. Здесь можно вытянуться на воде во всю длину, лежа на спине и сложив руки на груди, причем бóльшая часть тела будет оставаться над водой. При этом можно совсем поднять голову... Вы можете лежать очень удобно на спине, подняв колени к подбородку и охватив их руками, — но вскоре перевернетесь, так как голова перевешивает. Вы можете встать на голову — и от середины груди до конца ног будете оставаться вне воды; но вы не сможете долго сохранять такое положение. Вы не можете плыть на спине, подвигаясь сколько-нибудь заметно, так как ноги ваши торчат из воды, и вам приходится отталкиваться только пятками. Если же вы плывете лицом вниз, то подвигаетесь не вперед, а назад. Лошадь так неустойчива, что не может ни плавать, ни стоять в Мертвом море, — она тотчас же ложится на бок».

На рисунке 216 вы видите человека, довольно удобно расположившегося на поверхности Мертвого моря; большой удельный вес воды позволяет ему в этой позе читать книгу, защищаясь зонтиком от жгучих лучей солнца.

Такими же необычайными свойствами обладает вода Кара-Богаз-Гола (залива Каспийского моря)[1] и не менее соленая вода озера Эльтон, содержащая 27% солей.

Нечто в этом роде приходится испытывать тем больным, которые принимают соленые ванны. Если соленость воды очень велика, — как, например, в Старорусских минеральных водах, — то больному приходится прилагать немало усилий, чтобы удерживаться на дне ванны. Я слышал, как женщина, лечившаяся в Старой Руссе, с возмущением жаловалась, что вода «положительно выталкивала ее из ванны». Кажется, она склонна была винить в этом не закон Архимеда, а администрацию курорта...

Степень солености воды в различных морях несколько колеблется, — и соответственно этому суда сидят не одинаково глубоко в морской воде. Быть может, некоторым из читателей случалось видеть на борту судна близ ватерлинии так называемую «Ллойдовскую марку» — знак, показывающий уровень предельных ватерлиний в воде различной плотности. Например, изображенная на рис. 217 грузовая марка означает уровень предельной ватерлинии (у нас эти марки введены как обязательные с 1909 г.):

в пресной воде (*Fresh Water*).....*FW*
в Индийском океане (*India Summer*).....*IS*
в соленой воде летом (*Summer*).....*S*
в соленой воде зимой (*Winter*).....*W*
в Сев. Атлант. океане зимой (*Winter North Atlantik*).....*WNA*

[1] Удельный вес воды Кара-Богаз-Гола — 1,18. «В такой плотной воде можно плавать без применения усилий и, не обходя закон Архимеда, утонуть невозможно», — замечает по этому поводу исследователь (А. Д. Пельш, «Карабугаз», 1934).

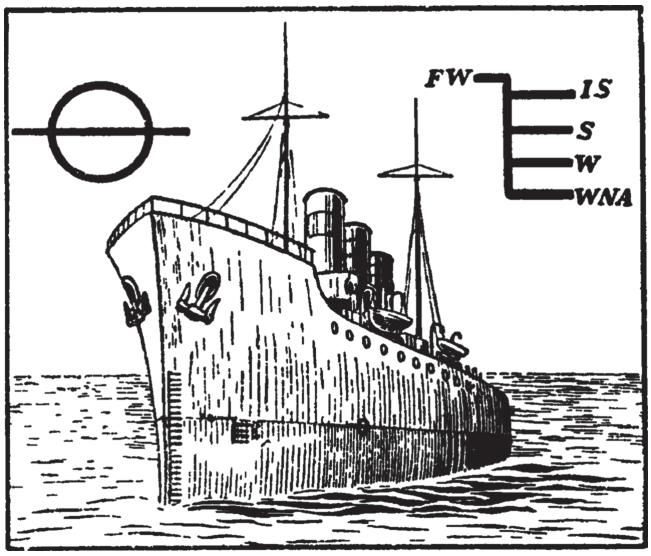



*Рис. 217. Грузовая марка на борту корабля.*
*Обозначения марок делаются на уровне ватерлинии.*
*Для отчетливости они показаны также отдельно в увеличенном виде.*
*Значение букв объяснено в тексте.*

Заметим в заключение, что недавно[1] открыта разновидность воды, которая и в чистом виде, без всяких примесей, заметно тяжелее обыкновенной: ее удельный вес 1,1, т. е. на 10% больше, нежели обыкновенной; следовательно, в бассейне с водой этого сорта человек, даже и не умеющий плавать, едва ли мог бы утонуть. Новооткрытый сорт воды называется «тяжелой» водой; ее химическая формула $D_2O$, или $^2H_2O$ (входящий в ее состав водород состоит из атомов, вдвое тяжелее атомов обыкновенного водорода, и обозначается буквою D). Тяжелая вода в незначительном количестве растворена в обыкновенной: в ведре питьевой воды содержится около 8 граммов тяжелой.

Тяжелая вода состава $D_2O$ (сортов тяжелой воды различного состава возможно 17) в настоящее время добывается уже почти в чистом виде; примесь обыкновенной воды составляет менее 1% и доводится даже до 0,05%. Такую тяжелую воду можно купить за границей по цене около 300 долларов за литр, так что устройство плавательного бассейна тяжелой воды обошлось бы в миллионы долларов[2].

---

[1] В 1932 г. (*примеч. ред.*).

[2] В ценах 1930-х гг. Отечественное производство тяжелой воды в промышленных масштабах начало развиваться только с 1945 г. (*примеч. ред.*).

## Как работает ледокол?

Принимая ванну, не упустите случая проделать следующий опыт. Прежде чем покинуть ванну, откройте ее выпускное отверстие, продолжая пока лежать на ее дне. По мере того, как станет выступать над водою все бóльшая и бóльшая часть вашего тела, вы будете ощущать постепенное его отяжеление. Самым наглядным образом убедитесь вы при этом, что вес, утрачиваемый телом в воде (вспомните, как легко чувствовали вы себя в ванне!), появляется вновь, лишь только тело оказывается вне воды. Когда такой опыт невольно проделывает кит, очутившись во время отлива на мели, последствия оказываются для животного роковыми: оно раздавливается собственным чудовищным весом. Недаром киты, будучи млекопитающими, живут в водной стихии: выталкивающая сила жидкости спасает их от гибельного действия силы тяжести.

Сказанное имеет ближайшее отношение к заголовку настоящей статьи. Работа ледокола основана на том же физическом явлении: вынесенная из воды часть корабля перестает уравновешиваться выталкивающим действием воды и приобретает свой «сухопутный» вес. Не следует думать, что ледокол разрезает лед на ходу непрерывным давлением своей носовой части, — напором форштевня. Так работают не *ледоколы*, а *ледорезы*, — например, наш знаменитый «Литке». Этот способ действия пригоден только для льда сравнительно незначительной толщины.

Подлинные морские ледоколы — такие, как «Красин», «Ленин» или «Ермак», — работают иначе. Действием своих мощных машин ледокол надвигает на поверхность льда свою носовую часть, которая с этой целью устраивается сильно искошенною под водою. Оказавшись вне воды, нос корабля приобретает полный свой вес, и этот огромный груз (доходящий у «Ермака», например, до 800 тонн) обламывает лед. Для усиления действия в носовые цистерны ледокола нередко накачивают еще воду — «жидкий балласт».

Так действует ледокол до тех пор, пока толщина льда не превышает полуметра. Более мощный лед побеждается *ударным* действием судна. Ледокол отступает назад и налетает всей своей массой на кромку льда. При этом действует уже не вес, а «живая сила» движущегося корабля; судно превращается словно в артиллерийский снаряд небольшой скорости, зато огромной массы, в таран. Ледяные торосы в несколько метров высоты разбиваются энергией многократных ударов прочной носовой части ледокола.

Участник знаменитого перехода «Сибирякова» в 1932 г., моряк-полярник Н. Марков, так описывает работу этого ледокола:

«Среди сотен ледяных скал, среди сплошного покрова льда „Сибиряков“ начал битву. 52 часа подряд стрелка машинного телеграфа прыгала от „полного назад“ к „полному вперед“. Тринадцать четырехчасовых морских вахт „Сибиряков“ с разгона врезался в лед, крошил его *носом, влезал на лед*, ломал его и снова отходил назад.

Лед, толщиною в три четверти метра, с трудом уступал дорогу. С каждым ударом пробивались на треть корпуса».

Самыми крупными и самыми мощными в мире ледоколами располагает СССР[1].

### Где находятся затонувшие суда?

Распространено мнение, — даже среди моряков, — будто суда, затонувшие в океане, не достигают морского дна, а висят недвижно на некоторой глубине, где вода «соответственно уплотнена давлением вышележащих слоев».

Мнение это разделял, по-видимому, даже автор «20 тысяч лье под водой»; в одной из глав этого романа Жюль Верн описывает неподвижно висящее в воде затонувшее судно, а в другой упоминает о кораблях, «догнивающих, свободно вися в воде».

Правильно ли подобное утверждение?

Некоторое основание для него как будто имеется, так как давление воды в глубинах океана действительно достигает огромных степеней. На глубине 10 м вода давит с силой 1 кг на 1 кв. см погруженного тела. На глубине 20 м это давление равно уже 2 кг, на глубине 100 м — 10 кг, 1000 м — 100 кг. Океан же во многих местах имеет глубину в несколько километров, достигая в самых глубоких частях Великого океана 11 км и более. Легко вычислить, какое огромное давление должны испытывать вода и погруженные в нее предметы на этих огромных глубинах.

Если порожнюю закупоренную бутылку опустить на значительную глубину и затем извлечь вновь, то обнаружится, что давлением воды пробка вогнана внутрь бутылки и вся посудина полна воды. Знаменитый океанограф Джон Меррей[2] в своей книге «Океан» рассказывает, что был проделан такой опыт: три стеклянные трубки различных размеров, с обоих концов запаянные, были завернуты в холст и помещены в медный цилиндр с отверстиями для свободного пропуска воды. Цилиндр был спущен на глубину 5 км. Когда его извлекли оттуда, оказалось, что холст наполнен снегообразной массой: это было раздробленное стекло. Куски дерева, опускавшиеся на подобную глубину, после извлечения тонули в бочке с водой, как кирпич, — настолько они были сдавлены.

Естественно, казалось бы, ожидать, что столь чудовищное давление должно настолько уплотнить воду на больших глубинах, что даже тяжелые предметы не будут в ней тонуть, как не тонет железная гиря в ртути. Однако подобное

---

[1] Ледокольный флот современной России до сих пор является самым большим в мире; кроме того, Россия — единственная страна, обладающая флотом атомных ледоколов (*примеч. ред.*).

[2] *Меррей Джон* (1841–1914) участвовал в кругосветной экспедиции на корабле «Челленджер» (1872–1876) и был редактором ее отчетов (*примеч. ред.*).

мнение совершенно не обосновано. Опыт показывает, что вода — как и все вообще жидкости — мало поддается сжатию. Сдавливаемая с силой 1 кг на 1 кв. см вода сжимается всего только на одну 22 000-ю долю своего объема и примерно так же сжимается при дальнейшем возрастании давления на каждый килограмм. Если бы мы пожелали довести воду до такой плотности, чтобы в ней плавало железо, необходимо было бы уплотнить ее в 8 раз. Между тем для уплотнения только вдвое, т. е. для сокращения объема наполовину, необходимо давление в 11 000 кг на 1 кв. см (если только упомянутая мера сжатия имеет место для таких огромных давлений). Это соответствует глубине 110 км под уровнем океана!

Отсюда ясно, что говорить о сколько-нибудь заметном уплотнении воды в глубине океанов совершенно не приходится. В самом глубоком их месте вода уплотнена лишь на $^{1100}/_{22\,000}$, то есть на 1/20 нормальной своей плотности, всего на 5%[1]. Это почти не может повлиять на условия плавания в ней различных тел, — тем более что твердые предметы, погруженные в такую воду, также подвергаются этому давлению и, следовательно, тоже уплотняются.

Не может быть поэтому ни малейшего сомнения в том, что затонувшие суда покоятся на дне океана. «Все, что тонет в стакане воды, — говорит Мерей, — должно пойти ко дну и в самом глубоком океане».

Мне приходилось слышать против этого такое возражение. Если осторожно погрузить стакан *вверх дном* в воду, он может остаться в этом положении, так как будет вытеснять объем воды, весящий столько же, сколько стакан. Более тяжелый металлический стакан может удержаться в подобном положении и ниже уровня воды, не опускаясь на дно. Точно так же, будто бы, может остановиться на полупути и опрокинутый вверх килем крейсер или другое судно. Если в некоторых помещениях судна воздух окажется плотно запертым, то судно погрузится на определенную глубину и там остановится. Немало ведь судов идет ко дну в перевернутом состоянии — и возможно, что некоторые из них так и не достигают дна, оставаясь висеть в темных глубинах океана. Достаточно было бы легкого толчка, чтобы вывести такое судно из равновесия, перевернуть, наполнить водою и заставить упасть на дно, — но откуда взяться толчкам в глубине океана, где вечно царит тишина и спокойствие и куда не проникают даже отголоски бурь?

Все эти доводы основаны на физической ошибке. Перевернутый стакан *не погружается в воду сам* — его надо *внешней силой* погрузить в воду, как кусок

---

[1] Английский физик Тэт вычислил, что если бы земное притяжение внезапно прекратилось и вода сделалась невесомой, то уровень воды в океане поднялся бы в среднем на 35 м (вследствие того, что сжатая вода приобрела бы нормальный объем). «Океан затопил бы 5 000 000 кв. км суши, обязанной своим надводным существованием лишь сжимаемости окружающих ее вод океанов» (Берже).

[*Тэт (Тэйт) Питер Гатри* (1831–1901) занимался обработкой результатов глубоководных измерений экспедиции «Челленджера» (*примеч. ред.*).]

дерева или пустую закупоренную бутылку. Точно так же и опрокинутый килем вверх корабль вовсе и не начнет тонуть, а останется на поверхности воды. Очутиться на полупути между уровнем океана и его дном он никак не может.

### Подводные фабрики

Они еще не существуют, но возможно, что появления их не долго придется ждать[1]. Наши инженеры уже задумываются над ними. На мысль о сооружении фабрик глубоко под водой наводят господствующие там огромные давления. Нельзя ли эту гигантскую силу, пропадающую пока без пользы, заставить служить нуждам техники? Ведь существуют химические процессы, протекающие несравненно энергичнее как раз под усиленным давлением. Некоторые из них имеют весьма важное значение в технике; таковы, например, те химические реакции, которые происходят при связывании азота воздуха с целью получения азотной кислоты для удобрения, или те, которые совершаются при превращении твердого топлива в жидкое («бергенизации»). Естественна мысль перенести подобные производства на дно моря с тем, чтобы использовать господствующее там страшное давление.

С проектом подобного рода недавно (в 1935 г.) выступила газета «Техника», напечатавшая предложение советского инженера А. Сливинского об устройстве некоторых цехов глубоко под водою. Наиболее подходящими местами могли бы быть дно Черного моря у Кавказского берега или дно Байкальского озера; там имеются достаточные глубины для получения давления в 100–150 атмосфер. «Если учесть, — пишет автор проекта, — что вблизи Байкала расположен громадный Иркутский каменноугольный бассейн с углями, весьма подходящими для бергенизации, и возможность разработки многих пластов этого бассейна открытыми работами, то станет ясным исключительное значение глубоководной техники для СССР». Предварительные подсчеты обещают снижение первоначальных затрат, по сравнению с обычным оборудованием, в 50 и более раз.

Большое значение может иметь рассматриваемый проект также в использовании энергии ветра путем накопления запасов кислорода и водорода от электрического разложения воды под высоким давлением. Глубоководные резервуары для хранения накопленных газов в сильно сжатом виде не должны иметь чрезмерно больших размеров.

Проект предусматривает такое устройство подводных частей завода, которое не требует непосредственного присутствия обслуживающего персонала: наблюдение и управление осуществляется с берега на расстоянии (средствами телемеханики). «Если сегодня, — говорит автор проекта, — эта проблема лишь *реальная сказка*, то есть шансы за то, что завтра это будет *сказочная реальность*».

---

[1] Из-за технических трудностей и дороговизны подобные проекты вряд ли когда-либо будут реализованы. Человеку до сих пор проще слетать в космос, нежели опуститься под воду хотя бы на полкилометра (*примеч. ред.*).

## Как осуществились мечты Жюля Верна и Уэллса

Реальные подводные лодки нашего времени в некоторых отношениях не только догнали фантастический «Наутилус» Жюля Верна, но даже превзошли его. Правда, скорость хода нынешних подводных крейсеров вдвое меньше быстроты «Наутилуса»: 24 узла против 50 у Жюля Верна (узел — около 1,8 км в час). Самый длинный переход современного подводного корабля — кругосветное путешествие[1], между тем как капитан Немо совершил поход вдвое длиннее. Зато «Наутилус» обладал водоизмещением только в 1500 тонн, имел на борту команду всего из двух-трех десятков человек и способен был оставаться под водою без перерыва не более 48 часов. Современный же подводный крейсер («Сюркуф»), принадлежащий французскому флоту, имеет 3200 тонн водоизмещения, управляется командой из 150 человек и может держаться под водою, не всплывая, до 120 часов![2]

Переход от портов Франции до острова Мадагаскара этот подводный крейсер может совершить, не заходя по пути ни в один порт. По комфортабельности жилых помещений «Сюркуф», быть может, не уступает «Наутилусу». Далее, «Сюркуф» имеет перед кораблем капитана Немо и то несомненное преимущество, что на верхней палубе крейсера устроен водонепроницаемый ангар для разведывательного гидросамолета. Отметим также, что Жюль Верн не снабдил «Наутилус» перископом, дающим лодке возможность обозревать горизонт из-под воды[3].

В одном лишь отношении реальные подводные корабли долго еще будут далеко отставать от создания фантазии французского романиста: в глубине погружения. Однако приходится отметить, что в этом пункте фантазия Жюля Верна перешла границы правдоподобия. «Капитан Немо, — читаем в одном месте романа, — достигал глубины в три, четыре, пять, семь, девять и десять тысяч метров под поверхностью океана». А однажды «Наутилус» опустился даже на небывалую глубину — в 16 тысяч метров! «Я чувствовал, — рассказывает герой романа, — как содрогаются скрепы железной обшивки подводного судна, как изгибаются его распоры, как подаются внутрь окна, уступая давлению воды. Если бы корабль наш не обладал прочностью сплошного литого тела, его мгновенно сплющило бы в лепешку».

---

[1] Кругосветное плавание без единого всплытия на пути следования впервые в истории совершили советские атомные подводные лодки проектов 675 и 627а в 1966 г. (*примеч. ред.*).

[2] Современные атомные подводные лодки с экипажем из 160 человек могут находиться в автономном плавании до 180 суток (*примеч. ред.*).

[3] Подробнее о современных подводных лодках по сравнению с «Наутилусом» Жюля Верна рассказано в послесловии Б. В. Биллевича и Н. И. Тарасова к русскому переводу романа «20 000 лье под водой» (изд. Ленингр. отд. «Молодой Гвардии», 1935).

[Конструкция «Наутилуса» стала безнадежно устаревшей по сравнению с реальными подводными лодками только к 1970-м гг. (*примеч. ред.*).]

Опасение вполне уместное, потому что на глубине 16 километров (если бы такая глубина имелась в океане) давление воды должно было бы достигать

$$16\,000 : 10 = 1600 \text{ кг на кв. см},$$

или 1600 технических атмосфер; такое усилие не раздробляет железа, но безусловно смяло бы конструкцию. Однако подобной глубины современная океанография не знает. Преувеличенные представления о глубинах океана, господствовавшие в эпоху Жюля Верна (роман написан в 1869 г.), объясняются несовершенством способов измерения глубины. В те времена для линь-лота употреблялась не проволока, а пеньковая веревка; такой лот задерживался трением о воду тем сильнее, чем глубже он погружался; на значительной глубине трение возрастало до того, что лот вовсе переставал опускаться, сколько ни травили линь: пеньковая веревка лишь спутывалась, создавая впечатление огромной глубины.

Подводные корабли нашего времени способны выдерживать давление не более 14 атмосфер; это определяет наибольшую глубину их погружения: 140 метров[1]. Гораздо большей глубины удалось достигнуть в особом аппарате, недавно сооруженном в Америке для изучения фауны океанских пучин. Этот аппарат напоминает, однако, не «Наутилус» Жюля Верна, а фантастическое создание другого романиста, именно глубоководный шар Уэллса, описанный в рассказе «В морской глубине». Герой этого рассказа спустился до дна океана на глубину 9 км в толстостенном стальном шаре; аппарат погружался без троса, но со съемным грузом; достигнув дна океана, шар освободился здесь от увлекавшего его груза и, облегченный, стремительно взлетел на поверхность воды.

Действительность почти осуществила фантазию Уэллса. Американский ученый Вильям Бийб[2] построил непроницаемый для воздуха стальной шар и в этом аппарате, названном «батисферой» (рис. 218), трижды уже спускался на сравнительно огромную глубину: в 1932 г. на 660 метров[3] и в 1934 г. сначала на 760 м, затем — на 923 м.

Замечательный аппарат имеет в диаметре 1,5 метра и весит около 2,5 тонн. В стенках его устроено три круглых окна, диаметром 20 см, в которые вместо стекла вставлены толстые (7,5 см) пластины плавленого кварца. Два окна предназначены для наблюдения сквозь них подводной жизни, через третье

---

[1] Данные на 1936 г.; ныне абсолютный рекорд по глубине погружения среди подводных лодок принадлежит атомной подводной лодке К-278 «Комсомолец» — 1027 метров (1985 г.); соответственно, корпус этой лодки смог выдержать давление свыше 100 атмосфер (*примеч. ред.*).

[2] *Бийб (Биб, Биби) Вильям* (1877–1962) — орнитолог, морской биолог, энтомолог. Описываемый спуск он совершил со строителем батисферы, инженером Отисом Бартоном (1899–1992), который впоследствии (в 1949 г.) уже в одиночку установил нынешний мировой рекорд погружения на батисфере — 1372 метра (*примеч. ред.*).

[3] Спуск этот подробно описан в моей книге «Физика на каждом шагу».

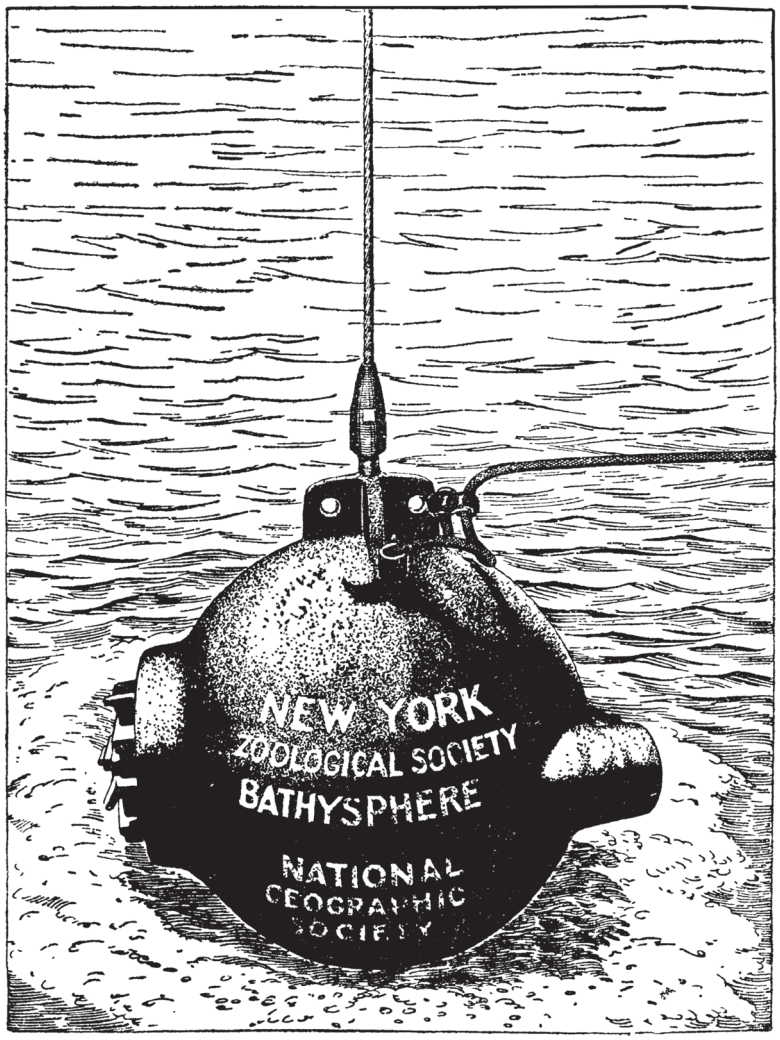



*Рис. 218. Стальной шарообразный аппарат «батисфера» для спуска в глубокие слои океана. Толщина стенок шара — около 4 см, диаметр —1,5 метра, вес — 2,5 тонны.*

проникают лучи яркого прожектора. Батисфера спускалась на тросе с судна, с которым сидящие в шаре поддерживали телефонную связь в течение своего трехчасового погружения.

В настоящее время (1936 г.) советские инженеры закончили разработку проекта глубоководного аппарата, рассчитанного на погружение до глубины 2 километров. Поперечник его 2 метра 20 см; в нем будут помещаться два человека и множество приборов: прожекторы для освещения водного пространства, фотографический и кинематографический аппараты с необходимым

электрическим оборудованием и т. п. Особые аппараты будут поддерживать нормальный состав воздуха внутри кабины в течение 12 часов без подачи газа извне или откачки. В продолжение всего времени пребывания под водою исследователи будут находиться в двусторонней телефонной связи с надводным миром. В случае аварии аппарат, управляемый изнутри, сможет подняться на поверхность воды.

Советская батисфера (ее называют «гидростатом») будет иметь, как видим, много преимуществ над американской и прежде всего — в глубине погружения[1]. ЭПРОН уже приступила к изготовлению модели аппарата.

### Как был поднят «Садко»?

В широком просторе океана гибнут ежегодно тысячи крупных и мелких судов, особенно в военное время. Наиболее ценные и доступные из затонувших кораблей в последние годы стали извлекаться со дна моря. Советские инженеры и водолазы, входящие в состав ЭПРОН (т. е. «Экспедиции подводных работ особого назначения»[2]), прославились на весь мир успешным подъемом более чем 150 крупных судов. Среди них одно из самых больших — ледокол «Садко», затонувший на Белом море в 1916 г. из-за халатности капитана. Пролежав на морском дне 17 лет, этот превосходный ледокол («брат» «Малыгина»[3]) был поднят работниками ЭПРОН и вступил опять в строй.

Техника подъема была всецело основана на целесообразном применении закона Архимеда. Под корпусом затонувшего судна в грунте морского дна водолазы прорыли 12 туннелей и протянули сквозь каждый из них прочное стальное полотенце. Концы полотенец были прикреплены к понтонам, намеренно потопленным подле ледокола. Вся эта работа выполнена была на глубине 25 метров под уровнем моря.

Понтонами (рис. 219) служили полые непроницаемые железные цилиндры 11 метров длиною и 5½ метров в диаметре. Порожний понтон весил 50 тонн.

---

[1] Максимальной глубины погружения можно достичь не на подводной лодке и не на батисфере, а на батискафе — подводном аппарате особой конструкции, обладающем собственным двигателем. 23 января 1960 г. швейцарский океанолог Жак Пикар (1922–2008) и американский лейтенант Дон Уолш (род. в 1931) в батискафе «Триест» опустились на дно Марианской впадины, установив нынешний мировой рекорд погружения — 10 918 м (голливудский кинорежиссер Джеймс Кэмерон, в одиночку повторивший этот путь в 2012 г. на батискафе *«Deepsea Challenger»*, достиг глубины «только» 10 898 м) (*примеч. ред.*).

[2] ЭПРОН существовала в 1923–1942 гг., затем была преобразована в Аварийно-спасательную службу ВМФ (*примеч. ред.*).

[3] *«Малыгин»* — однотипный «Садко» ледокольный пароход, внесший значительный вклад в освоение Арктики и Северного морского пути; погиб во время шторма у берегов Камчатки в 1940 г. (*примеч. ред.*).

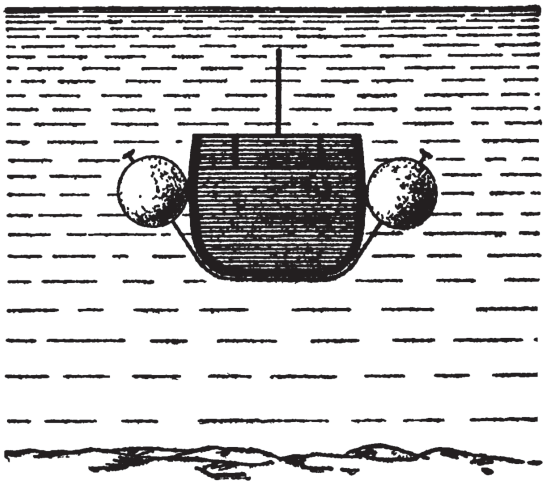


*Рис. 219. Схема подъема «Садко»; показан разрез ледокола, понтоны и стропы.*

По правилам геометрии легко вычислить его объем: около 250 кубометров. Ясно, что такой цилиндр порожняком должен плавать на воде: он вытесняет 250 тонн воды, сам же весит только 50; грузоподъемность его равна разности между 250 и 50, т. е. 200 тонн. Чтобы заставить понтон опуститься на дно, его заполняют водою.

Когда (см. рис. 219) концы 12 стальных строп были прочно прицеплены к потопленным понтонам, в цилиндры стали с помощью шлангов нагнетать сжатый воздух. На глубине 25 метров вода давит с силою $2\frac{5}{10} + 1$, т. е. 3½ атмосфер. Воздух же подавался в цилиндры под давлением около 4 атмосфер и, следовательно, должен был вытеснять воду из понтонов. Облегченные цилиндры с огромною силою выталкивались окружающей водою на поверхность моря. Как аэростат в воздухе, всплывали они в воде. Совместная подъемная их сила при полном вытеснении из них воды равнялась бы 200 × 12, т. е. 2400 тонн. Это превышает вес затонувшего «Садко», так что ради более плавного подъема понтоны были освобождены от воды только частично.

Тем не менее подъем осуществлен был лишь после нескольких неудачных попыток. «Четыре аварии терпела на нем спасательная партия, пока добилась успеха, — пишет руководивший работами главный корабельный инженер ЭПРОНа Т. И. Бобрицкий[1]. — Три раза, напряженно ожидая судна, мы видели, вместо поднимающегося ледокола, стихийно вырывающиеся наверх, в хаосе волн и пены, понтоны и разорванные, змеями извивающиеся шланги. Два раза показывался и снова исчезал в пучине моря ледокол, прежде чем всплыл и окончательно удержался на поверхности».

[1] В книге «Завоевание глубин». Изд. «Молодая гвардия».

### «Вечный» водяной двигатель

Среди множества проектов «вечного двигателя» было немало и таких, которые основаны на всплывании тел в воде. Мы рассмотрим такой образчик подобного «изобретения». Высокая башня, в 20 м высоты, наполнена водою. Наверху и внизу башни установлены шкивы, через которые перекинут прочный канат в виде бесконечного ремня. К канату прикреплено 14 полых кубических ящиков в метр высоты, склепанных из железных листов так, что внутрь ящиков вода проникнуть не может. Наши рисунки 220 и 221 изображают внешний вид такой башни и ее продольный разрез.

Как же действует эта установка? Каждый знакомый с законом Архимеда сообразит, что ящики, находясь в воде, будут стремиться всплыть вверх. Их увлекает вверх сила, равная весу воды, вытесняемой ящиками, т. е. весу одного кубического метра воды, повторенному столько раз, сколько ящиков погружено в воду. Из рисунков видно, что в воде оказывается всегда 6 ящиков. Значит, сила, увлекающая погруженные ящики вверх, равна весу 6 $м^3$ воды, т. е. 6 тоннам. Вниз же их тянет собственный вес ящиков, который, однако, уравновешивается грузом из 6 ящиков, свободно свисающих на наружной стороне каната.

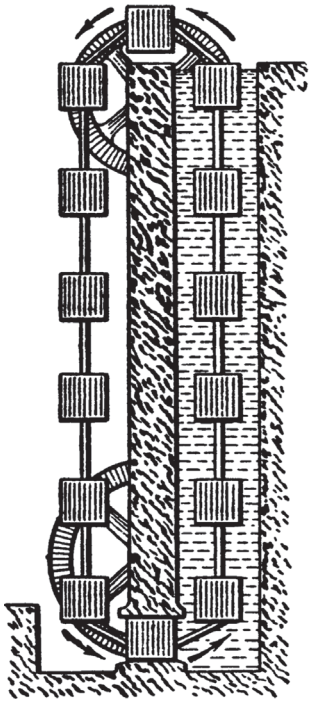


*Рис. 220. Устройство башни следующего рисунка.*

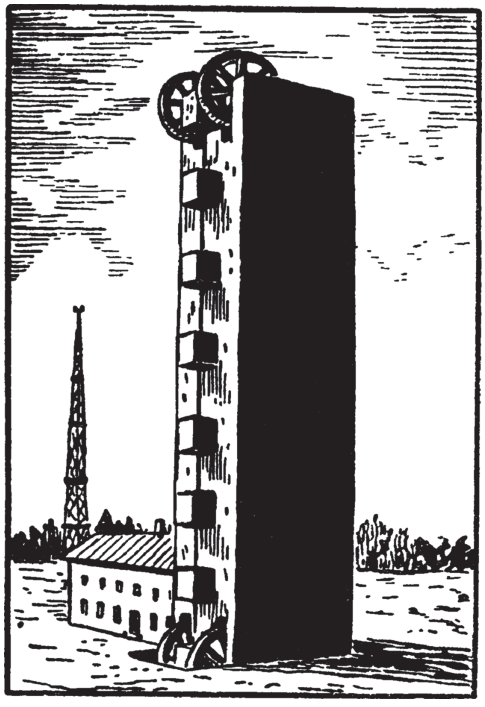


*Рис. 221. Проект мнимого «вечного» водяного двигателя.*

Итак, канат, перекинутый указанным образом, будет всегда подвержен тяге в 6 тонн, приложенной к одной его стороне и направленной вверх. Ясно, что сила эта заставит канат безостановочно вращаться, скользя по шкивам, и при каждом обороте совершать работу в 6000 × 20 = 120 000 килограммометров[1].

Теперь понятно, что если усеять страну такими башнями, то мы сможем получать от них безграничное количество работы, достаточное для покрытия всех нужд народного хозяйства. Башни будут вращать якоря динамомашин и давать электрическую энергию в любом количестве.

Однако если разобраться внимательно в этом проекте, то легко убедиться, что ожидаемого движения каната происходить вовсе не должно.

Чтобы бесконечный канат вращался, ящики должны входить в водяной бассейн башни снизу и покидать его сверху. Но ведь, вступая в бассейн, ящик должен *преодолеть давление столба воды* в 20 м высотой! Это давление на квадратный метр площади ящика равно, ни много ни мало — 20 тоннам (весу 20 м$^3$ воды). Тяга же вверх составляет всего только 6 т, т. е. явно недостаточна, чтобы втащить ящик в бассейн.

Это — лишь один из многочисленных образчиков мнимых водяных «вечных» двигателей, которых придумано было неудачниками-изобретателями целые сотни. Закон Архимеда давал соблазнительную пищу уму искателей «вечного» двигателя и побуждал придумывать хитроумные приспособления для использования кажущейся потери веса в целях получения вечного источника механической энергии.

### Кто придумал слова «газ» и «атмосфера»?

Слово «газ» принадлежит к числу слов, *придуманных* учеными наряду с такими словами, как «термометр», «электричество», «гальванометр», «телефон» и прежде всего «атмосфера». Из всех придуманных слов «газ» — безусловно самое короткое. Старинный голландский химик и врач Гельмонт, живший с 1577 по 1644 г. (современник Галилея), произвел «газ» от греческого слова «хаос». Открыв, что воздух состоит из двух частей, из которых одна поддерживает горение и сгорает, остальная же часть не обладает этими свойствами, Гельмонт писал:

«Такой пар я назвал *газ*, потому что он почти не отличается от *хаоса* древних» (первоначальный смысл слова «хаос» — сияющее пространство).

Однако новое словечко долго после этого не употреблялось и было возрождено лишь знаменитым Лавуазье в 1789 г. Оно получило широкое распространение, когда всюду заговорили о полетах бр. Монгольфье на первых воздушных шарах.

---

[1] Работа в 1 кгм = 9,8 джоулей (*примеч. ред.*).

Ломоносов в своих сочинениях употреблял другое наименование для газообразных тел — «упругие жидкости» (остававшееся в употреблении еще и тогда, когда я учился в школе). Заметим кстати, что Ломоносову принадлежит заслуга введения в русскую речь ряда названий, ставших теперь обыкновенными словами научного языка:

| | |
|---|---|
| атмосфера | манометр |
| барометр | микрометр |
| воздушный насос | оптика, оптический |
| вязкость | э(е)лектрический |
| кристаллизация | э(е)фир и др. |
| материя | |

Гениальный родоначальник русского естествознания писал по этому поводу:

«Принужден я был искать слов для наименования некоторых физических инструментов, действий и натуральных вещей, которые (т. е. слова) хотя сперва покажутся несколько странны, однако надеюсь, что они со временем через употребление знакомее будут».

Пророчество его сбылось настолько полно, что теперь мы удивляемся, когда узнаем об искусственном происхождении этих слов, — так сроднились они с нашей речью.

Напротив, предложенные впоследствии В. И. Далем (известным составителем «Толкового словаря») слова для замены «атмосферы» — неуклюжие «мироколица» или «колоземица» — совершенно не привились, как не привился его «небозём» вместо горизонта и др. новые слова.

## Как будто простая задача

Самовар, вмещающий 30 стаканов, полон воды. Вы подставляете стакан под его кран и с часами в руках следите по секундной стрелке, во сколько времени стакан наполняется до краев. Допустим, что в полминуты. Теперь зададим вопрос: во сколько времени опорожнится весь самовар, если оставить кран открытым?

Казалось бы, здесь детски простая арифметическая задача: один стакан вытекает в ½ минуты, — значит, 30 стаканов выльются 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 неверен. Нельзя думать, что *скорость* истечения с начала до конца остается одна и та же. Когда первый стакан вытек из самовара, струя течет уже под меньшим давлением, так как уровень воды в самоваре понизился; понятно, что второй стакан наполнится в больший срок, чем в полминуты; третий вытечет еще ленивее, и т. д.

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

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

где $v$ — скорость истечения, $g$ — ускорение силы тяжести, а $h$ — высота уровня жидкости над отверстием. Вникая в эту формулу, видим, что скорость вытекающей струи совершенно не зависит от *плотности* жидкости: легкий спирт и тяжеловесная ртуть при одинаковом уровне вытекают из отверстия одинаково быстро (рис. 222). Из формулы видно, что на Луне, где сила тяжести в 6 раз меньше, чем на Земле, потребовалось бы для наполнения стакана примерно в 2½ раза больше времени, нежели на Земле.

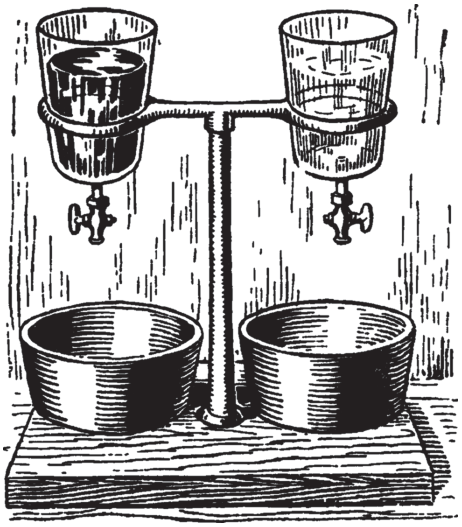


*Рис. 222. Что скорее выльется: ртуть или спирт? Уровень жидкости в сосудах одинаков.*

Но возвратимся к нашей задаче. Если после истечения из самовара 20 стаканов уровень воды в нем (считая от отверстия крана) понизился в *четыре* раза, то 21-й стакан наполнится *вдвое* медленнее, чем 1-й. И если в дальнейшем уровень воды понизится в 9 раз, то для наполнения последних стаканов понадобится уже *втрое* больше времени, чем для наполнения первого. Все знают, как вяло вытекает вода из крана самовара, который уже почти опорожнен. Решая эту задачу приемами высшей математики, можно доказать, что время, нужное на полное опорожнение сосуда, *в два раза больше* срока, в течение которого вылился бы такой же объем жидкости при неизменном первоначальном уровне.

## Задача о бассейне

От сказанного один шаг к пресловутым задачам о бассейне, без которых в прежнее время не обходился ни один арифметический и алгебраический задачник. Всем памятны классически-скучные, схоластические задачи вроде следующей:

«В бассейн проведены две трубы. Через одну первую пустой бассейн может наполниться в 5 часов; через одну вторую полный бассейн может опорожниться в 10 часов. Во сколько часов наполнится пустой бассейн, если открыть обе трубы сразу?»

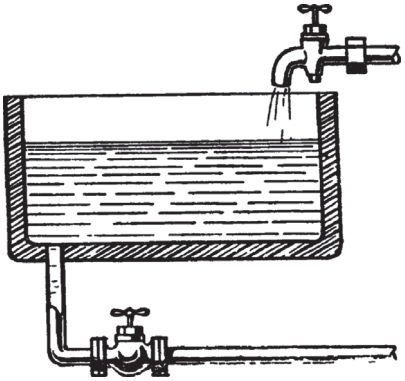


*Рис. 223. Задача о бассейне.*

Задачи этого рода имеют почтенную давность — без малого 20 веков, восходя к Герону Александрийскому. Вот одна из героновых задач, — не столь, правда, замысловатая, как ее потомки:

Четыре фонтана дано. Обширный дан водоем.
За сутки первый фонтан до краев его наполняет.
Два дня и две ночи второй над тем же должен работать.
Третий втрое, чем первый, слабей.
В четверо суток последний за ним поспевает.
Ответь мне, скоро ли будет он полон,
Если во время одно все их открыть?

Две тысячи лет решаются задачи о бассейнах и — такова сила рутины! — две тысячи лет решаются *неправильно*. Почему неправильно, вы поймете сами после того, что сейчас сказано было о вытекании воды. Как в старой школе учили решать задачи о бассейнах? Первую, например, задачу решали так. В 1 час первая труба наливает ⅕ бассейна, вторая выливает ⅒ бассейна; значит, при действии обеих труб в бассейн ежечасно поступает ⅕ – ⅒ = ⅒, откуда для времени наполнения бассейна получается 10 часов. Это рассуждение неверно: если втекание воды можно считать происходящим под постоянным давлением и, следовательно, равномерным, то ее *вытекание* происходит при изменяющемся уровне и, значит, *неравномерно*. Из того, что второй трубой бассейн опоражнивается в 10 часов, вовсе не следует, что ежечасно вытекает ⅒ доля бассейна; школьный прием решения, как видим, ошибочен. Решить задачу правильно средствами элементарной математики нельзя, а потому задачам о бассейне (с *вытекающей* водой) вовсе не место в арифметических задачниках[1].

[1] Подробный разбор таких задач читатель может найти в моей книге «Знаете ли вы физику?».

### Удивительный сосуд

Возможно ли устроить такой сосуд, из которого вода вытекала бы все время равномерной струей, не замедляя своего течения, несмотря на то, что уровень жидкости в нем понижается? После того, что вы узнали из предыдущих статей, вы, вероятно, готовы счесть подобную задачу неразрешимой.

Между тем это вполне осуществимо. Банка, изображенная на рис. 224, есть именно такой удивительный сосуд. Это обыкновенная банка с узким горлом, через пробку которой вдвинута стеклянная трубка. Если вы откроете кран *C* ниже конца трубки, то жидкость будет литься из него неослабевающей струей до тех пор, пока уровень воды не опустится в сосуде до нижнего конца трубки. Вдвинув трубку почти вплотную ко дну, вы можете заставить всю жидкость из сосуда вытечь равномерной, хотя и очень слабой струей.

Отчего это происходит? Проследите мысленно за тем, что совершается в сосуде при открытии крана *C* (рис. 224). Прежде всего выливается вода из стеклянной трубки; уровень жидкости внутри нее опускается до конца трубки. При дальнейшем вытекании опускается уже уровень воды в сосуде и через стеклянную трубку входит наружный воздух; он просачивается пузырьками через воду и собирается над ней в верхней части сосуда. Теперь на всем уровне *B* давление равно атмосферному. Значит, вода из крана *C* вытекает лишь под давлением слоя воды *BC*, потому что давление атмосферы изнутри и снаружи сосуда уравновешивается. А так как толщина слоя *BC* остается постоянной, то и неудивительно, что струя все время течет с одинаковой скоростью.

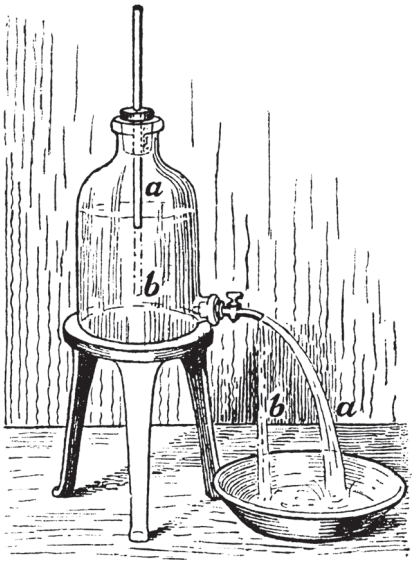



*Рис. 224. Устройство сосуда Мариотта. Из отверстия C вода течет равномерно.*

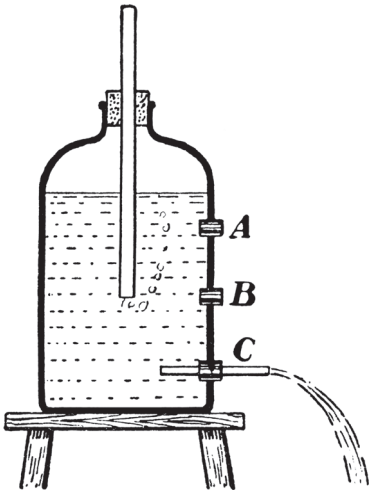



*Рис. 225. При выдвинутой трубке (a) вода течет сильной струей (a); при низко вдвинутой (b) вода течет слабой струей (b).*

Попробуйте же теперь ответить на вопрос: как быстро будет вытекать вода, если вынуть пробочку *B* на уровне конца трубки?

Оказывается, что она *вовсе не будет вытекать* (разумеется, если отверстие настолько мало, что шириной его можно пренебречь; иначе вода будет вытекать под давлением тонкого слоя воды, толщиною в ширину отверстия). В самом деле: здесь изнутри и снаружи давление равно атмосферному, и ничто не побуждает воду вытекать.

А если бы вы вынули пробку *A выше* нижнего конца трубки, то не только вода не вытекала бы из сосуда, но в него еще входил бы наружный воздух. Почему? По весьма простой причине: внутри этой части сосуда давление воздуха *меньше*, чем атмосферное давление снаружи.

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

### Поклажа из воздуха

В середине XVII столетия жители города Регенсбурга и съехавшиеся туда владетельные князья Германии во главе с императором были свидетелями поразительного зрелища: 16 лошадей изо всех сил старались разнять два приложенных друг к другу медных полушария. Что связывало их? «Ничто», — воздух. И тем не менее восемь лошадей, тянувших в одну сторону, и восемь, тянувших в другую, оказались не в силах их разъединить. Так бургомистр Отто фон Герике воочию показал всем, что воздух — вовсе не «ничто», что он имеет вес и давит со значительной силой на все земные предметы.

Опыт этот был произведен 8 мая 1654 г. при весьма торжественной обстановке. Ученый бургомистр сумел всех заинтересовать своими научными изысканиями, несмотря на то что дело происходило в разгар политических неурядиц и опустошительных войн.

Описание знаменитого опыта с «магдебургскими полушариями» имеется в учебниках физики. Все же, я уверен, читатель с интересом выслушает этот рассказ из уст самого Герике, этого «германского Галилея», как иногда называют замечательного физика. Объемистая книга с описанием длинного ряда его опытов вышла на латинском языке в Амстердаме в 1672 г. и, подобно всем книгам этой эпохи, носила пространное заглавие. Вот оно:

ОТТО фон ГЕРИКЕ
так называемые новые магдебургские опыты над
БЕЗВОЗДУШНЫМ ПРОСТРАНСТВОМ,
первоначально описанные профессором математики
в Вюрцбургском университете Каспаром Шоттом.
Издание самого автора,
более обстоятельное и пополненное различными новыми опытами.

Интересующему нас опыту посвящена глава XXIII этой книги. Приводим дословный ее перевод:

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

Я заказал два медных полушария, диаметром в три четверти магдебургских локтя[1]. Но в действительности диаметр их заключал всего 6/100, так как мастера, по обыкновению, не могли изготовить в точности то, что требовалось. Оба полушария вполне отвечали одно другому. К одному полушарию был приделан кран; с помощью этого крана можно удалить воздух изнутри и препятствовать проникновению воздуха снаружи. Кроме того, к полушариям прикреплены были 4 кольца, через которые продевались канаты, привязанные к упряжи лошадей. Я велел также сшить кожаное кольцо; оно напитано было смесью воска в скипидаре; зажатое между полушариями, оно не пропускало в них воздуха. В кран вставлена была трубка воздушного насоса, и был удален воздух внутри шара. Тогда обнаружилось, с какою силою оба полушария придавливались друг к другу через кожаное кольцо. Давление наружного воздуха прижимало их так крепко, что 16 лошадей (рывком) совсем не могли их разнять или достигали этого лишь с трудом. Когда же полушария, уступая напряжению всей силы лошадей, разъединялись, то раздавался грохот, как от выстрела.

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

Несложное вычисление может объяснить нам, почему нужна такая значительная сила (8 лошадей с каждой стороны), чтобы разъединить части пустого шара. Воздух давит с силою около 1 кг на каждый кв. см; площадь круга[2] диаметром в 0,67 локтя (37 см) равна 1060 см$^2$. Значит, давление атмосферы на каждое полушарие должно превышать 1000 кг (1 т). Каждая восьмерка лошадей должна была, следовательно, тянуть с силой тонны, чтобы противодействовать давлению наружного воздуха.

Казалось бы, для 8 лошадей (с каждой стороны) это не очень большой груз. Не забывайте, однако, что, двигая, например, кладь в 1 тонну, лошади преодолевают силу не в 1 т, но гораздо меньшую, именно — трение колес об оси и о мостовую. А эта сила составляет — на шоссе, например, — всего процентов пять, т. е. при однотонном грузе — 50 кг. (Не говорим уже о том, что при соединении усилий 8 лошадей теряется, как показывает практика, 50% тяги.) Следовательно, тяга в 1 т соответствует при 8 лошадях нагрузке телеги в 20 т. Вот какова та воздушная поклажа, везти которую должны были лошади магдебургского бургомистра! Они словно должны

[1] «Магдебургский локоть» равен 550 мм.

[2] Берется площадь круга, а не поверхность полушария, потому что атмосферное давление равно указанной величине лишь при действии на поверхность под прямым углом; для наклонных поверхностей это давление меньше. В данном случае мы берем прямоугольную проекцию шаровой поверхности на плоскость, т. е. площадь большого круга.

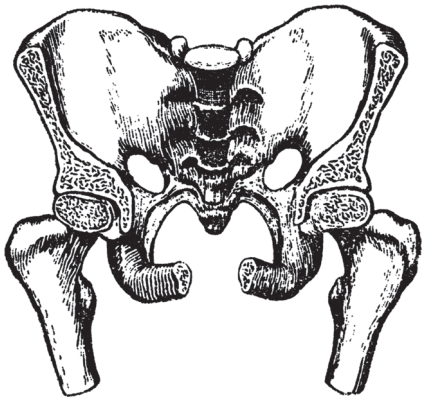


*Рис. 226. Кости наших тазобедренных сочленений не распадаются благодаря атмосферному давлению, подобно тому как сдерживаются магдебургские полушария.*

были сдвинуть с места небольшой паровоз, не поставленный к тому же на рельсы.

Измерено, что сильная ломовая лошадь тянет воз с усилием всего в 80 кг[1]. Следовательно, для разрыва магдебургских полушарий понадобилось бы при равномерной тяге 1000 : 80 = по 13 лошадей с каждой стороны[2].

Читатель будет, вероятно, изумлен, узнав, что некоторые сочленения нашего скелета не распадаются по той же причине, что и магдебургские полушария. Наше тазобедренное сочленение представляет собой именно такие магдебургские полушария. Можно обнажить это сочленение от мускульных и хрящевых связей, — и все-таки бедро не выпадает: его прижимает атмосферное давление, так как в межсуставном пространстве воздуха нет.

### Новые героновы фонтаны

Обычная форма фонтана, приписываемого древнему механику Герону, вероятно, известна моим читателям. Напомню здесь его устройство, прежде чем перейду к описанию новейших видоизменений этого любопытного прибора. Геронов фонтан (рис. 227) состоит из 3 сосудов: верхнего — открытого (*a*) и двух шарообразных *b* и *c*, герметически замкнутых. Сосуды соединены тремя трубками, расположение которых показано на рисунке.

---

[1] При скорости 4 км в час. В среднем принимается, что сила тяги лошади составляет 15% ее веса; весит же лошадь: легкая — 400 кг, тяжелая — 750 кг. На очень короткое время (начальное усилие) сила тяги может быть в несколько раз больше.

[2] Разъяснение того, почему требуется по 13 лошадей с *каждой* стороны, читатель найдет в моей «Занимательной механике», с. 484.

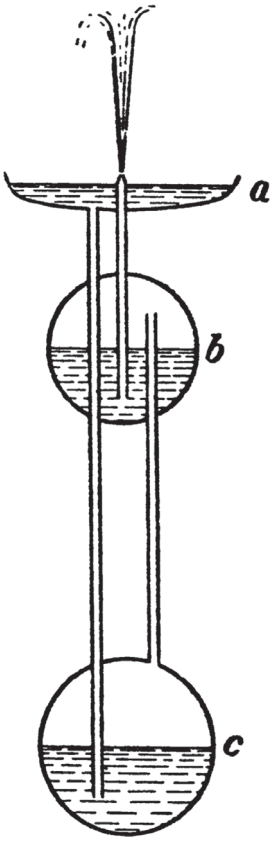



*Рис. 227. Старинный геронов фонтан.*

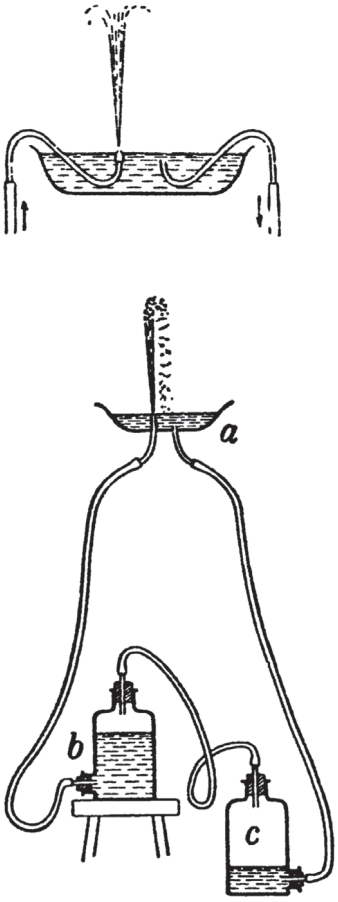



*Рис. 228. Современное видоизменение геронова фонтана. Вверху — вариант устройства тарелки.*

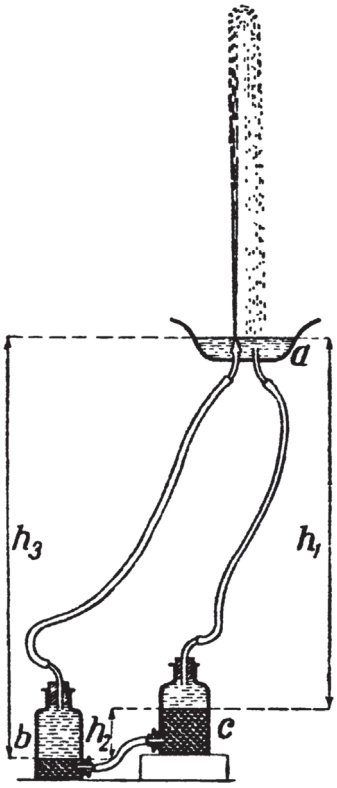



*Рис. 229. Фонтан, действующий давлением ртути. Струя бьет раз в десять выше разности уровней ртути.*

Когда в *a* есть немного воды, шар *b* наполнен водой, а шар *c* — воздухом, фонтан начинает действовать: вода переливается по трубке из *a* в *c*, вытесняя оттуда воздух в шар *b*; под давлением поступающего воздуха вода из *b* устремляется по трубке вверх и бьет фонтаном над сосудом *a*. Когда же шар *b* опорожнится, т. е. вся вода из него перейдет в шар *c*, фонтан перестает бить.

Такова старинная форма геронова фонтана. Уже в наше время один школьный учитель в Италии, побуждаемый к изобретательности скудной обстановкой своего физического кабинета, упростил устройство Геронова фонтана и придумал такие видоизменения его, которые каждый может устроить при помощи простейших средств (рис. 228). Вместо шаров он употребляет

аптечные склянки; вместо стеклянных или металлических трубок берет резиновые. Верхний сосуд не надо продырявливать: можно просто ввести в него концы трубок, как показано на рис. 228 вверху.

В таком видоизменении прибор гораздо удобнее к употреблению: когда вся вода из банки *b* перельется в банку *c*, можно просто переставить банки — опустив *b*, поднять *c*, и фонтан вновь действует; не надо забывать, разумеется, пересадить также наконечник на другую трубку.

Другое удобство видоизмененного фонтана состоит в том, что он дает возможность произвольно изменять расположение сосудов и изучать, как влияет расстояние уровней сосудов на высоту струи.

Если желаете во много раз увеличить высоту струи, вы можете достигнуть этого, заменив в нижних склянках описанного прибора воду ртутью, а воздух водой (рис. 229). Действие прибора понятно: ртуть, переливаясь из банки *c* в банку *b*, вытесняет из нее воду, заставляя ее бить фонтаном. Зная, что ртуть в 13½ раз тяжелее воды, мы можем вычислить, на какую высоту должна подниматься при этом струя фонтана. Обозначим разницу уровней соответственно через $h_1$, $h_2$, $h_3$. Теперь разберемся, под действием каких сил ртуть из сосуда *c* (рис. 229) перетекает в *b*. Ртуть в соединительной трубке подвержена давлению с двух сторон. Справа на нее действует давление разности $h_2$ ртутных столбов (которое равносильно давлению в 13½ раз более высокого водяного столба, 13½ $h_2$) плюс давление водяного столба $h_1$. Слева напирает водяной столб $h_3$. В итоге ртуть увлекается силою

$$13½\, h_2 + h_1 - h_3.$$

Но $h_3 - h_1 = h_2$; заменяем поэтому $h_1 - h_3$ через $h_2$ и получаем

$$13½\, h_2 - h_2,$$

т. е. 12½ $h_2$. Итак, ртуть поступает в сосуд *b* под давлением веса водяного столба высотою 12½ $h_2$. Теоретически фонтан должен бить поэтому на высоту, равную разности ртутных уровней в склянках, умноженной на 12½. Трение несколько понижает эту теоретическую высоту.

Тем не менее описанный прибор дает удобную возможность получить бьющую высоко вверх струю. Чтобы заставить, например, фонтан бить на высоту 10 метров, достаточно поднять одну банку над другой примерно на один метр. Любопытно, что, как видно из нашего расчета, возвышение тарелки *a* над склянками с ртутью нисколько не влияет на высоту струи.

Изготовление такого фонтана не представляет больших трудностей, кроме получения ртути, материала сейчас дефицитного[1].

[1] Ртуть (точнее, ее пары́) обладает высокой токсичностью, поэтому самостоятельно изготавливать какие бы то ни было конструкции с ней категорически запрещается (*примеч. ред.*).

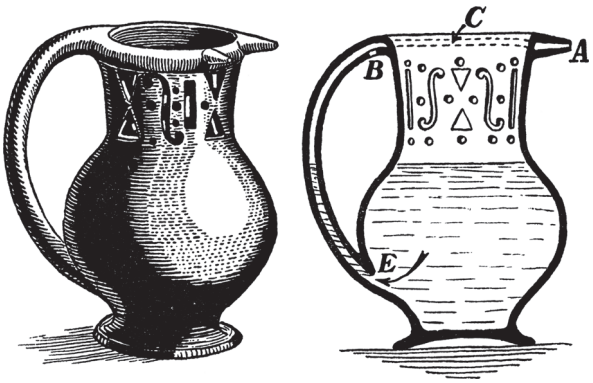



*Рис. 230. Обманчивый кувшин конца XVIII века и секрет его устройства.*

### Обманчивые сосуды

В старину — в XVII и XVIII веках — вельможи забавлялись следующей поучительной игрушкой: изготавливали кружку или кувшин, в верхней части которой имелись крупные узорчатые вырезы (рис. 230). Такую кружку, налитую вином, предлагали незнатному гостю, над которым можно было безнаказанно посмеяться. Как пить из нее? Наклонить — нельзя: вино польется из множества сквозных отверстий, а до рта не достигнет ни капли. Случится, как в сказке:

Мед, пиво пил,
Да усы лишь обмочил.

Но кто знал секрет устройства подобных кружек, — секрет, который показан на рис. 230 справа, — тот затыкал пальцем отверстие *B*, брал в рот носик *A* и втягивал в себя жидкость, не наклоняя сосуда: вино поднималось через отверстие *E* по каналу внутри ручки, далее по его продолжению *C* внутри верхнего края кружки и достигало носика *A*.

Не так давно еще подобные кружки изготавливались нашими гончарами. Мне случилось в одном доме видеть образчик их работы, довольно искусно скрывающий секрет устройства сосуда; на кружке была надпись «пей, но не облейся».

### Сколько весит вода в опрокинутом стакане?

— Ничего, конечно, не весит: в таком стакане вода не держится, выливается, — скажете вы.

— А если не выливается? — спрошу я. — Что тогда?

В самом деле, возможно ведь удержать воду в опрокинутом стакане так, чтобы она не выливалась. Этот случай изображен на рис. 231. Опрокинутый

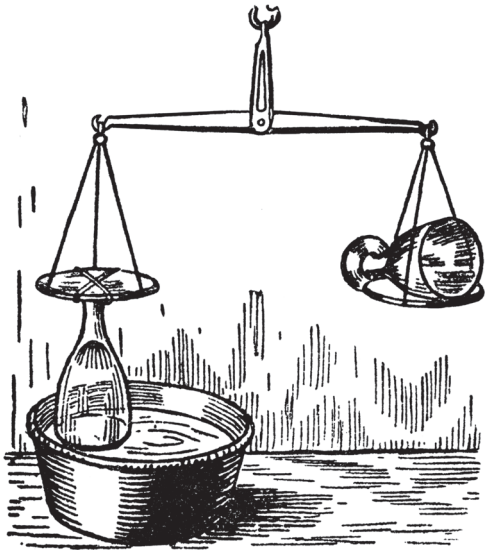


*Рис. 231. Какая чашка перетянет?*

стеклянный бокал, подвязанный за донышко к одной чашке весов, наполнен водой, которая не выливается, так как края бокала погружены в сосуд с водой. На другую чашку весов положен точно такой же пустой бокал.

Какая чашка весов перетянет?

Перетянет та, к которой привязан опрокинутый бокал с водой. Этот бокал испытывает сверху полное атмосферное давление, снизу же — атмосферное давление, ослабленное весом содержащейся в бокале воды. Для равновесия чашек необходимо было бы наполнить водою бокал, помещенный на другую чашку.

При указанных условиях, следовательно, вода в опрокинутом стакане весит столько же, сколько и в поставленном на дно.

## Отчего притягиваются корабли?

Осенью 1912 г. с океанским пароходом «Олимпик» — тогда одним из величайших в мире судов — произошел следующий случай. «Олимпик» плыл в открытом море, а почти параллельно ему, на расстоянии сотни метров, проходил с большой скоростью другой, гораздо меньший, броненосный крейсер «Гаук». Когда оба судна заняли положение, изображенное на рис. 232, произошло нечто неожиданное: меньшее судно стремительно свернуло с пути, словно повинуясь какой-то невидимой силе, повернулось носом к большому пароходу и, не слушаясь руля, двинулось почти прямо на него. Произошло столкновение. «Гаук» врезался носом в бок «Олимпика»; удар был так силен, что «Гаук» проделал в борту «Олимпика» большую пробоину.

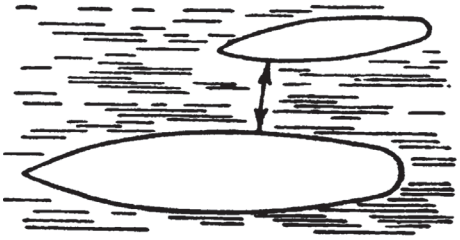


*Рис. 232. Положение пароходов «Олимпик» и «Гаук» перед столкновением.*

Когда этот странный случай рассматривался в морском суде, виновной стороной был признан капитан гиганта «Олимпик», так как, — гласило постановление суда, — он не отдал никаких распоряжений уступить дорогу идущему наперерез «Гауку».

Суд не усмотрел здесь, следовательно, ничего необычайного: простая нераспорядительность капитана, не больше. А между тем имело место совершенно непредвиденное обстоятельство — случай *взаимного притяжения судов на море*.

Такие случаи не раз происходили, вероятно, и раньше при параллельном движении двух кораблей. Но пока не строили очень крупных судов, явление это не проявлялось с такой силой. Лишь в самые последние годы, когда воды океанов стали бороздить «плавучие города», явление притяжения судов сделалось гораздо заметнее; с ним считаются командиры военных судов при маневрировании.

Многочисленные аварии мелких судов, проплывавших в соседстве с большими пассажирскими и военными судами, происходили, вероятно, по той же причине.

Чем же объясняется это притяжение? Конечно, здесь не может быть и речи о всемирном тяготении по закону Ньютона; мы уже убедились (гл. IV), что это притяжение слишком ничтожно. Причина явления совершенно иного рода и объясняется законами течения жидкостей в трубках и каналах. Можно доказать, что если жидкость протекает по каналу, имеющему сужения и расширения,

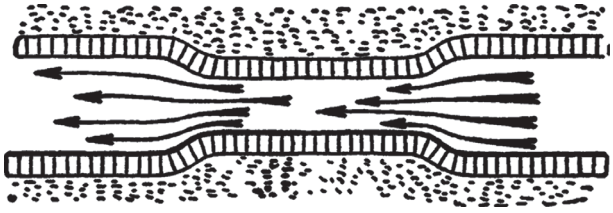


*Рис. 233. В узких частях канала вода течет быстрее и давит на стенки слабее, чем в широких.*

то в узких частях канала она *течет быстрее и давит на стенки канала слабее*, нежели в широких местах, где она протекает спокойнее и давит на стенки сильнее (так называемый принцип Бернулли).

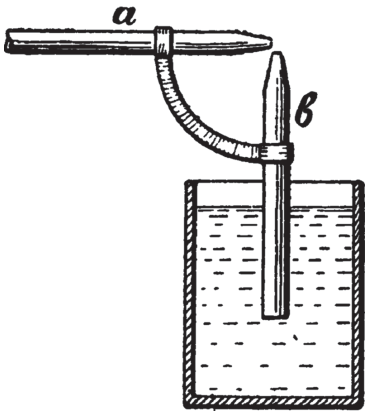



*Рис. 234. Пульверизатор.*

То же справедливо и для газов. Это явление в учении о *газах* носит название эффекта Клеман — Дезорма (по имени открывших его физиков) и нередко именуется «аэростатическим парадоксом». Впервые явление это, как говорят, обнаружено было случайно при следующих обстоятельствах. В одном из французских рудников рабочему приказано было закрыть щитом отверстие наружной штольни, через которую подавался в шахту сжатый воздух. Рабочий долго боролся со струей врывавшегося в шахту воздуха, но внезапно щит сам собой захлопнул штольню с такой силой, что, будь щит недостаточно велик, его втянуло бы в вентиляционный люк вместе с перепуганным рабочим.

Между прочим, этой особенностью течения газов объясняется действие пульверизатора. Когда мы дуем (рис. 234) в колено *a*, заканчивающееся сужением, то воздух, переходя в сужение, уменьшает свою упругость. Таким образом над трубкой *b* оказывается воздух с уменьшенной упругостью, и потому давление атмосферы гонит жидкость из стакана вверх по трубке; у отверстия жидкость попадает в струю выдуваемого воздуха и в нем распыляется.

Теперь мы поймем, в чем кроется причина притяжения судов. Когда два парохода плывут параллельно один другому, между их бортами получается как бы водяной канал. В обыкновенном канале стенки неподвижны, а движется вода; здесь же наоборот: неподвижна вода, а движутся стенки. Но действие сил от этого нисколько не меняется: в узких местах подвижного канала вода слабее давит на стенки, нежели в пространстве вокруг пароходов. Другими словами: бока пароходов, обращенные друг к другу, испытывают со стороны воды меньшее давление, нежели наружные части судов. Что же должно произойти

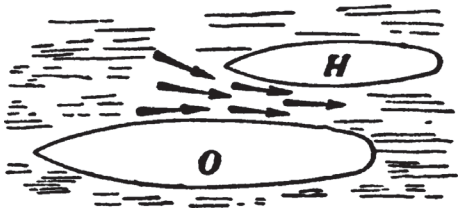



*Рис. 235. Течение воды между двумя плывущими судами.*

вследствие этого? Суда должны под напором наружной воды двинуться друг к другу, и естественно, что меньшее судно перемещается заметнее, между тем как более массивное остается почти неподвижным. Вот почему притяжение проявляется с особенной силой, когда большой корабль быстро проносится мимо маленького.

Итак, притяжение кораблей обусловлено всасывающим действием текущей воды. Этим же объясняется и опасность быстрин для купающихся, всасывающее действие водоворотов и т. п. Можно вычислить, что течение воды в реке при умеренной скорости 1 м в секунду втягивает человеческое тело с силой 30 кг! Против такой силы нелегко устоять, особенно в воде, когда собственный вес нашего тела не помогает нам сохранять устойчивость. Наконец, общеизвестное втягивающее действие быстро несущегося поезда объясняется тем же принципом Бернулли: поезд при скорости 50 км в час увлекает близстоящего человека с силою около 8 кг.

Явления, связанные с принципом Бернулли, хотя и весьма нередки, мало известны в кругу неспециалистов. Полезно будет поэтому остановиться на нем подробнее. Далее мы приводим отрывок из статьи на эту тему, написанной для одного популярно-научного журнала американским физиком, профессором В. Франклином.

### Принцип Бернулли и его следствия

Принцип, впервые высказанный Даниилом Бернулли в 1726 г., гласит: в струе воды или воздуха давление велико, если скорость мала, и давление мало, если скорость велика. Существуют известные ограничения этого принципа, но здесь мы не имеем нужды на них останавливаться.

Рис. 236 иллюстрирует этот принцип.

Воздух продувается через трубку *AB*. Если сечение трубки мало, — как в *a*, — скорость воздуха велика; там же, где сечение велико, — как в *b*, — скорость воздуха мала. Там, где скорость велика, давление мало, а где скорость мала, —

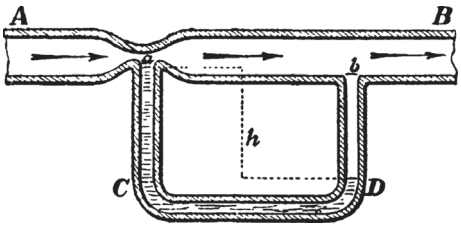



*Рис. 236. Иллюстрация принципа Бернулли. В суженной части (a) трубки AB давление меньше, нежели в широкой (b).*

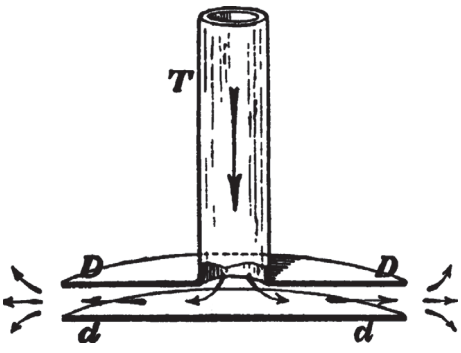



*Рис. 237. Опыт с дисками (см. текст).*

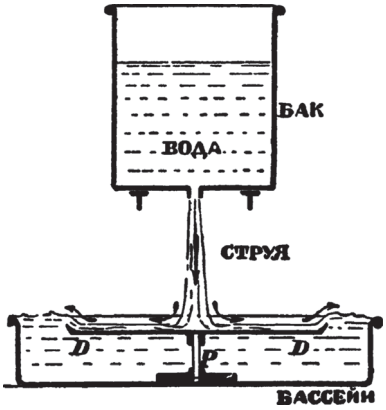



*Рис. 238. Диск DD приподнимается на стержне P, когда на него изливается струя воды из бака TT.*

давление велико. Вследствие малой величины давления воздуха в *a* жидкость в трубке *C* поднимается; в то же время сильное давление воздуха в *b* заставляет опускаться жидкость в трубке *D*.

На рис. 237 трубка *T* укреплена на медном диске *DD*; воздух продувается через трубку *T* и мимо свободного диска *dd*[1]. Воздух между двумя дисками имеет большую скорость, но эта скорость быстро убывает по мере приближения к краям дисков, так как сечение воздушного потока быстро возрастает и преодолевается инерция воздуха, вытекающего из пространства между дисками. Но давление окружающего диск воздуха велико, так как скорость мала, а давление воздуха между дисками мало, так как скорость велика. Поэтому воздух, окружающий диск, оказывает большее воздействие на диски, стремясь их сблизить, нежели воздушный поток между дисками, стремящийся их раздвинуть; в результате диск *dd* присасывается к диску *DD* тем сильнее, чем сильнее ток воздуха в *T*.

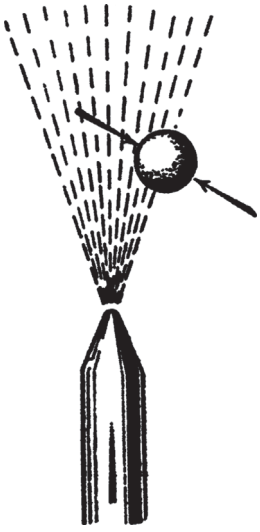


*Рис. 239. Шарик, поддерживаемый струей воздуха.*

Рис. 238 представляет водяную аналогию рис. 237. Быстро движущаяся вода на диске *DD* находится на низком уровне и сама поднимается до более высокого уровня спокойной воды в бассейне, когда огибает края диска.

[1] Тот же опыт можно проделать проще, воспользовавшись катушкой и бумажным кружком. Чтобы кружок не соскальзывал в сторону, его пробивают булавкой, проходящей в канал катушки.

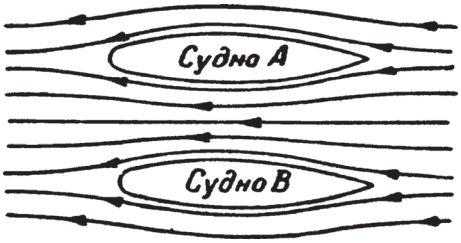



*Рис. 240. Два судна, движущиеся параллельно, как бы притягивают друг друга.*

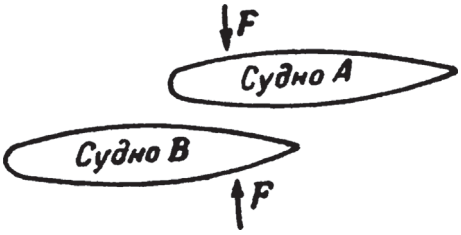



*Рис. 241. При движении судов вперед судно В поворачивается носом к судну А.*

Поэтому спокойная вода под диском имеет более высокое давление, чем движущаяся вода над диском, вследствие чего диск поднимается. Стержень *P* не допускает боковых смещений диска.

Рис. 239 изображает легкий шарик, плавающий в струе воздуха. Воздушная струя ударяется о шарик и не дает ему падать. Когда шарик выскакивает из струи, окружающий воздух возвращает его обратно в струю, так как давление окружающего воздуха, имеющего малую скорость, велико, а давление воздуха в струе, имеющего большую скорость, мало.

Рис. 240 представляет два судна, движущиеся рядом в спокойной воде, или, что сводится к тому же, два судна, стоящие рядом и обтекаемые водою. Поток более стеснен в пространстве между судами, и скорость воды в этом пространстве больше, чем по обе стороны судов. Поэтому давление воды между судами ниже, чем по обе стороны судов; более высокое давление воды, окружающей суда, сближает их. Моряки очень хорошо знают, что два корабля, идущие рядом, сильно притягиваются друг к другу.

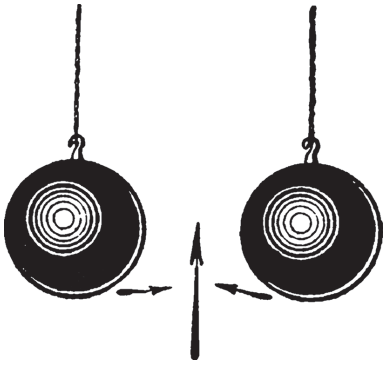


*Рис. 242. Если между двумя легкими шарами продувать воздух, они сближаются до соприкосновения.*

Более серьезный случай может иметь место, когда один корабль идет за другим, как представлено на рис. 241. Две силы *F* и *F*, которые сближают корабли, стремятся повернуть их, причем судно *B* поворачивается к *A* со значительной силой. Столкновение в таком случае почти неизбежно, так как руль не успевает изменить направление движения корабля.

Явление, описанное в связи с рис. 240, можно демонстрировать, продувая воздух между двумя легкими резиновыми мячиками, подвешенными, как указано на рис. 242. Если между ними продувать воздух, они сближаются и ударяются друг о друга.

## Назначение рыбьего пузыря

О том, какую роль выполняет плавательный пузырь рыб, обыкновенно говорят и пишут — казалось бы, вполне правдоподобно — следующее. Когда рыба хочет всплыть из глубины в более поверхностные слои воды, она раздувает свой плавательный пузырь: тогда объем ее тела увеличивается, вес вытесняемой воды становится больше ее собственного веса — и, по физическому закону плавания, рыба поднимается вверх. Когда же она хочет прекратить подъем или опуститься вниз, она, напротив, сжимает свой плавательный пузырь. Объем тела, а с ним и вес вытесняемой воды уменьшаются, и рыба опускается на дно, в строгом согласии с законом Архимеда.

Такое упрощенное представление о назначении плавательного пузыря рыб восходит ко временам ученых Флорентийской академии (XVII в.) и было высказано главным ее работником, профессором Борелли[1], в 1685 г. В течение более чем 200 лет оно принималось без возражений, успело укорениться в школьных учебниках, — и только трудами новых исследователей (Моро, Шарбонель) была обнаружена полная несостоятельность этой теории.

Пузырь имеет несомненно весьма тесную связь с плаванием рыбы, так как рыбы, у которых пузырь был при опытах искусственно удален, могли держаться в воде, только усиленно работая плавниками, а при прекращении этой работы — падали на дно. Какова же истинная его роль? Весьма ограниченная: он лишь помогает рыбе оставаться на определенной глубине, — именно на той, где вес вытесняемой рыбой воды равен весу самой рыбы. Когда же рыба работой плавников опускается *ниже* этого уровня, тело ее, испытывая большое наружное давление со стороны воды, сжимается, сдавливая пузырь; вес вытесняемого объема воды уменьшается, становится меньше веса рыбы, — и рыба неудержимо падает вниз. Чем ниже она опускается, тем сильнее становится давление воды (на 1 атмосферу при опускании на каждые 10 м), тем больше сдавливается тело рыбы и тем стремительнее продолжает оно опускаться.

То же самое, только в обратном направлении, происходит тогда, когда рыба, покинув слой, где она находилась в равновесии, перемещается работой плавников в более высокие слои. Тело ее, освободившись от части наружного давления и по-прежнему распираемое изнутри плавательным пузырем (в котором давление газа находилось до этого момента в равновесии с давлением окружающей воды), увеличивается в объеме и вследствие этого всплывает выше. Чем выше рыба поднимается, тем более раздувается ее тело, и тем, следовательно, стремительнее ее дальнейший подъем. Помешать этому,

---

[1] *Борелли Джованни Альфонсо* (1608–1679) — итальянский аббат, автор трудов по физике, астрономии, математике, геологии, медицине, основоположник биомеханики; его двухтомный труд «О движении животных», в котором он рассматривает живые организмы с точки зрения механики, был издан только в 1680–81 гг. (Я. П. указывает неточную дату) (*примеч. ред.*).

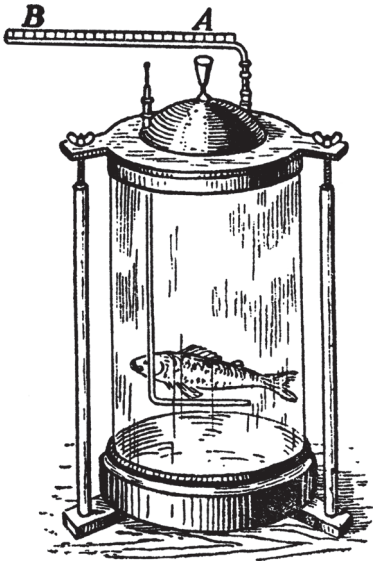



*Рис. 243. Опыт с уклейкой.*

«сжимая пузырь», рыба не в состоянии, так как стенки ее плавательного пузыря лишены мышечных волокон, которые могли бы активно изменять его объем.

Что такое *пассивное* расширение объема тела действительно совершается у рыб, подтверждается следующим опытом (рис. 243). Уклейка в захлороформированном состоянии помещается в закрытый сосуд с водой, в котором поддерживается усиленное давление, близкое к тому, какое господствует на определенной глубине в естественном водоеме. На поверхности воды рыбка лежит бездеятельно, вверх брюшком. Погруженная немного глубже, она вновь всплывает на поверхность. Помещенная ближе ко дну, она опускается на дно. Но в промежутке между обоими уровнями существует слой воды, в котором рыбка остается в равновесии — не тонет и не всплывает. Все это становится понятным, если вспомним сказанное сейчас о пассивном расширении и сжатии плавательного пузыря.

Итак, вопреки распространенному мнению, рыба вовсе не может произвольно раздувать и сжимать свой плавательный пузырь. Изменения его объема происходят пассивно, под действием усиленного или ослабленного наружного давления (согласно закону Бойля — Мариотта). Эти изменения объема для рыбы не только не полезны, а, напротив, приносят ей вред, так как обусловливают либо неудержимое, все ускоряющееся падение на дно, либо столь же неудержимый и ускоряющийся подъем на поверхность. Другими словами, пузырь помогает рыбе в неподвижном положении сохранять равновесие, но равновесие это *неустойчивое*.

Наблюдения рыболовов подтверждают сказанное. При ловле рыб из большой глубины случается, что иная рыба на половине пути высвобождается; но, вопреки ожиданию, она не опускается вновь в глубину, из которой была извлечена, а, напротив, стремительно поднимается на поверхность. У таких-то рыб и замечают иногда, что пузырь выпячивается через рот.

Такова истинная роль плавательного пузыря рыб, — поскольку речь идет о его отношении к плаванию; выполняет ли он также и другие функции в организме рыбы и какие именно, — неизвестно, так что орган этот все же является пока загадочным[1]. И только его гидростатическую роль можно считать в настоящее время вполне выясненной.

[1] Ныне установлено, что помимо гидростатических, плавательный пузырь рыб может выполнять дыхательные и звукообразовательные функции (*примеч. ред.*).

## Волны и вихри

Многие из повседневных физических явлений не могут быть объяснены на основе элементарных законов физики. Даже такое часто наблюдаемое явление, как волнение моря в ветреный день, не поддается исчерпывающему объяснению в рамках школьного курса физики. А чем обусловлены волны, разбегающиеся в спокойной воде от носа идущего парохода? Почему волнуются флаги в ветреную погоду? Почему песок на берегу моря располагается волнообразно? Почему клубится дым, выходящий из заводской трубы?

Чтобы объяснить эти и другие подобные им явления, надо знать особенности так называемого *вихревого* движения жидкостей и газов. Постараемся очертить здесь вкратце область вихревых явлений и отметить их главные особенности, так как в школьных учебниках о вихрях едва упоминается.

Представим себе жидкость, текущую в трубе. Если все частицы жидкости движутся при этом вдоль трубы по параллельным линиям, то перед нами простейший вид движения жидкостей — спокойный, или, как физики говорят, «ламинарный» поток. Однако это вовсе не наиболее частый случай. Напротив, гораздо чаще жидкости текут в трубах неспокойно; от стенок трубы идут к ее оси вихри. Это — вихреобразное, или *турбулентное*, движение. Так течет, например, вода в трубах водопроводной сети (если не иметь в виду тонкие трубы, где течение ламинарное). Вихревое течение наблюдается всякий раз, когда скорость течения данной жидкости в трубе (данного диаметра) достигает определенной величины — так называемой *критической* скорости[1].

Вихри текущей в трубе жидкости можно сделать заметными для глаз, если в прозрачную жидкость, текущую в стеклянной трубке, ввести немного легкого порошка, например ликоподия. Тогда ясно различаются вихри, идущие от стенок трубки к ее оси.

Эта особенность вихревого течения используется в технике при устройстве холодильников и охладителей. Жидкость, текущая турбулентно в трубке

*Рис. 244. Спокойное («ламинарное») течение жидкости в трубе.*

*Рис. 245. Вихревое («турбулентное») течение жидкости в трубе.*

[1] Критическая скорость для какой-нибудь жидкости прямо пропорциональна вязкости жидкости и обратно пропорциональна ее плотности и диаметру трубы, по которой жидкость течет. (Подробности в книге В. Л. Кирпичева «Беседы по механике», беседа седьмая.)

с охлаждаемыми стенками, гораздо быстрее приводит все свои частицы в соприкосновение с холодными стенками, нежели при движении без вихрей; надо помнить, что сами по себе жидкости — дурные проводники теплоты и при отсутствии перемешивания охлаждаются или прогреваются очень медленно. Оживленный тепловой и вещественный обмен крови с омываемыми ею тканями также возможен лишь потому, что ее течение в кровеносных сосудах не ламинарное, а вихревое.

Сказанное о трубах относится в равной мере и к открытым каналам и руслам рек: в каналах и реках вода течет турбулентно. При точном измерении скорости течения реки инструмент обнаруживает пульсации, особенно близ дна: пульсации указывают на постоянно меняющееся направление течения, т. е. на вихри. Частицы речной воды движутся не только вдоль речного русла, как обычно представляют себе, но также и от берегов к середине. Оттого и неправильно утверждение, будто в глубине реки вода имеет круглый год одну и ту же температуру, именно +4°С: вследствие перемешивания температура текущей воды близ дна реки (но не озера) такая же, как и на поверхности[1].

Вихри, образующиеся у дна реки, увлекают с собою легкий песок и порождают здесь песчаные «волны». То же можно видеть и на песчаном берегу моря, омываемом набегающей волной (рис. 246). Если бы течение воды близ дна было спокойное, песок на дне имел бы ровную поверхность.

Итак, близ поверхности тела, омываемого водой, образуются вихри. Об их существовании говорит нам, например, змеевидно извивающаяся веревка, протянутая вдоль по течению воды (когда один конец веревки привязан, а другой свободен). Что тут происходит? Участок веревки, близ которого образовался вихрь, увлекается им; но в следующий момент этот участок движется уже другим вихрем в противоположную сторону — получается змеевидное извивание (рис. 247).

От жидкостей перейдем к газам, от воды — к воздуху. Кто не видал, как воздушные вихри увлекают с земли пыль, солому и т. п.?

Это — проявление вихревого течения воздуха вдоль поверхности земли. А когда воздух течет вдоль водной поверхности, то в местах образования

*Рис. 246. Образование песчаных волн на морском берегу действием водяных вихрей.*

*Рис. 247. Волнообразное движение веревки в текучей воде обусловлено образованием вихрей.*

[1] См. мою книгу «Знаете ли вы физику?», § 133.

*Рис. 248. Волнообразная поверхность песка в пустыне.*

*Рис. 249. Клубы дыма, выходящего из заводской трубы.*

вихрей, вследствие понижения здесь воздушного давления, вода возвышается горбом — порождается волнение. Та же причина порождает песчаные волны в пустыне и на склонах дюн (рис. 248). Волнение зрелой нивы — того же происхождения.

Легко понять теперь, почему волнуется флаг при ветре: с ним происходит то же, что и с веревкой в текучей воде. Твердая пластинка флюгера не сохраняет при ветре постоянного направления, а, повинуясь вихрям, все время колеблется. Такого же вихревого происхождения и клубы дыма, выходящего из заводской трубы: топочные газы протекают через трубу вихревым движением, которое и продолжается некоторое время по инерции за пределами трубы (рис. 249).

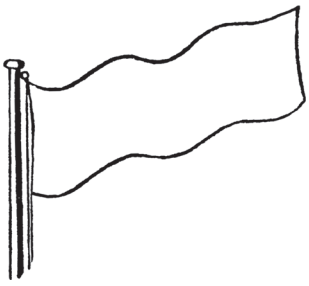


*Рис. 250 Реющий флаг на ветру.*

Велико значение турбулентного движения воздуха для авиации. Крыльям самолета придается такая форма, при которой место разрежения воздуха под крылом оказывается заполненным веществом крыла, а вихревое действие над крылом, напротив, усиливается. В итоге крыло снизу подпирается,

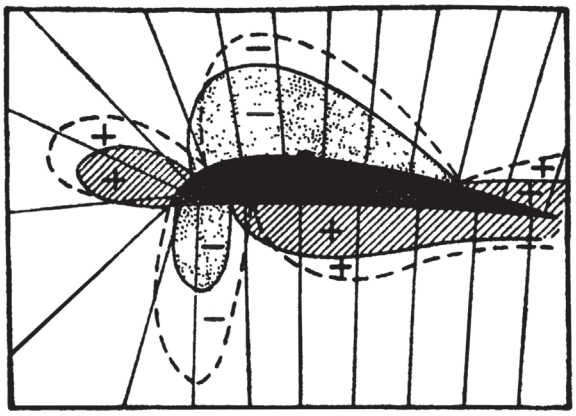



*Рис. 251. Каким силам подвержено крыло самолета.*
*Распределение давлений (+) и разрежений (–) воздуха по крылу на основании новейших опытов. В итоге всех приложенных усилий, подпирающих и засасывающих, крыло увлекается вверх. (Сплошные линии показывают распределение давлений; пунктир — то же при резком увеличении скорости полета.)*

а сверху присасывается (рис. 251). Сходные явления имеют место и при парении птицы с распростертыми крыльями.

Как действует ветер, обдувающий крышу? Вихри создают над крышей разрежение воздуха; стремясь выравнять давление, воздух из-под крыши, увлекаясь вверх, напирает на нее. В результате происходит то, что, к сожалению, приходится нередко наблюдать: легкая, непрочно прикрепленная крыша уносится ветром. Большие оконные стекла по той же причине при ветре выдавливаются изнутри (а не разламываются напором снаружи)[1].

Когда два потока воздуха разной температуры и влажности текут один вдоль другого, в каждом возникают вихри. Разнообразные формы облаков в значительной мере обусловлены этой причиной.

Мы видим, какой обширный круг явлений связан с вихревыми течениями.

Однако законы самих вихревых движений еще далеко не изучены: эта область представляет для математического исследования огромные трудности, которые науке предстоит еще преодолеть.

Кто желает подробнее познакомиться с затронутыми сейчас явлениями, при условии серьезной и систематической работы над книгой, тому можно посоветовать «Курс аэродинамики» П. М. Ширманова; руководство это отличается ясностью изложения и не предполагает у читателя знания высшей математики.

[1] Эти явления проще объясняются уменьшением давления в движущемся воздухе (см. «Принцип Бернулли и его следствия», с. 334) (*примеч. ред.*).

## Путешествие в недра Земли

Ни один человек не опускался еще в Землю глубже 2½ км[1], — а между тем радиус земного шара равен 6400 км. До центра Земли остается еще очень длинный путь. Тем не менее изобретательный Жюль Верн спустил глубоко в недра Земли своих героев — чудака-профессора Лиденброка и его племянника Акселя. В романе «Путешествие к центру Земли» он описал удивительные приключения этих подземных путешественников. В числе неожиданностей, встреченных ими под землей, было, между прочим, и увеличение плотности воздуха. По мере поднятия вверх воздух разрежается очень быстро: его плотность уменьшается в геометрической прогрессии, в то время как высота поднятия растет в прогрессии арифметической. Напротив, при опускании вниз, ниже уровня океана, воздух под давлением вышележащих слоев должен становиться все плотнее. Подземные путешественники, конечно, не могли не заметить этого.

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

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

— Очень сильное давление.

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

— Если не считать боли в ушах.

— Пустяки!

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

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

— Но воздух будет становиться все плотнее. Не приобретает ли он в конце концов плотности воды?

— Конечно: под давлением в 770 атмосфер.

— А еще ниже?

— Плотность увеличится еще больше.

— Как же мы станем тогда спускаться?

— Набьем карманы камнями.

— Ну, дядя, у вас на все есть ответ!

Я не стал более вдаваться в область догадок, потому что, пожалуй, опять придумал бы какое-нибудь препятствие, которое рассердило бы дядю. Было, однако, очевидно, что под давлением в несколько тысяч атмосфер воздух может перейти в твердое состояние, а тогда, допуская даже, что мы могли вынести такое давление, придется все же остановиться. Тут уже никакие споры не помогут».

---

[1] В наши дни горнорабочие могут опускаться в недра Земли на глубину до 4,5 км (см. примечание на с. 296) (*примеч. ред.*).

**Фантазия и математика**

Так повествует романист; но не то окажется, если мы проверим факты, о которых говорится в этом отрывке. Нам не придется спускаться для этого в недра Земли; для маленькой экскурсии в область физики вполне достаточно запастись карандашом и бумагой.

Прежде всего постараемся определить, на какую глубину нужно опуститься, чтобы давление атмосферы возросло на 1000-ю долю. Нормальное давление атмосферы равно весу 760-миллиметрового столба ртути. Если бы мы были погружены не в воздух, а в ртуть, нам надо было бы опуститься всего на $^{76}/_{1000}$ = 0,76 мм, чтобы давление увеличилось на 1000-ю долю. В воздухе же, конечно, мы должны опуститься для этого гораздо глубже, и именно — во столько раз, во сколько раз воздух легче ртути — в 10 500 раз. Значит, чтобы давление увеличилось на 1000-ю долю нормального, нам придется опуститься не на 0,76 мм, как в ртути, а на 0,76 × 10 500, т. е. почти на 8 м. Когда же мы опустимся еще на 8 м, то увеличенное давление возрастет еще на 1000-ю своей величины, и т. д.[1] На каком бы уровне мы ни находились — у самого «потолка мира» (22 км)[2], на вершине горы Эверест (9 км) или близ поверхности океана — нам нужно опуститься на 8 метров, чтобы давление атмосферы возросло на 1000-ю долю первоначальной величины. Получается, следовательно, такая таблица возрастания давления воздуха с глубиной:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| На уровне | Земли | давление 760 мм | = | нормальному |
| » | 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 $n$ × 8 м давление атмосферы больше нормального в $(1{,}001)^n$ раз; и пока давление не очень велико, во столько же раз увеличится и плотность воздуха (закон Мариотта).

Заметим, что в данном случае дело идет, как видно из романа, об углублении в Землю всего на 48 км, а потому ослабление силы тяжести и связанное с ним уменьшение веса воздуха можно не принимать в расчет.

Теперь можно рассчитать, как велико было, примерно, то давление, которое подземные путешественники Жюля Верна испытывали на глубине 48 км (48 000 м). В нашей формуле $n$ равняется $^{48\,000}/_{8}$ = 6000. Приходится

[1] Следующий 8-метровый слой воздуха плотнее предыдущего, а потому прибавка давления будет по абсолютной величине больше, чем в предшествовавшем слое. Но она и должна быть больше, потому что здесь берется 1000-я доля от более крупной величины.

[2] Так образно называется верхняя граница биосферы (20–22 км) — предельная высота подъема в атмосферу живых спор и бактерий воздушными потоками (*примеч. ред.*).

вычислить $1{,}001^{6000}$. Так как умножать 1,001 само на себя 6000 раз — занятие довольно скучное и отняло бы много времени, то мы обратимся к помощи логарифмов, о которых справедливо сказал Лаплас, что они, сокращая труд, удваивают жизнь вычислителей[1]. Логарифмируя, имеем:

$$\text{логарифм неизвестного} = 6000 \times \lg 1{,}001 = 6000 \times 0{,}00043 = 2{,}6.$$

По логарифму 2,6 находим искомое число; оно = 400.

Итак, на глубине 48 км давление атмосферы в 400 раз сильнее нормального; плотность воздуха под таким давлением возрастет, как показали опыты, в 315 раз. Сомнительно поэтому, чтобы наши подземные путники нисколько не страдали, испытывая только «боль в ушах»... В романе Жюля Верна говорится, однако, о достижении людьми еще бóльших подземных глубин, — именно 120 и даже 325 км. Давление воздуха должно было достигать там чудовищных степеней; человек же способен переносить безвредно для себя воздушное давление не свыше трех-четырех атмосфер.

Если бы по той же формуле мы стали вычислять, на какой глубине воздух становится так же плотен, как и вода, т. е. уплотняется в 770 раз, то получили бы цифру: 53 км. Но этот результат неверен, так как при высоких давлениях плотность газа уже не пропорциональна давлению. Закон Мариотта вполне верен лишь для не слишком значительных давлений, не превышающих сотни атмосфер. Вот данные о плотности воздуха, полученные при опытах Натгерера[2]:

| Давление | | Плотность |
|---|---|---|
| 200 | атмосфер | 190 |
| 400 | » | 315 |
| 600 | » | 387 |
| 1500 | » | 513 |
| 1800 | » | 540 |
| 2100 | » | 564 |

[1] Кто вынес из школы неприязненное чувство к логарифмическим таблицам, тот, быть может, изменит свое нелюбезное к ним отношение, познакомившись с характеристикой, данной им великим французским астрономом. Вот это место в «Изложении системы мира»: «Изобретение логарифмов, сокращая вычисления нескольких месяцев в труд нескольких дней, как бы удваивает жизнь астрономов и освобождает их от погрешностей и утомления, неразлучных с длинными вычислениями. Это изобретение тем лестнее для ума человеческого, что всецело почерпнуто из этого источника (т. е. из ума). В технике человек для увеличения своего могущества пользуется материалами и силами окружающей природы; в логарифмах же все является результатом его собственного ума».

[2] *Наттерер Иоганн Август* (1821–1901) — австрийский физик, химик и практикующий врач, один из первых экспериментаторов в области сжижения газов, а также фотографии (*примеч. ред.*).

Увеличение плотности, как видим, заметно отстает от возрастания давления. Напрасно жюль-верновский ученый ожидал, что он достигнет глубины, где воздух плотнее воды, — этого ему не пришлось бы дождаться, так как воздух достигает плотности воды лишь под давлением 3000 атмосфер, а дальше уже почти не сжимается. О том же, чтобы превратить воздух в твердое состояние одним давлением, без сильнейшего охлаждения (ниже минус 146°), не может быть речи.

Справедливость требует отметить, однако, что упомянутый роман Жюля Верна был опубликован задолго до того, как стали известны приведенные сейчас научные факты. Это оправдывает автора, хотя и не исправляет повествования.

Воспользуемся еще приведенной раньше формулой, чтобы вычислить наибольшую глубину шахты, на дне которой человек может оставаться без вреда для своего здоровья. Наибольшее воздушное давление, какое еще способен переносить наш организм, — 3 атмосферы. Обозначая искомую глубину шахты через $x$, имеем уравнение:

$$(1{,}001)^{x/8} = 3,$$

откуда (логарифмируя) вычисляем $x$. Получаем $x = 8{,}9$ км.

Итак, человек мог бы без вреда находиться на глубине почти 9 км. Если бы Тихий океан вдруг высох, люди могли бы почти повсюду жить на дне его.

### В глубочайшей шахте мира

Кто ближе всего продвинулся к центру Земли — не в фантазии романиста, а в реальной действительности? Конечно, горнорабочие. Мы уже знаем (см. гл. IV), что глубочайшие шахты мира прорыты в золотоносных районах Южной Африки и Бразилии: они уходят вглубь более чем на два километра. Здесь имеется в виду не глубина проникновения бурильного долота, достигающая в некоторых случаях 3¼–3⅓ км (рис. 252) и даже более[1], а углубление самих людей. Вот что рассказывает о бразильской шахте французский писатель д-р Люк Дюртен, лично посетивший ее:

«Знаменитые золотые прииски Морро Вельхо находятся в 400 км от Рио-де-Жанейро. После 16 часов езды по железной дороге в скалистой местности вы спускаетесь в глубокую долину, окруженную джунглями. Здесь английская компания разрабатывает золотоносные жилы на такой глубине, на какую никогда раньше не спускался человек.

---

[1] Самая глубокая в мире скважина пробурена в Техасе на глубине 3835 метров в поисках нефти; поиски оказались безрезультатными, и скважина ликвидирована (в 1935 г.).

[См. примечание на с. 296 (*примеч. ред.*).]

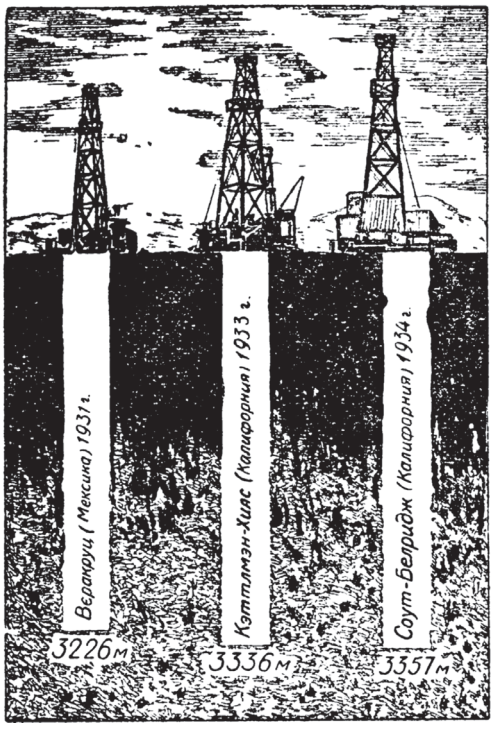



*Рис. 252. Буровые скважины.*

Жила идет вглубь косо. Шахта следует за ней шестью уступами. Вертикальные шахты — колодцы, горизонтальные — туннели. Чрезвычайно характерно для современного общества, что глубочайшая шахта, прорытая в коре земного шара, самая смелая попытка человека проникнуть в недра планеты — сделана в поисках золота.

Наденьте парусиновую прозодежду[1] и кожаную куртку. Осторожнее: малейший камешек, падающий в колодец, может ранить вас. Нас будет сопровождать один из «капитанов» шахты. Вы входите в первый туннель, хорошо освещенный. Вас охватывает дрожь от леденящего ветра в 4°: это вентиляция для охлаждения глубин шахты.

Проехав в узкой металлической клетке первый колодец глубиной 700 м, вы попадете во второй туннель. Спускаетесь во второй колодец; воздух становится теплее. Вы уже находитесь ниже уровня моря.

Начиная со следующего колодца, воздух обжигает лицо. Вы достигли наконец знаменитого колодца № 43. Обливаясь по́том, согнувшись под низким сводом,

[1] Так в первой половине XX в. называли рабочую одежду, спецодежду (сокращение от слов «производственная одежда») (*примеч. ред.*).

вы подвигаетесь по направлению к реву сверлильных машин. В густой пыли работают обнаженные люди; с них струится пот, руки безостановочно передают бутыль с водой. Не дотрагивайтесь до обломков руды, сейчас отколотых: температура их 57°.

Каков же итог этой ужасной, отвратительной действительности? — Около 10 кило золота в день...»[1]

Описывая физические условия на дне шахты и степень крайней эксплуатации рабочих, французский писатель отмечает высокую температуру, но не упоминает о повышенном давлении воздуха. Вычислим, каково оно на глубине 2300 м. Если бы температура оставалась такая же, как на поверхности Земли, то — согласно знакомой уже нам формуле — плотность воздуха возросла бы в

$$1{,}001^{2300/8} = 1{,}33 \text{ раза.}$$

В действительности температура не остается неизменной, но повышается. Поэтому плотность воздуха растет не столь значительно, а меньше. В конечном итоге воздух на дне шахты по плотности разнится от воздуха на поверхности Земли немногим больше, чем воздух знойного летнего дня от морозного воздуха зимы. Понятно теперь, почему это обстоятельство не привлекло к себе внимания посетителя шахты.

Зато большое значение имеет значительная влажность воздуха в таких глубоких рудниках, делающая пребывание в них невыносимым при высокой температуре. В одном из южноафриканских рудников (Иоганнсбург), глубиною 2553 метра, влажность при 50° жары достигает 100%; здесь устраивается теперь так называемый искусственный климат, причем охлаждающее действие установки равнозначаще 2000 тоннам льда.

### Ввысь со стратостатами

В предыдущих статьях мы мысленно путешествовали в земные недра, причем нам помогла формула зависимости давления воздуха от глубины. Отважимся теперь подняться вверх и, пользуясь той же формулой, посмотрим, как меняется давление воздуха на больших высотах. Формула для этого случая принимает такой вид:

$$p = 0{,}999^{h/8},$$

где $p$ — давление в атмосферах, $h$ — высота в метрах. Дробь 0,999 заменила здесь число 1,001, потому что при перемещении вверх на 8 метров давление не возрастает на 0,001, а *уменьшается* на 0,001.

Решим для начала задачу: как высоко надо подняться, чтобы давление воздуха уменьшилось *вдвое*?

[1] Журнал «За рубежом», 1933, № 13.

Для этого приравняем в нашей формуле давление $p = 0{,}5$ и станем искать высоту $h$. Получим уравнение

$$0{,}5 = 0{,}999^{h/8},$$

решить которое не составит труда для читателей, умеющих обращаться с логарифмами. Ответ $h = 5{,}6$ километров определяет высоту, на которой давление воздуха должно уменьшиться вдвое.

Направимся теперь еще выше, вслед за отважными советскими воздухоплавателями, достигшими высоты 19 и 22 километров. Эти высокие области атмосферы находятся уже в так называемой стратосфере. Поэтому и шарам, на которых совершаются подобные подъемы, присвоено наименование не аэростатов, а «стратостатов». Не думаю, чтобы среди читателей нашелся хотя бы один, который не слыхал бы названий советских стратостатов «СССР» и «ОАХ-1», поставивших мировые рекорды высоты: первый — 19 км, второй — 22 км[1].

Попытаемся вычислить, каково давление атмосферы на этих высотах.

Для высоты 19 км найдем, что давление воздуха должно составлять

$$0{,}999^{19\,000/8} = 0{,}095 \text{ атм} = 72 \text{ мм}.$$

Для высоты 22 км —

$$0{,}999^{22\,000/8} = 0{,}066 \text{ атм} = 50 \text{ мм}.$$

Однако, заглянув в записи стратонавтов, находим, что на указанных высотах отмечены были другие давления: на высоте 19 км — 50 мм, на высоте 22 км — 45 мм.

Почему же расчет не подтверждается? В чем наша ошибка?

Закон Мариотта для газов при столь малом давлении применим вполне, но на этот раз мы сделали другое упущение: считали температуру воздуха одинаковой во всей 20-километровой толще, между тем как она заметно падает с высотой. В среднем принимают, что температура при поднятии на каждый километр падает на 6,5°; так происходит до высоты 11 километров, где температура равна минус 56°, и далее на значительном протяжении остается неизменной. Если принять это обстоятельство во внимание (для чего уже недостаточны средства элементарной математики), получатся результаты, гораздо более согласные с действительностью. По той же причине на итоги наших прежних вычислений, относящихся к давлению воздуха, нужно тоже смотреть как на более или менее приближенные.

---

[1] Точнее, «СССР-1» и «Осоавиахим-1»: первый совершил рекордный подъем 30 сентября 1933 г., второй — 30 января 1934 г. (этот полет завершился при снижении катастрофой). Современный же рекорд пилотируемого полета на стратостате установлен австрийским скайдайвером Феликсом Баумгартнером 14 октября 2012 г. — 39 068 м (*примеч. ред.*).

*Рис. 253. Тушение степного пожара огнем (См. с. 361.).*

## *ГЛАВА СЕДЬМАЯ*

## ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

### Веер

Когда на многолюдном собрании женщины обмахиваются веерами, им, конечно, становится прохладнее. Казалось бы, что занятие это вполне безвредно для остальных присутствующих и что собравшиеся могут быть только признательны женщинам за охлаждение воздуха в зале.

Посмотрим, так ли это. Почему при обмахивании веером мы ощущаем прохладу? Воздух, непосредственно прилегающий к нашему лицу, нагревается, и эта теплая воздушная маска, невидимо одевающая наше лицо, «греет» его, т. е. замедляет дальнейшую потерю тепла. Если воздух вокруг нас неподвижен, то нагревшийся близ лица слой воздуха лишь весьма медленно вытесняется вверх более тяжелым ненагретым воздухом. Когда же мы смахиваем веером с лица теплую воздушную маску, то лицо соприкасается все с новыми порциями ненагретого воздуха и непрерывно отдает им свою теплоту; тело наше остывает — и мы ощущаем прохладу.

Значит, при обмахивании веером женщины непрерывно удаляют от своего лица нагретый воздух и заменяют его ненагретым; нагревшись, этот воздух удаляется в свою очередь и заменяется новой порцией ненагретого, и т. д.

Работа вееров ускоряет перемешивание воздуха и способствует быстрейшему уравнению температуры воздуха во всем зале, т. е. доставляет облегчение обладательницам веера за счет более прохладного воздуха, окружающего остальных присутствующих.

### Греет ли вуаль?

Вот еще задача из физики обыденной жизни. Женщины утверждают, что вуаль греет, что без нее лицо зябнет. При взгляде на легкую ткань вуали, нередко с довольно крупными ячейками, мужчины не очень склонны верить этому утверждению и думают, что согревающее действие вуали — игра воображения.

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

### Отчего при ветре холоднее?

Все знают, конечно, что в тихую погоду мороз переносится гораздо легче, чем при ветре. Но не все представляют себе отчетливо причину этого явления. Усиленный холод при ветре ощущается лишь *живыми существами*; термометр же не опускается ниже, когда его обдувает ветер. Ощущение резкого холода в ветреную морозную погоду объясняется прежде всего тем, что от лица (и вообще от тела) отнимается при этом гораздо больше тепла, нежели в тихую погоду, когда воздух, нагретый телом, не так быстро сменяется новой порцией холодного воздуха. Чем ветер сильнее, тем бóльшая масса воздуха успевает в течение каждой минуты прийти в соприкосновение с кожей и, следовательно, тем больше тепла отнимается ежеминутно от нашего тела. Этого одного уже достаточно, чтобы вызвать ощущение холода.

Но есть и еще причина. Кожа наша всегда испаряет влагу, даже в холодном воздухе. Для испарения требуется теплота; она отнимается от нашего тела и от того слоя воздуха, который к телу прилегает. Если воздух неподвижен, испарение совершается медленно, так как прилегающий к коже слой воздуха скоро насыщается парами (в насыщенном воздухе не происходит интенсивного испарения). Но если воздух движется и к коже притекают все новые и новые

его порции, то испарение все время поддерживается очень обильное, — а это требует большого расхода теплоты, отбираемой у нашего тела.

Как же велико охлаждающее действие ветра? Оно зависит от его скорости и от температуры воздуха; в общем, оно гораздо значительнее, чем обычно думают. Приведу пример, дающий представление о том, каково бывает это понижение. Пусть температура воздуха + 4°, а ветра нет никакого. Кожа нашего тела при таких условиях имеет температуру 31°. Если же дует легкий ветерок, едва движущий флаги и не шевелящий листвы (скорость 2 м/с), то кожа охлаждается на 7°; при ветре, заставляющем флаг полоскаться (скорость 6 м/с) кожа охлаждается на 22°: температура ее падает до 9°! Эти данные взяты из книги Н. Н. Калитина «Основы физики атмосферы в применении к медицине»; любознательный читатель найдет в ней много интересных подробностей.

Итак, о том, как будет ощущаться нами мороз, мы не можем судить по одной лишь температуре, а должны принимать во внимание также и скорости ветра. Один и тот же мороз переносится в Ленинграде в среднем хуже, чем в Москве, потому что средняя скорость ветра на берегах Балтийского моря равна 5–6 м/с, а в Москве — только 4,5 м/с. Еще легче переносятся морозы в Забайкалье, где средняя скорость ветра всего 1,3 м/с. Знаменитые восточносибирские морозы ощущаются далеко не так жестоко, как думаем мы, привыкшие в Европе к сравнительно сильным ветрам; Восточная же Сибирь отличается почти полным безветрием, особенно в зимнее время.

### Горячее дыхание пустыни

«Значит, ветер и в знойный день должен приносить прохладу, — скажет, быть может, читатель, прочтя предыдущую статью. — Почему же в таком случае путешественники говорят о *горячем дыхании* пустыни?»

Противоречие объясняется тем, что в тропическом климате воздух бывает *теплее, чем наше тело*. Неудивительно, что там при ветре людям становится не прохладнее, а жарче. Теплота передается там уже не от тела воздуху, но обратно — воздух нагревает человеческое тело. Поэтому, чем бóльшая масса воздуха успеет ежеминутно прийти в соприкосновение с телом, тем сильнее ощущение жара. Правда, испарение и здесь усиливается при ветре, но первая причина перевешивает.

### Охлаждающие кувшины

Если вам не случалось видеть таких кувшинов, то, вероятно, вы слыхали или читали о них. Эти сосуды из необожженной глины обладают той любопытной особенностью, что налитая в них вода становится прохладнее, чем окружающие предметы. Кувшины в большом распространении у южных народов (между прочим, и у нас в Крыму) и носят различные названия: в Испании — «алькарацца», в Египте — «гоула» и т. д.

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

Но неверно, что жидкость в таких сосудах охлаждается до очень низкой температуры, — как приходится читать в описаниях путешествий по южным странам. Охлаждение не может быть велико. Зависит оно от многих условий. Чем знойнее воздух, тем скорее и обильнее испаряется жидкость, увлажняющая сосуд снаружи, — и, следовательно, тем более охлаждается вода внутри кувшина. Зависит охлаждение и от влажности окружающего воздуха: если в нем много влаги, испарение происходит медленно, и вода охлаждается незначительно; в сухом воздухе, напротив, происходит энергичное испарение, вызывающее более заметное охлаждение. Ветер также ускоряет испарение и тем способствует охлаждению: это все хорошо знают по тому ощущению холода, которое приходится испытывать в мокром платье в теплый, но ветреный день. Понижение температуры в охлаждающих кувшинах не превышает 5°. В знойный южный день, когда термометр показывает подчас 33°, вода в охлаждающем кувшине имеет температуру теплой ванны, 28°. Охлаждение, как видим, практически бесполезное. Зато хорошо сохраняют кувшины *холодную воду*; для этой цели их преимущественно и употребляют.

Мы можем попытаться вычислить степень охлаждения воды в «алькараццах». Пусть у нас имеется кувшин, вмещающий 5 л воды; допустим, что ⅒ л испарилась. Для испарения 1 л воды (1 кг) требуется при температуре знойного (33°) дня около 580 калорий. У нас испарилась ⅒ кг; следовательно, понадобилось 58 калорий. Если бы вся эта теплота заимствовалась только от воды, которая находится в кувшине, температура последней понизилась бы на $^{58}/_{5}$, т. е. *градусов* на 12. Но бóльшая часть тепла, потребного для испарения, отнимается от стенок самого кувшина и от окружающего его воздуха; с другой стороны, рядом с охлаждением воды в кувшине происходит и нагревание ее теплым воздухом, прилегающим к кувшину. Поэтому охлаждение едва достигает половины полученной цифры.

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

### Ледник без льда

На охлаждении от испарения основано устройство охлаждающего шкафа для хранения продуктов, своего рода ледника без льда.

Устройство такого охладителя весьма несложно: это ящик из дерева (лучше из оцинкованного железа) с полками, на которые кладут подлежащие охлаждению продукты. Вверху ящика ставится длинный сосуд с чистой холодной водой; в сосуд погружен край холста, который идет вдоль задней стенки

ящика вниз, кончаясь в сосуде, помещенном под нижней полкой. Холст напитывается водой, которая, как по фитилю, все время движется через него, медленно испаряясь и тем охлаждая все отделения «ледника».

Такой «ледник» следует ставить в прохладное место квартиры и каждый вечер менять в нем холодную воду, чтобы она успела за ночь хорошо остудиться. Сосуды, содержащие воду, и холст, пропитываемый ею, должны быть, конечно, совершенно чисты.

### Какую жару способны мы переносить?

Человек гораздо выносливее по отношению к жаре, чем обыкновенно думают: он способен переносить в южных странах температуру заметно выше той, какую мы в умеренном поясе считаем едва переносимой. Летом в Средней Австралии нередко наблюдается температура 46° в тени; там отмечались даже температуры в 55° в тени (по Цельсию). При переходе через Красное море в Персидский залив температура в корабельных помещениях достигает 50° и выше, несмотря на непрерывную вентиляцию.

Наиболее высокие температуры, наблюдавшиеся в природе на земном шаре, не превышали 57°. Температура эта установлена в так называемой Долине Смерти в Калифорнии. Зной в Туркестане — самом жарком месте нашего Союза — не бывает выше 50°.

Отмеченные сейчас температуры измерялись в тени. Объясню кстати, почему метеоролога интересует температура именно в *тени*, а не на солнце. Дело в том, что температуру *воздуха* измеряет только термометр, выставленный в тени. Градусник, помещенный на солнце, может нагреться его лучами значительно выше, чем окружающий его воздух, и показание его нисколько не характеризует теплового состояния воздушной среды. Поэтому и нет смысла, говоря о знойной погоде, ссылаться на показание термометра, выставленного на солнце.

Производились опыты для определения высшей температуры, какую может выдержать человеческий организм. Оказалось, что при весьма постепенном нагревании организм наш *в сухом воздухе* способен выдержать не только температуру кипения воды (100°), но иногда даже еще более высокую, до 160°С, — как доказали английские физики Благден[1] и Чентри[2], проводившие ради опыта целые часы в натопленной печи хлебопекарни. «Можно сварить яйца и изжарить бифштекс в воздухе помещения, в котором люди остаются без вреда для себя», — замечает по этому поводу Тиндаль.

---

[1] *Благден Чарльз* (1748–1820) — английский военный врач и физико-химик, основоположник криоскопии (*примеч. ред.*).

[2] *Чентри (Чантри, Чантрей) Фрэнсис* (1781–1841) — английский скульптор (Я. П. ошибочно называет его физиком), принимавший участие в опытах Ч. Благдена (*примеч. ред.*).

Чем же объясняется такая выносливость? Тем, что организм наш фактически не принимает этой температуры, а сохраняет температуру, близкую к нормальной. Он борется с нагреванием посредством обильного выделения пота; испарение пота поглощает значительное количество тепла из того слоя воздуха, который непосредственно прилегает к коже, и тем в достаточной мере понижает его температуру. Единственные необходимые условия состоят в том, чтобы тело не соприкасалось непосредственно с источником тепла и чтобы воздух был сух.

Кто бывал в нашей Средней Азии, тот замечал, без сомнения, как сравнительно легко переносится там жара в 37 и более градусов Цельсия. 24-градусная жара в Ленинграде переносится гораздо хуже. Причина, конечно, во влажности воздуха в Ленинграде и сухости его в Средней Азии, где дождь — явление крайне редкое[1].

## Термометр или барометр?

Известен анекдот о наивном человеке, который не решался принять ванну по следующей необыкновенной причине:

— Я сунул в ванну барометр, а он показал — бурю... Опасно купаться!

Но не думайте, что всегда легко отличить термометр от барометра. Есть такие термометры, — вернее, термоскопы, — которые с не меньшим правом могли бы называться барометрами, и наоборот. Примером может служить старинный термоскоп, придуманный Героном Александрийским (рис. 254). Когда солнечные лучи пригревают шар, воздух в верхней части шара, расширяясь, давит на воду и вытесняет ее по изогнутой трубке наружу; вода начинает капать из конца трубки в воронку, откуда стекает в нижний ящик. В холодную же погоду, напротив, упругость воздуха в шаре уменьшается, и вода из нижнего ящика вытесняется давлением наружного воздуха по прямой трубке в шар.

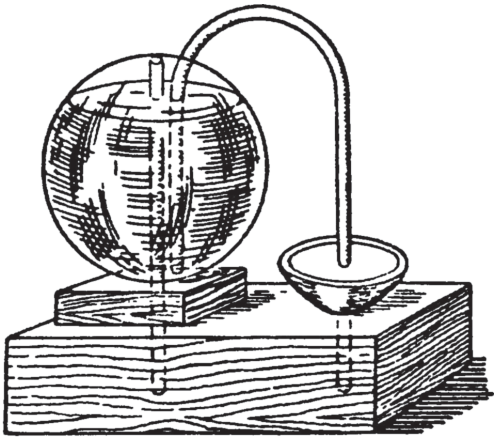


*Рис. 254. Термоскоп Герона.*

Однако прибор этот чувствителен и к изменениям барометрического

[1] В Мирзояне (бывш. Аулие-Ата) мой карманный гигрометр дважды в июне месяце показал нуль влажности (13 и 16 июня 1930 г.).

[В 1936–1938 гг. Мирзояном назывался современный город Тараз в Казахстане (*примеч. ред.*).]

давления: когда наружное давление ослабевает, воздух внутри шара, сохранивший прежнее более высокое давление, расширяется и вытесняет часть воды по трубке в воронку; при повышении же наружного давления часть воды из ящика вгоняется в шар вследствие разности давления. Каждый градус температурной разницы вызовет такое же изменение в объеме воздуха внутри шара, как $^{76}/_{273}$ = около 2½ мм разницы в высоте барометрического столба (ртутного). В Москве барометрические колебания достигают 20 и более миллиметров; это соответствует 8°С в термоскопе Герона, — значит, такое падение атмосферного давления легко принять за повышение температуры на 8 градусов!

Вы видите, что старинный термоскоп не в меньшей мере является и бароскопом. Одно время в продаже имелись у нас водяные барометры, которые являлись в такой же степени и термометрами, — о чем, однако, не подозревали не только покупатели, но, кажется, и их изобретатель.

### Для чего служит ламповое стекло?

Мало кто знает о том, какой долгий путь прошло ламповое стекло, прежде чем достигло своего современного вида. Длинный ряд тысячелетий люди пользовались для освещения пламенем, не прибегая к услугам стекла. Понадобился гений Леонардо да Винчи (1462–1619), чтобы сделать это важное усовершенствование лампы. Но Леонардо окружил пламя не стеклянной, а металлической трубой; прошло еще три века, прежде чем додумались до замены металлической трубы прозрачным стеклянным цилиндром. Как видите, ламповое стекло — изобретение, над которым работали десятки поколений.

Каково же его назначение?

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

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

Интересно, что уже Леонардо отчетливо представлял себе эти явления. В его рукописях находим такую запись: «Где появляется огонь, там вокруг него образуется воздушное течение: оно его поддерживает и усиливает».

### Почему пламя не гаснет само собой?

Если вдуматься хорошенько в процесс горения, то невольно возникает вопрос: отчего пламя не гаснет само собой? Ведь продуктами горения являются углекислый газ и водяной пар, — вещества *негорючие*, неспособные поддерживать горение. Следовательно, пламя с первого же момента горения должно быть окружено негорючими веществами, которые мешают притоку воздуха; без воздуха горение продолжаться не может, и пламя должно погаснуть.

Почему же этого не происходит? Почему горение длится непрерывно, пока есть запас горючего вещества? Только потому, что газы расширяются от нагревания и, следовательно, *становятся легче*. Лишь благодаря этому нагретые продукты горения не остаются на месте своего образования, в непосредственном соседстве с пламенем, а немедленно же вытесняются вверх чистым воздухом. Если бы закон Архимеда не распространялся на газы (или если бы не было тяжести), — всякое пламя, прогоревши немного, гасло бы само собой.

Весьма легко убедиться в том, как губительно действуют на пламя продукты его горения. Вы нередко пользуетесь этим, сами того не подозревая, чтобы загасить огонь в лампе. Как задуваете вы керосиновую лампу? Дуете в нее *сверху*, т. е. гоните вниз, к пламени, негорючие продукты его горения, — и оно гаснет, лишенное свободного доступа воздуха.

### Недостающая глава в романе Жюля Верна

Жюль Верн подробно поведал нам, как проводили время трое смельчаков внутри снаряда, мчащегося на Луну. Однако он не рассказал о том, как Мишель Ардан исполнял обязанности повара в этой необычайной обстановке. Вероятно, романист полагал, что стряпня внутри летящего снаряда не представляет ничего такого, что заслуживало бы описания. Если так, то он ошибался. Дело в том, что внутри летящего ядра все предметы *становятся невесомыми*[1]. Жюль Верн упустил из виду это обстоятельство. А согласитесь, что стряпня в невесомой кухне — сюжет, вполне достойный пера романиста, и надо только пожалеть, что талантливый автор «Путешествия на Луну» не уделил внимания этой теме. Попытаюсь, как умею, восполнить недостающую главу в романе, чтобы дать читателю некоторое представление о том, насколько эффектно могла бы вылиться она из-под пера самого Жюля Верна.

При чтении этой статьи читатель должен все время не упускать из виду, что внутри ядра — как уже сказано — *нет тяжести*: все предметы в нем *невесомы*.

---

[1] Подробное разъяснение этого интересного обстоятельства приведено в первой книге «Занимательной физики» (см. с. 42), а также в моих книгах «Межпланетные путешествия», «К звездам на ракете» и «Ракетой на Луну».

### Завтрак в невесомой кухне

«— Друзья мои, ведь мы еще не завтракали, — объявил Мишель Ардан своим спутникам по межпланетному путешествию. — Из того, что мы потеряли свой вес в пушечном снаряде, не следует вовсе, что мы потеряли и аппетит. Я берусь устроить вам, друзья мои, невесомый завтрак, который, без сомнения, будет состоять из самых легких блюд, когда-либо изготовлявшихся на свете.

И, не ожидая ответа товарищей, француз принялся за стряпню.

— Наша бутыль с водой притворяется пустой, — ворчал про себя Ардан, возясь с раскупоркой большой бутыли. — Не проведешь меня: я ведь знаю, отчего ты легкая... Так, пробка вынута. Изволь излить в кастрюлю свое невесомое содержимое!

Но сколько ни наклонял он бутыли, вода не выливалась.

— Не трудись, милый Ардан, — явился на выручку Николь. — Пойми, что в нашем снаряде, где нет тяжести, вода не может литься. Ты должен ее вытрясти из бутыли, как если бы это был густой сироп.

Не долго думая, Ардан хлопнул ладонью по дну опрокинутой бутыли. Новая неожиданность: у горлышка тотчас же раздулся водяной шар, величиной с кулак.

— Что стало с нашей водой? — изумился Ардан. — Вот, признаюсь, совсем излишний сюрприз! Объясните же, ученые друзья мои, что тут произошло?

— Это капля, милый Ардан, простая водяная капля. В мире без тяжести капли могут быть как угодно велики... Вспомни, что ведь жидкости только под влиянием тяжести принимают форму сосудов, льются в виде струй и т. д. Здесь же нет тяжести, жидкость предоставлена своим внутренним молекулярным силам и должна принять форму шара, как масло в знаменитом опыте Плато.

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

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

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

— И очень жаль, что не мешает! — возразил Ардан. — Смачивание здесь или что-либо другое, но мне необходимо иметь воду внутри кастрюли, а не вокруг нее. Вот еще новости какие! Ни один повар в мире не согласится готовить бульон при подобных условиях!

— Ты легко можешь воспрепятствовать смачиванию, если оно так мешает тебе, — успокоительно вставил м-р Барбикен. — Вспомни, что вода не смачивает тел,

покрытых хотя бы тонким слоем жира. Обмажь свою кастрюлю снаружи жиром, и ты удержишь воду внутри нее.

— Браво! Вот это я называю истинной ученостью, — обрадовался Ардан, приводя совет в исполнение. Затем он приступил к нагреванию воды на пламени газовой горелки.

Положительно все складывалось против Ардана. Газовая горелка — и та закапризничала: прогорев полминуты тусклым пламенем, она погасла по необъяснимой причине.

Ардан возился вокруг горелки, терпеливо нянчился с пламенем, но хлопоты не приводили ни к чему: пламя отказывалось гореть.

— Барбикен! Николь! Неужели же нет средства заставить это упрямое пламя гореть так, как полагается ему по законам вашей физики и по уставам газовых компаний? — взывал к друзьям обескураженный француз.

— Но здесь нет ничего необычайного и ничего неожиданного, — объяснил Николь. — Это пламя горит именно так, как полагается согласно физическим законам. А газовые компании... я думаю, они все разорились бы, если бы не было тяжести. При горении, ты знаешь, образуются углекислота, водяной пар, — словом, газы негорючие; обыкновенно эти продукты горения не остаются возле самого пламени: как теплые и, следовательно, более легкие, они вытесняются притекающим свежим воздухом. Но тут у нас нет тяжести, — поэтому продукты горения остаются на месте возникновения, окружают пламя слоем негорючих газов и преграждают доступ свежему воздуху. Оттого-то пламя так тускло здесь горит и так быстро гаснет. Ведь действие огнетушителей на том и основано, что пламя окружается негорючим газом.

— Значит, по-твоему, — перебил француз, — если бы на Земле не было тяжести, то не надо было бы и пожарных команд: пожар погас бы сам собой, задыхался бы в собственном дыхании?

— Совершенно верно. А пока, чтобы помочь делу, зажги еще раз горелку и давай обдувать пламя. Нам, я надеюсь, удастся создать искусственную тягу и заставить пламя гореть „по-земному“.

Так и сделали. Ардан снова зажег горелку и принялся за стряпню, не без злорадства следя за тем, как Николь с Барбикеном поочередно обдували и обмахивали пламя, чтобы непрерывно вводить в него свежий воздух. В глубине души француз считал своих друзей и их науку виновниками „всей этой кутерьмы“.

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

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

— Тебе придется вооружиться терпением, милый Ардан. Видишь ли, обыкновенная, весомая вода быстро нагревается — почему? Только потому, что в ней происходит перемешивание слоев: нагретые нижние слои, более легкие, вытесняются холодными сверху, и в результате вся жидкость быстро принимает высокую температуру.

Случалось тебе когда-либо нагревать воду не снизу, а сверху? Тогда перемешивания слоев не происходит, потому что верхние нагретые слои остаются на месте. Теплопроводность же воды ничтожна; верхние слои можно даже довести до кипения, в то время как в нижних будут находиться куски нерастаявшего льда. Но в нашем невесомом мире безразлично, откуда ни нагревать воду: круговорота в кастрюле возникать не может, и вода должна нагреваться очень медленно. Если желаешь ускорить нагревание, ты должен все время перемешивать воду.

Николь предупредил Ардана, чтобы он не доводил воды до 100°, а ограничился несколько пониженной температурой. При 100° образуется много пара, который, обладая здесь удельным весом, одинаковым с удельным весом воды (оба равны нулю), будет смешиваться с ней в однородную смесь — в нечто среднее между водой и паром.

Досадная неожиданность произошла с горохом. Когда Ардан, развязав мешочек, слегка тряхнул его, горошины рассеялись в воздухе и стали безостановочно бродить внутри каюты, ударяясь о стенки и отскакивая от них. Эти витающие горошины чуть не наделали большой беды: Николь нечаянно вдохнул одну из них и так раскашлялся, что едва не задохся. Чтобы избавиться от такой опасности и очистить воздух, друзья наши принялись усердно вылавливать летающие горошины тем сачком, который Ардан предусмотрительно захватил с собою „для сбора коллекции лунных бабочек“.

Нелегко было стряпать при таких условиях. Ардан был прав, когда утверждал, что здесь спасовал бы самый искусный повар. Немало пришлось повозиться и при жарении бифштекса: надо было все время придерживать мясо вилкой, иначе упругие пары масла, образующиеся под бифштексом, выталкивали его из кастрюли, и недожаренное мясо летело „вверх“, — если можно употребить это слово там, где не было ни „верха“, ни „низа“.

Странную картину представлял и самый обед в этом мире, лишенном тяжести. Друзья висели в воздухе в весьма разнообразных позах, не лишенных, впрочем, живописности, и поминутно стукались головами друг о друга. Сидеть, конечно, не приходилось. Такие вещи, как стулья, диваны, скамьи, — совершенно бесполезны в мире, где нет тяжести. В сущности, и стол был бы здесь вовсе не нужен, если бы не настойчивое желание Ардана завтракать непременно „за столом“.

Трудно было сварить бульон, но еще труднее оказалось съесть его. Начать с того, что разлить невесомый бульон по чашкам никак не удавалось. Ардан чуть не поплатился за такую попытку потерей трудов целого утра; забыв, что бульон невесом, он с досадой ударил по дну перевернутой кастрюли, чтобы изгнать из нее упрямый бульон. В результате из кастрюли вылетела огромная шарообразная капля — бульон в сфероидальной форме. Ардану понадобилось проявить искусство жонглера, чтобы вновь поймать и водворить в кастрюлю с таким трудом сваренный бульон.

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

В конце концов Николь нашел разрешение задачи: сделали трубки из восковой бумаги и с помощью их пили бульон, втягивая его в рот. Таким же способом приходилось нашим друзьям во все время путешествия пить воду, вино и вообще всякие жидкости[1]».

## Почему вода гасит огонь?

На столь простой вопрос не всегда умеют правильно ответить даже люди, изучавшие физику, — и читатель, надеемся, не посетует на нас, если мы объясним вкратце, в чем, собственно, заключается это действие воды на огонь.

Во-первых, прикасаясь к горящему предмету, вода превращается в пар, отнимая при этом много теплоты у горящего тела; чтобы превратить крутой кипяток в пар, нужно впятеро с лишком больше теплоты, чем для нагревания того же количества холодной воды до 100 градусов.

Во-вторых, пары, образующиеся при этом, занимают объем в сотни раз больший, чем породившая их вода; окружая горящее тело, пары оттесняют воздух, а без воздуха горение невозможно.

Чтобы увеличить огнегасительную силу воды, иногда примешивают к ней... порох! Это может показаться странным, однако это разумно: порох быстро сгорает, выделяя большое количество негорючих газов, которые, окружая собою горящие предметы, затрудняют горение.

## Как тушат огонь с помощью огня?

Вы слыхали, вероятно, что лучшее, а иной раз и единственное средство борьбы с лесным или степным пожаром — это поджигание леса или степи с противоположной стороны. Новое пламя идет навстречу бушующему морю огня и, уничтожая горючий материал, лишает огонь пищи; встретившись, обе огненные стены мгновенно гаснут, словно пожрав друг друга.

---

[1] Многие читатели предшествовавших изданий этой книги обращались ко мне с письмами, в которых выражали свое недоумение по поводу того, как можно пить в среде без тяжести — даже по сейчас указанному способу: ведь воздух в летящем снаряде невесом, следовательно — не производит давления, а при отсутствии давления нельзя пить, всасывая в себя жидкость. Странным образом, возражение это высказывалось и в печати некоторыми рецензентами. Между тем вполне очевидно, что невесомость воздуха при данных условиях нисколько не связана с отсутствием давления: воздух давит в замкнутом пространстве вовсе не потому, что он весóм, а потому, что, как тело газообразное, он стремится безгранично расшириться. В открытом пространстве на земной поверхности роль стенок, препятствующих расширению, играет тяжесть; эта привычная зависимость и ввела в заблуждение моих критиков. Газ в замкнутом пространстве не производит никакого давления только при температуре абсолютного нуля (около –273°), температуре, которой внутри вагона-снаряда, конечно, не было.

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

«Старик внезапно принял решительный вид.

— Настало время действовать, — сказал он.

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

— Вот как! Огонь! Не очень-то я боюсь его. Ну, молодцы, полно! Приложите-ка руки к этой высохшей траве и обнажите землю.

В очень короткое время было очищено место футов в двадцать в диаметре. Траппер вывел женщин на один край этого небольшого пространства, сказав, чтобы они прикрыли одеялами свои платья, легко могущие воспламениться. Приняв эти предосторожности, старик подошел к противоположному краю, где стихия окружала путников высоким, опасным кольцом, и, взяв щепотку самой сухой травы, положил ее на полку ружья и поджег. Легко воспламеняющееся вещество вспыхнуло сразу. Тогда старик бросил пылавшую траву в высокую заросль и, отойдя к центру круга, стал терпеливо ожидать результата своего дела.

Разрушительная стихия с жадностью набросилась на новую пищу, и в одно мгновение пламя стало лизать траву.

— Ну, — сказал старик, — теперь вы увидите, как огонь сразит огонь.

— Но неужели это не опасно? — воскликнул удивленный Миддльтон. — Не приближаете ли вы к нам врага, вместо того чтобы отдалять его?

Огонь, все увеличиваясь, начал распространяться в три стороны, замирая на четвертой вследствие недостатка пищи. По мере того как огонь увеличивался и бушевал все сильнее и сильнее, он очищал перед собой все пространство, оставляя черную дымящуюся почву гораздо более обнаженной, чем если бы трава на этом месте была скошена косой. Положение беглецов стало бы еще рискованнее, если бы очищенное ими место не увеличивалось по мере того, как пламя окружало его с остальных сторон. Через несколько минут пламя стало отступать во всех направлениях, оставляя людей окутанными облаком дыма, но в полной безопасности от потока огня, продолжавшего бешено нестись вперед.

Зрители смотрели на простое средство, употребленное траппером, с тем же изумлением, с каким, как говорят, царедворцы Фердинанда смотрели на способ Колумба поставить яйцо».

Этот прием тушения степных и лесных пожаров не так, однако, прост, как кажется с первого взгляда. Пользоваться встречным огнем для тушения пожара должен лишь человек очень опытный, — иначе бедствие может даже усилиться.

Вы поймете, какая для этого нужна сноровка, если зададите себе вопрос: почему огонь, зажженный траппером, побежал навстречу пожарищу, а не в обратном направлении? Ведь ветер дул со стороны пожарища, гоня огонь на путников! Казалось бы, пожар, причиненный траппером, должен был направиться не навстречу огненному морю, а назад по степи. Если бы так случилось, путники оказались бы окруженными огненным кольцом и неминуемо погибли бы.

В чем же заключался секрет траппера?

В знании простого физического закона. Хотя ветер дул по направлению от горящей степи к путникам, — но *впереди, близ огня*, должно было существовать обратное течение воздуха, *навстречу* пламени. В самом деле: нагреваясь над морем огня, воздух становится легче и вытесняется вверх притекающим со всех сторон свежим воздухом со степи, не затронутой пламенем. Близ границы огня устанавливается поэтому *тяга воздуха навстречу пламени*. Зажечь встречный огонь необходимо в тот именно момент, когда пожар приблизится достаточно, чтобы ощутилась тяга воздуха. Вот почему траппер не спешил приниматься за дело раньше времени, а спокойно ждал нужного момента. Стоило поджечь траву одной секундой ранее, когда встречная тяга еще не установилась, — и огонь распространился бы в обратном направлении, сделав положение людей безвыходным. Но и промедление могло быть не менее роковым, — огонь подошел бы чересчур близко.

### Можно ли воду вскипятить кипятком?

Возьмите небольшую бутылку (баночку или пузырек), налейте в нее воды и поместите в стоящую на огне кастрюлю с чистой водой так, чтобы склянка не касалась дна кастрюли; вам придется, конечно, подвесить этот пузырек на проволочной петле. Когда вода в *кастрюле* закипит, то, казалось бы, вслед за тем должна закипеть и вода в пузырьке. Можете, однако, ждать, сколько вам угодно, — вы не дождетесь этого: вода в пузырьке будет горяча, очень горяча, но кипеть не будет. Кипяток оказывается недостаточно горячим, чтобы вскипятить воду.

Результат как будто неожиданный, между тем его надо было предвидеть. Чтобы довести воду до кипения, недостаточно только нагреть ее до 100°С: надо еще, мы знаем, сообщить ей значительный запас тепла для того, чтобы перевести воду в другое агрегатное состояние, — в пар. Чистая вода кипит при 100°С; выше этой точки ее температура, при обычных условиях, не поднимается, сколько бы мы ни нагревали. Значит, источник теплоты, с помощью которого мы нагреваем воду в пузырьке, имеет температуру 100°; он может довести воду в пузырьке также только до 100°. Когда наступит это равенство температур, *дальнейшего перехода тепла от воды кастрюли к пузырьку не будет*. Итак, нагревая воду в пузырьке таким способом, мы не можем доставить ей того избытка теплоты, который необходим для перехода воды

в пар (каждый грамм воды, нагретый до 100°, требует еще свыше 500 калорий, чтобы перейти в пар). Вот почему вода в пузырьке хотя и нагревается, но не кипит.

Может возникнуть вопрос: чем же отличается вода в пузырьке от воды в кастрюле? Ведь в пузырьке та же вода, только отделенная от остальной массы стеклянной перегородкой; почему же не происходит с ней того же, что и с остальной водой?

Потому что перегородка мешает воде пузырька участвовать в тех течениях, которые перемешивают всю воду в кастрюле. Каждая частица воды в кастрюле может непосредственно коснуться накаленного дна, вода же пузырька соприкасается только с кипятком.

Итак, чистым кипятком вскипятить воду нельзя. Но стоит в кастрюлю всыпать горсть соли, — и дело меняется. Соленая вода кипит не при 100°, а немного выше, и, следовательно, может в свою очередь довести до кипения чистую воду в стеклянном пузырьке.

### Можно ли вскипятить воду снегом?

«Если уж крутой кипяток для этой цели непригоден, то что говорить о снеге!» — ответит иной читатель. Не торопитесь с ответом, а лучше проделайте опыт хотя бы с тем же стеклянным флаконом, который вы только что употребляли.

Налейте в него воды до половины и погрузите в кипящую *соленую воду*. Когда вода во флаконе закипит, выньте его из кастрюли и быстро закупорьте заранее приготовленной плотной пробкой. Теперь переверните флакон и ждите, пока кипение внутри него прекратится. Выждав этот момент, облейте флакон кипятком, — вода не закипит. Но положите на его донышко немного снегу или даже просто облейте его холодной водой, как показано на рис. 255, — и вы увидите, что вода закипит... Снег сделал то, чего не мог сделать кипяток!

Это тем более загадочно, что на ощупь флакон не будет особенно горяч, — лишь немного теплый. Между тем вы собственными глазами видите, как вода в нем кипит!

Разгадка в том, что снег охладил стенки флакона; вследствие этого пар внутри сгустился в водяные капли. А так как воздух из стеклянного флакона был выгнан еще при кипячении, то теперь вода подвержена в нем гораздо меньшему давлению. Из физики же известно, что при уменьшении давления на жидкость она кипит при температуре более низкой. Мы имеем, следовательно, в нашем флаконе хотя и кипяток, но *кипяток негорячий*.

Если стенки флакона очень тонки, то внезапное сгущение паров внутри него может вызвать нечто вроде взрыва; давление внешнего воздуха, не встречая достаточного противодействия изнутри флакона, способно раздавить его (вы видите, между прочим, что слово «взрыв» здесь неуместно).

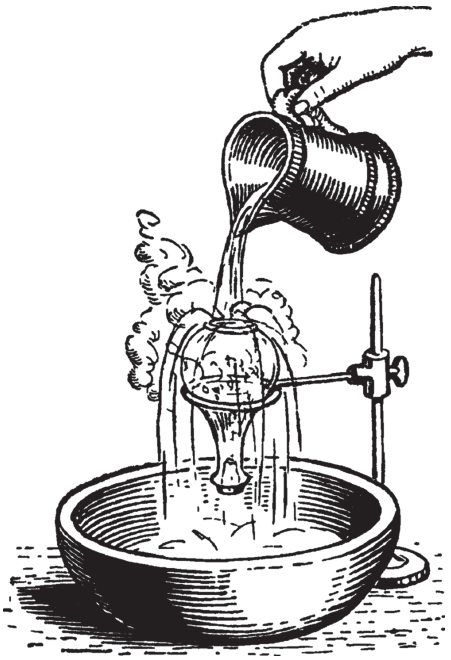


*Рис. 255. Закипание воды в колбе, обливаемой холодной водой.*

*Рис. 256. Неожиданный результат охлаждения жестянки.*

Лучше брать поэтому склянку круглую (колбу с выпуклым дном), чтобы воздух давил на свод.

Всего безопаснее производить подобный опыт с жестянкой для керосина, масла и т. п. Вскипятив в ней немного воды, завинтите плотно пробку и облейте посуду холодной водой. Тотчас же жестянка с паром сплющится давлением наружного воздуха, так как пар внутри нее превратится при охлаждении в воду. Жестянка будет измята давлением воздуха, словно по ней ударили тяжелым молотом (рис. 256).

## «Суп из барометра»

В книге «Странствования за границей» американский юморист Марк Твен так рассказывает об одном случае своего альпийского путешествия — случае, разумеется, вымышленном:

«Неприятности наши кончились; поэтому люди могли отдохнуть, а у меня, наконец, явилась возможность обратить внимание на научную сторону экспедиции.

Прежде всего я хотел определить посредством барометра высоту места, где мы находились, но, к сожалению, не получил никаких результатов. Из моих научных

*Рис. 257. «Ученые изыскания» Марка Твена.*

чтений я знал, что не то термометр, не то барометр следует кипятить для получения показаний. Который именно из двух, — я не знал наверное, и потому решил прокипятить оба. И все-таки не получил никаких результатов. Осмотрев оба инструмента, я увидел, что они вконец испорчены: у барометра была только одна медная стрелка, а в шарике термометра болтался комок ртути...

Я отыскал другой барометр; он был совершенно новый и очень хороший. Полчаса кипятил я его в горшке с бобовой похлебкой, которую варил повар. Результат получился неожиданный: инструмент совершенно перестал действовать, но суп приобрел такой сильный привкус барометра, что главный повар — человек очень умный — изменил его название в списке кушаний. Новое блюдо заслужило всеобщее одобрение, так что я приказал готовить каждый день суп из барометра. Конечно, барометр был совершенно испорчен, но я не особенно жалел о нем. Раз он не помог мне определить высоту местности, значит, он больше мне не нужен».

Отбросив шутки, постараемся ответить на вопрос: что же в самом деле следовало «кипятить»: термометр или барометр?

Термометр, — и вот почему. Из предыдущего опыта мы видели, что чем меньше давление на воду, тем ниже температура ее кипения. Так как с поднятием в горы атмосферное давление уменьшается, то должна вместе с тем понижаться и температура кипения воды. И действительно, наблюдаются следующие температуры кипения чистой воды при различных давлениях атмосферы:

| *Температура кипения* | *Барометрическое давление* | |
|---|---|---|
| 101° | 787,7 | мм |
| 100° | 760 | » |
| 98° | 707 | » |
| 96° | 657,5 | » |
| 94° | 611 | » |
| 92° | 567 | » |
| 90° | 525,5 | » |
| 88° | 487 | » |
| 86° | 450 | » |

В Берне (Швейцария), где среднее давление атмосферы 713 мм, вода в открытых сосудах кипит уже при 97½°, а на вершине Монблана, где барометр показывает 424 мм, кипяток имеет температуру всего 84½°. В общем, с поднятием на каждый километр температура кипения воды падает на 3°С. Значит, если мы измерим температуру, при которой кипит вода (по выражению Твена, — если «будем кипятить термометр»), то, *справившись в соответствующей таблице*, сможем узнать высоту места. Для этого необходимо, конечно, иметь в распоряжении заранее составленные таблицы, о чем Марк Твен будто бы забыл.

Употребляемые для этой цели приборы — так называемые гипсотермометры — не менее удобны для переноски, чем металлические барометры, и дают гораздо более точные показания. Появившийся недавно в Германии прибор такого рода, предназначенный для измерения атмосферного давления в шахтах, дает показания раз в двадцать более точные, чем металлический барометр.

Разумеется, и барометр может служить для определения высоты места, так как он прямо, без всякого «кипячения», показывает давление атмосферы: чем выше мы поднимаемся, тем давление меньше. Но и тут необходимы либо таблицы, показывающие, как уменьшается давление воздуха по мере поднятия над уровнем моря, либо знание соответствующей формулы. Все это будто бы смешалось в голове юмориста и побудило его «варить суп из барометра».

### Всегда ли кипяток горяч?

Бравый ординарец Бен-Зуф, — с которым читатель, без сомнения, давно познакомился по роману Жюля Верна «Гектор Сервадак», — был твердо убежден, что кипяток всегда и всюду одинаково горяч. Вероятно, он думал бы так всю жизнь, если бы случаю не угодно было забросить его вместе с командиром Сервадаком на... комету. Это капризное светило, столкнувшись с Землей, отрезало от нашей планеты как раз тот участок, где находились оба героя, и унесло их далее по своему эллиптическому пути. И вот тогда-то денщик впервые убедился на собственном опыте, что кипяток вовсе не всюду одинаково горяч. Сделал он это открытие неожиданно, готовя завтрак.

«Бен-Зуф налил воды в кастрюлю, поставил ее на плиту и ждал, когда закипит вода, чтобы опустить в нее яйца, которые казались ему пустыми, так они мало весили.

Менее чем через две минуты вода уже закипела.

— Черт побери! Как огонь греет теперь! — воскликнул Бен-Зуф.

— Не огонь греет сильнее, — ответил, подумав, Сервадак, — а вода закипает скорее.

И сняв со стены термометр Цельсия, он опустил его в кипящую воду.

Градусник показал только шестьдесят шесть градусов.

— Ого! — воскликнул офицер. — Вода кипит при шестидесяти шести градусах вместо ста!

— Итак, капитан?..

— Итак, Бен-Зуф, советую тебе продержать яйца в кипятке четверть часа.

— Но они будут крутые!

— Нет, дружище, они будут едва сварены.

Причиной этого явления было, очевидно, уменьшение высоты атмосферной оболочки. Воздушный столб над поверхностью почвы уменьшился приблизительно на одну треть, и вот почему вода, подверженная меньшему давлению, кипела при шестидесяти шести градусах вместо ста. Подобное же явление имело бы место на горе, высота которой достигает 11 000 м. И если бы у капитана был барометр, он указал бы ему это уменьшение воздушного давления».

Наблюдения наших героев мы не станем подвергать сомнению: они утверждают, что вода кипела при 66 градусах, и мы примем это как факт. Но весьма сомнительно, чтобы они могли чувствовать себя хорошо в той разреженной атмосфере, в которой они находились.

Автор «Сервадака» совершенно правильно замечает, что подобное явление наблюдалось бы на высоте 11 000 м: там вода, как видно из расчета[1], действительно должна кипеть при 66°. Но давление атмосферы при этом должно быть равно 190 мм ртутного столба, — ровно вчетверо меньше нормального. В воздухе, разреженном до такой степени, почти невозможно дышать! Ведь речь идет о высотах, находящихся уже в стратосфере! Мы знаем, что летчики, достигавшие такой высоты без масок, лишались сознания от недостатка воздуха, а между тем Сервадак и его ординарец чувствовали себя сносно. Хорошо, что у Сервадака под рукой не оказалось барометра: иначе романисту пришлось бы заставить этот инструмент показывать не ту цифру, которую он должен был бы показать согласно законам физики.

Если бы наши герои попали не на воображаемую комету, а, например, на Марс, где атмосферное давление не превышает 60–70 мм, им пришлось бы пить еще менее горячий кипяток — всего в 45 градусов!

---

[1] В самом деле, если — как мы сказали раньше (с. 367) — точка кипения воды падает на 3° с поднятием на каждый километр, то для понижения температуры кипения до 66° нужно подняться на 34 : 3 = около 11 км.

Наоборот, очень горячий кипяток можно получить на дне глубоких шахт, где давление воздуха значительно больше, чем на поверхности Земли. В шахте глубиною 300 м вода кипит при 101°, на глубине 600 м — при 102° и т. д.

При значительно повышенном давлении закипает вода и в котле паровой машины. Например, при 14 атмосферах вода закипает при 200 градусах! Напротив, под колоколом воздушного насоса можно заставить бурно кипеть воду при обыкновенной комнатной температуре, получая «кипяток» всего градусов в 20.

### Горячий лед

Сейчас шла речь о прохладном кипятке. Есть и еще более удивительная вещь: *горячий лед*. Мы привыкли думать, что вода в твердом состоянии не может существовать при температуре выше 0°. Исследования английского физика Бриджмена[1] показали, что это не так: под весьма значительным давлением вода переходит в твердое состояние и остается такой при температуре значительно выше 0°. Вообще Бриджмен показал, что может существовать не один сорт льда, а несколько. Тот лед, который он называет «льдом № 5», получается под чудовищным давлением в 20 600 атмосфер и остается твердым при температуре 76°С. Он обжег бы нам пальцы, если бы мы могли до него дотронуться. Но прикосновение к нему невозможно: лед № 5 образуется под давлением мощного пресса в толстостенном сосуде из лучшей стали. Увидеть его или взять в руки нельзя, и о свойствах «горячего льда» физики узнают лишь косвенным образом.

Любопытно, что «горячий лед» плотнее обыкновенного, плотнее даже воды: его удельный вес 1,05. Он тонет в воде, между тем как обыкновенный, «холодный» лед на ней плавает.

### Холод из угля

Получение из угля не жара, а, напротив, холода не является чем-то несбыточным: оно каждодневно осуществляется на заводах так называемого сухого льда. Имеется такой завод и в СССР — недалеко от Москвы (в Филях). Донецкий уголь сжигается здесь в котлах, а образующийся дым очищается, причем содержащийся в нем углекислый газ улавливается щелочным раствором. Выделяемый затем в чистом виде путем нагревания углекислый газ при последующем охлаждении и сжатии переводится в жидкое состояние под давлением 70 атмосфер. Это — та жидкая углекислота, которая в толстостенных баллонах доставляется на заводы шипучих напитков и употребляется для ряда промышленных надобностей. Она достаточно холодна, чтобы заморозить

[1] *Бриджмен Перси* (1882–1961) — американский физик и философ, основатель физики высоких давлений (*примеч. ред.*).

грунт, как делалось при сооружении московского метро; но для многих целей требуется располагать углекислотой в твердом виде, тем, что называется *сухим льдом*.

Сухой лед, т. е. твердая углекислота, получается из жидкой при быстром ее испарении под уменьшенным давлением. Куски сухого льда по внешности напоминают скорее прессованный снег, нежели лед, и вообще во многом отличаются от твердой воды. Углекислый лед тяжелее обыкновенного льда и тонет в воде. Несмотря на чрезвычайно низкую температуру (–78°), холод его не ощущается пальцами, если бережно взять кусок в руки: образующийся при соприкосновении с нашим телом углекислый газ защищает кожу от действия холода. И только сильно сжав брусок сухого льда, мы рискуем отморозить пальцы.

Название «сухой лед» чрезвычайно удачно подчеркивает главную физическую особенность этого льда. Он действительно никогда мокрым не бывает и ничего не увлажняет кругом себя. Под влиянием теплоты он переходит сразу в газ, минуя жидкое состояние: существовать в жидком виде углекислота под давлением в одну атмосферу не может.

Эта особенность сухого льда вместе с его низкой температурой делает его незаменимым охладительным веществом для практических надобностей. Продукты, сохраняемые при помощи углекислого льда, не только не увлажняются, но защищаются от порчи еще и тем, что образующийся углекислый газ является средой, препятствующей развитию микроорганизмов; поэтому на продуктах, так сохраняемых, не появляется плесени и многих видов бактерий. Насекомые и грызуны также не могут жить в такой атмосфере. Наконец, углекислота является надежным противопожарным средством: несколько кусков сухого льда, брошенные в горящий бензин, гасят огонь. Все это обещает сухому льду в будущем самое широкое применение в промышленности и в домашнем обиходе. В Москве летом 1936 г. уже продавалось мороженое в виде пакетиков с кусочком сухого льда при них.

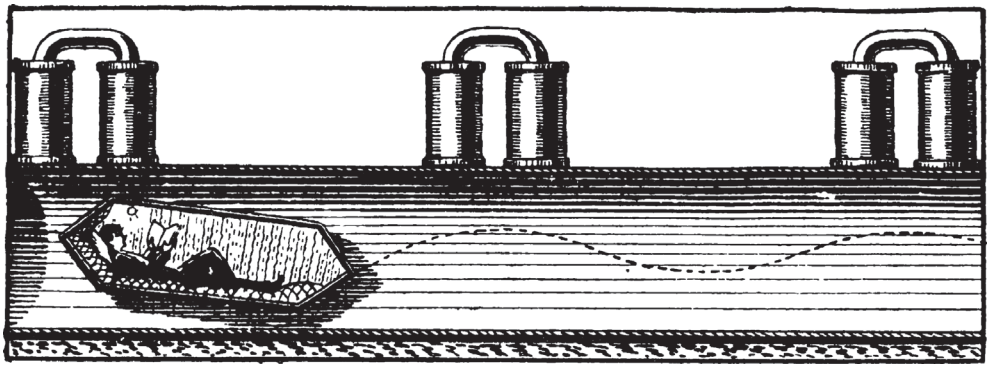


*Рис. 258. Вагон, мчащийся без трения.*
*Дорога, проектированная проф. Б. П. Вейнбергом.*

## *ГЛАВА ВОСЬМАЯ*

## МАГНЕТИЗМ — ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

### «Любящий камень»

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

Сила этой «*любви*» у естественных *магнитов* незначительна, и потому очень наивно звучит греческое название магнита — «геркулесов камень». Если обитатели древней Эллады так поражались умеренной силой притяжения естественного магнита, то что сказали бы они, увидев на современном металлургическом заводе магниты, поднимающие глыбы в целые тонны весом! Правда, это не естественные магниты, а «электромагниты», т. е. железные массы, намагниченные электрическим током, проходящим по окружающей их обмотке. Но в обоих случаях действует одна и та же сила природы — магнетизм.

Не следует думать, что магнит действует только на железо. Есть ряд других тел, которые тоже испытывают на себе действие сильного магнита, хотя и не в такой степени, как железо. Металлы: никель, кобальт, марганец, платина, золото, серебро, алюминий — в слабой степени притягиваются магнитом.

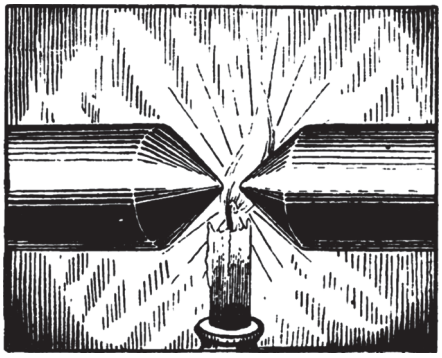


*Рис. 259. Пламя свечи между полюсами электромагнита.*

Еще замечательнее свойства так называемых диамагнитных тел, например цинка, свинца, серы, висмута: эти тела отталкиваются от сильного магнита!

Жидкости и газы также испытывают на себе притяжение или отталкивание магнита, — правда, в весьма слабой степени; магнит должен быть очень силен, чтобы проявить свое влияние на эти вещества. Чистый кислород, например, парамагнитен, т. е. притягивается магнитом; если наполнить кислородом мыльный пузырь и поместить его между полюсами сильного электромагнита, пузырь заметно вытянется от одного полюса к другому, растягиваемый невидимыми магнитными силами. Пламя свечи между концами сильного магнита изменяет свою обычную форму, явно обнаруживая чувствительность к магнитным силам (рис. 259). Свойством сильного магнита отклонять пламя пользуются при электродуговой сварке: дугу отклоняют к свариваемому шву электромагнитом.

### Задача о компасе

Мы привыкли думать, что стрелка компаса всегда обращена одним концом на север, другим — на юг. Нам покажется поэтому совершенно несуразным следующий вопрос:

Где на земном шаре магнитная стрелка показывает на север *обоими* концами?

И еще нелепее прозвучит вопрос:

Где на земном шаре магнитная стрелка обоими концами показывает на юг?

Вы готовы утверждать, что подобных мест на нашей планете нет и быть не может. Однако же они существуют.

Вспомните, что магнитные полюсы Земли не совпадают с ее географическими полюсами — и вы, вероятно, сами догадаетесь, о каких местах нашей планеты идет в задаче речь. Куда будет показывать стрелка компаса, помещенная на Южном географическом полюсе? Один ее конец будет направлен в сторону ближайшего магнитного полюса, другой — в противоположную. Но в какую бы сторону ни идти от Южного географического полюса, мы всегда будем направляться на *север*; другого направления от Южного географического полюса нет, — кругом него всюду север. Значит, помещенная там магнитная стрелка будет показывать север обоими концами.

Точно так же — читатель сам поймет, почему — стрелка компаса, перенесенного на Северный географический полюс, обоими концами должна показывать на юг.

### Линии магнитных сил

Любопытную картину изображает рис. 260, воспроизведенный с фотографического снимка: от руки, положенной на полюсы электромагнита, торчат вверх пучки крупных гвоздей, словно жесткие волосы. Сама по себе рука совершенно не ощущает магнитной силы: невидимые нити проходят сквозь нее, ничем не выдавая своего присутствия. А железные гвозди послушно подчиняются ее воздействию и располагаются в определенном порядке, обнаруживая перед нами направление магнитных сил, идущих кривыми линиями от одного полюса к другому.

У человека нет магнитного органа чувств; поэтому о существовании тех магнитных сил, которые окружают каждый магнит, мы можем лишь догадываться[1]. Однако нетрудно косвенным образом обнаружить картину распределения этих сил. Лучше всего сделать это с помощью мелких железных опилок. Насыпьте опилки тонким ровным слоем на кусок гладкого картона или на стеклянную пластинку; подведите под картон или пластинку обыкновенный магнит и встряхивайте опилки легкими ударами.

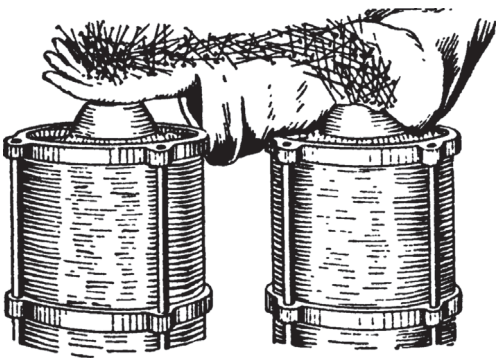


*Рис. 260. Магнитные силы проходят через руку.*

[1] Небезынтересно представить себе, что переживали бы мы, если бы обладали непосредственным магнитным чувством. Крейдлю удалось, так сказать, привить ракам род магнитного чувства. Он заметил, что молодые раки засовывают себе в ухо маленькие камешки; эти камешки своим весом действуют на чувствительный волосок, являющийся составной частью органа равновесия рака. Подобные же камешки, называемые отолитами, имеются и в ухе человека, поблизости от основного органа слуха. Действуя в направлении вертикали, эти камешки указывают направление силы тяжести. Вместо камешков Крейдль подложил ракам железные опилки, чего они не заметили. При поднесении магнита к раку последний располагался в плоскости, перпендикулярной к слагающей из магнитной силы и силы тяжести.

«В последнее время соответствующие опыты в измененной форме удалось произвести и над человеком. Келер приклеивал небольшие железные частицы к ушной барабанной перепонке; благодаря этому ухо воспринимало колебания магнитной силы как звук» (проф. О. Винер).

[*Крейдль Алоиз* (1864–1928) — австрийский физиолог, один из самых успешных исследователей в области физиологии центральной нервной системы. *Кёлер Вольфганг* (1887–1967) — немецко-американский психолог, один из лидеров гештальт-психологии. *Винер Отто* (1862–1927) — немецкий физик, автор трудов в области оптики и электромагнитных полей (*примеч. ред.*).]

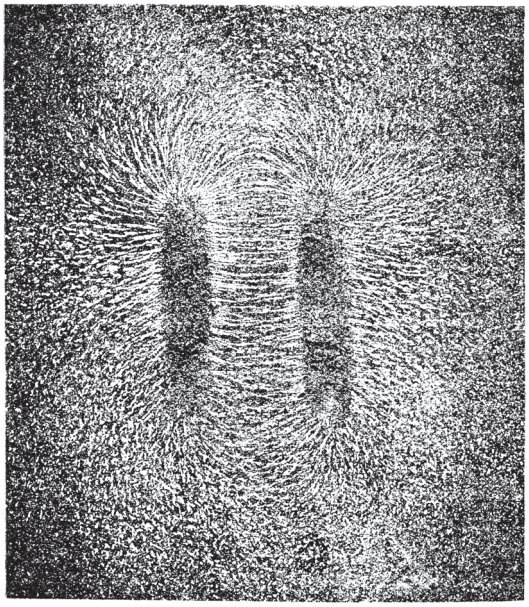


*Рис. 261. Расположение железных опилок на картоне, покрывающем полюсы магнита. (С фотографии.)*

Магнитные силы свободно проходят сквозь картон и стекло; следовательно, железные опилки под действием магнита намагнитятся; когда мы встряхиваем их, они на мгновение отделяются от пластинки и могут под действием магнитных сил легко повернуться, заняв то положение, которое приняла бы в данной точке магнитная стрелка, т. е. вдоль магнитной «силовой линии». В результате опилки располагаются кривыми рядами, наглядно обнаруживая распределение невидимых магнитных линий (так называемый магнитный спектр).

Поместим над магнитом нашу пластинку с опилками и встряхнем ее. Мы получим фигуру, изображенную на рис. 261. Магнитные силы создают сложную систему изогнутых линий. Вы видите, как они лучисто расходятся от каждого полюса магнита, как соединяются между собой, образуя то короткие, то длинные дуги между обоими полюсами. Железные опилки воочию показывают здесь то, что мысленно рисует перед собою физик и что невидимым образом присутствует вокруг каждого магнита. Чем ближе к полюсу, тем линии опилок гуще и четче; напротив, с удалением от полюса они разрежаются и утрачивают свою отчетливость, — наглядное доказательство ослабления магнитных сил с расстоянием.

### Как намагничивается сталь?

Чтобы ответить на этот вопрос, который часто задают читатели, надо разъяснить прежде всего, чем отличается магнит от немагнитного бруска стали. Каждый атом железа, входящего в состав стали — намагниченной или ненамагниченной — мы должны представлять себе как маленький магнитик. В стали ненамагниченной эти атомные магнитики расположены беспорядочно, так что действие каждого уничтожается противоположным действием обратно расположенного магнитика (рис. 262, *А*). Напротив, в магните все элементарные магнитики расположены упорядоченно, одноименными полюсами в одном и том же направлении, как показано на рис. 262, *В*.

Что же происходит в куске стали, когда его натирают магнитом? Силою своего притяжения магнит поворачивает все элементарные магнитики стального бруска одноименными полюсами в одну и ту же сторону. Рис. 262, *C* наглядно показывает, как это происходит: элементарные магнитики поворачиваются сначала южными полюсами к северному полюсу магнита, а затем, когда магнит отводится далее, располагаются вдоль по направлению его движения, южными полюсами к середине бруска.

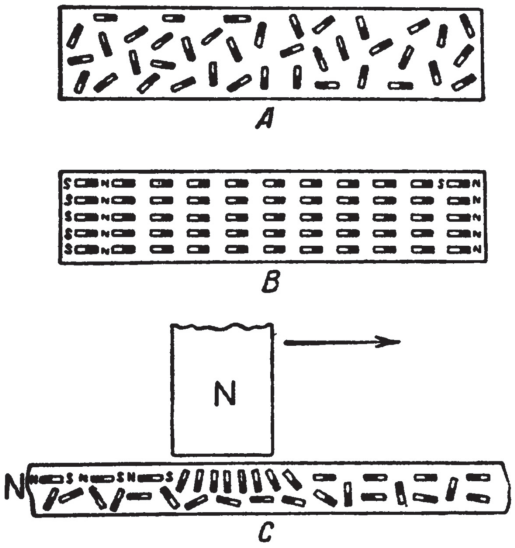



*Рис. 262. A — расположение атомных магнитиков в ненамагниченной полоске стали. B — то же в намагниченной стали. C — действие полюса на атомные магнитики намагничиваемой стали.*

Отсюда легко вывести, как надо действовать магнитом при намагничивании бруска стали: надо приставить к концу бруска один полюс магнита и, плотно прижимая, вести магнит вдоль бруска. Дойдя до середины — до безразличной линии будущего магнита, — поворачивают постоянный магнит другим полюсом к бруску и ведут дальше до противоположного конца. Это один из простейших и древнейших приемов намагничивания, годный, однако, для получения лишь слабых магнитов небольшого размера. Сильные магниты изготавливаются с помощью электрического тока.

Интересующиеся подробностями изготовления магнитов могут найти полезные указания в книге Б. А. Введенского «Постоянные магниты и их изготовление» (ГИЗ, 1922).

### Исполинские электромагниты

На железоделательных заводах можно видеть электромагнитные подъемные краны, переносящие огромные грузы. Такие краны оказывают при подъеме и перемещении железных масс неоценимые услуги на сталелитейных и тому подобных заводах. Массивные железные глыбы или части машин в десятки тонн весом с удобством переносятся этими магнитными подъемными кранами без прикрепления. Точно так же переносят они без ящиков и упаковки листовое железо, проволоку, гвозди, железный лом и другие материалы, переноска которых иным способом потребовала бы немало хлопот.

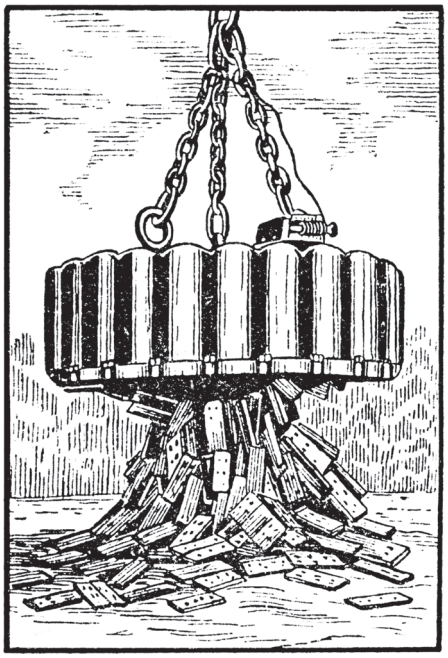


*Рис. 263. Электромагнитный подъемный кран, переносящий железные плитки.*

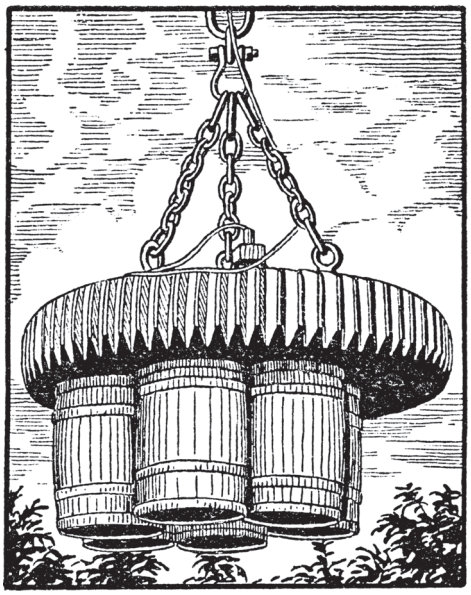


*Рис. 264. Электромагнитный подъемный кран, переносящий бочки с гвоздями.*

На рис. 263 и 264 вы видите перед собою эту полезную службу магнита. Как хлопотливо было бы собирать и переносить кучу железных плиток, которую разом собрал и перенес могучий магнитный подъемный кран, изображенный на рис. 263; здесь выгода не только в экономии сил, но и в упрощении самой работы. На рис. 264 вы видите, как магнитный кран переносит даже упакованные в бочках гвозди, сразу поднимая по шесть бочек! На металлургическом заводе им. Рыкова недавно введены в работу четыре магнитных крана, каждый из которых может переносить сразу десять рельсов; краны заменяют ручной труд двухсот рабочих. Не надо заботиться о прикреплении этих тяжестей к подъемному крану, нечего опасаться, что груз обрушится и задавит кого-либо: пока идет ток в обмотке электромагнита, до тех пор ни один осколок не упадет с него. Невидимые нити магнитных сил надежнее, чем крепкие болты и цепи.

Но если ток в обмотке почему-либо прервется, авария неизбежна. Такие случаи вначале бывали.

«На одном американском заводе, — читаем мы в техническом журнале, — электромагнит поднимал железные болванки, подвозимые в вагонах, и бросал их в печь. Внезапно на электростанции Ниагарского водопада, подающей ток, что-то случилось, ток был прерван; масса металла сорвалась с электромагнита и всей своей

тяжестью обрушилась на голову рабочего. Чтобы избежать повторения подобных несчастных случаев, а также с целью сэкономить потребление электрической энергии, при электромагнитах устраиваются особые приспособления. После того как переносимые предметы подняты магнитом, сбоку опускаются и плотно закрываются прочные стальные подхватки, которые затем сами поддерживают груз, ток же во время транспортировки прерывается».

Поперечник тех электромагнитов, которые изображены на рис. 263 и 264, достигает 1½ м; каждый магнит способен поднять до 16 т (товарный вагон). Один такой магнит переносит за сутки более 600 т груза. Есть электромагниты, способные поднять сразу до 75 т, т. е. целый паровоз!

При взгляде на такую работу электромагнитов у иного читателя, быть может, мелькнула мысль: как удобно было бы переносить при помощи магнитов *раскаленные* железные болванки! К сожалению, это возможно только до известной температуры — не более 350°, — так как *раскаленное железо не намагничивается*. Нагретый до 800° магнит утрачивает магнитные свойства.

Современная техника металлообработки широко пользуется электромагнитами для удержания и продвижения стальных, железных и чугунных изделий. Сконструированы сотни различных патронов, столов и других приспособлений, значительно упрощающих и ускоряющих обработку. Следует также упомянуть об исполинском электромагните, изготовленном заводом «Электросила» и предназначенном для установки по расщеплению ядра атома.

### Магнитные фокусы

Силой электромагнитов пользуются иногда и фокусники; легко представить, какие эффектные трюки проделывают они с помощью этой невидимой силы. Дари, автор известной книги «Электричество в его применениях», приводит следующий рассказ одного французского фокусника о представлении, данном им в Алжире. На невежественных зрителей фокус произвел впечатление настоящего чародейства.

«На сцене, — рассказывает фокусник, — находится небольшой окованный ящик с ручкой на крышке. Я вызываю из зрителей человека посильнее. В ответ на мой вызов выступил араб среднего роста, но крепкого сложения, представляющий собой аравийского геркулеса. Выходит он с бодрым и самонадеянным видом и, немного насмешливо улыбаясь, останавливается около меня.

— Очень вы сильны? — спросил я его, оглядев с ног до головы.

— Да, — отвечал он небрежно.

— Уверены ли вы, что всегда останетесь сильным?

— Совершенно уверен.

— Вы ошибаетесь: в одно мгновение ока я могу отнять у вас силу, и вы сделаетесь слабым, подобно малому ребенку.

Араб презрительно улыбнулся в знак недоверия к моим словам.

— Подойдите сюда, — сказал я, — и поднимите ящик.

Араб нагнулся, поднял ящик и высокомерно спросил:

— Больше ничего?

— Подождите немножко, — отвечал я.

Затем, приняв серьезный вид, я сделал повелительный жест и произнес торжественным тоном:

— Вы теперь слабее женщины. Попробуйте снова поднять ящик.

Силач, нисколько не устрашась моих чар, опять взялся за ящик, но на этот раз ящик оказывает сопротивление и, несмотря на отчаянные усилия араба, остается неподвижным, словно прикованный к месту. Араб силится поднять ящик с такой силой, которой хватило бы для поднятия огромной тяжести, но все напрасно. Утомленный, запыхавшись и сгорая от стыда, он наконец останавливается. Теперь он начинает верить в силу чародейства и раздумывает, не бросить ли старания. Но это значило бы признать себя побежденным, сознаться в собственной слабости, а он всегда славился своей силой. Отныне все будут его считать слабым, как ребенок, — эта мысль приводит его в ярость; он собирает все силы и, поощряемый взглядами и словами друзей, решается доказать, что сына пустыни не так легко победить. Он снова нагибается, чтобы поднять ящик. Крепкие руки схватились за ручки ящика, а ноги, подобно бронзовым колоннам, служат опорой для отчаянной попытки. Казалось, ящик не выдержит такого напора и разлетится вдребезги. Но происходит странное явление: самоуверенный силач вдруг поник головой, его руки остаются прикованными к ящику и не могут оторваться из-за сильных судорог мускулов; ноги его дрожат, и наконец он с болезненным криком падает на колени.

Дело в том, что по моему знаку помощник мой в этот момент пропустил сильный ток в ручку ящика; сильный электрический разряд и был причиной корчи бедного араба. Продолжать его страдания было жестоко; я подал вторичный знак, и ток был прекращен. Несчастный силач, освободившись от страшного положения, в котором находился, поднял руки к небу. «Аллах! Аллах!» — произнес он, дрожа от страха, затем поспешно завернулся в бурнус, как бы желая скрыть свое смущение, и порывисто бросился, расталкивая зрителей, к дверям зала».

Секрет чародейства представителя «цивилизаторов» был прост. Железное дно ящика помещено на подставке, представляющей полюс сильного электромагнита. Пока тока нет, ящик поднять нетрудно; но стоит пустить ток в обмотку электромагнита, чтобы ящик нельзя было оторвать усилиями 2–3 человек.

### Магнит в физкультуре

Неожиданное применение нашел себе сильный магнит в физкультуре: тяжелоатлеты в Америке тренируются на электромагнитном аппарате, изображенном на рис. 265. Электромагнит, употребляемый для подъемных кранов, подвешивается на некоторой высоте над полом, немного выше человеческого

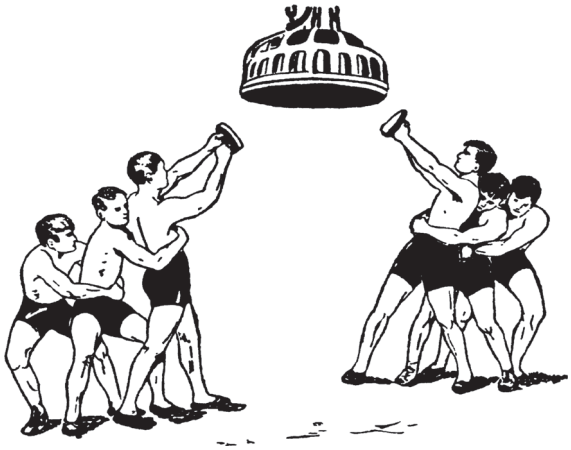


*Рис. 265. Применение сильного магнита в физкультуре.*

роста, а атлет, держа в руках железный утюг, стремится побороть магнитное притяжение. В зависимости от тока, который регулируется тренером, притяжение бывает различно и может достигать такой силы, что атлет, не желающий выпустить утюга из рук, рискует повиснуть на магните, если товарищи соединенными усилиями не помогут ему удержаться на месте.

### Магнит в земледелии

Еще любопытнее та полезная служба, которую несет магнит в сельском хозяйстве, помогая земледельцу очищать семена культурных растений от семян сорняков. Сорняки обладают ворсистыми семенами, цепляющимися за шерсть проходящих мимо животных и благодаря этому распространяющимися далеко от материнского растения. Этой особенностью сорняков, выработавшейся у них в течение миллионов лет борьбы за существование, воспользовалась сельскохозяйственная техника для того, чтобы отделить с помощью магнита шероховатые семена сорняков от гладких семян таких полезных растений, как лен, клевер, люцерна. Если засоренные семена культурных растений обсыпать железным порошком, то крупинки железа плотно облепят семена сорняков, но не пристанут к гладким семенам полезных растений. Попадая затем в поле действия достаточно сильного электромагнита, смесь семян автоматически разделяется на чистые семена и на сорную примесь: магнит вылавливает из смеси все те семена, которые облеплены железными опилками.

Такой «магнитный сепаратор» для очистки семян льна, клевера, люцерны сооружен недавно в СССР Институтом механизации и электрификации сельского хозяйства; машина пропускает около полутонны семян в час.

### Магнитная летательная машина

В начале этой книги я ссылался на занимательное сочинение старинного французского писателя Сирано де Бержерака «История государств на Луне и Солнце». В ней, между прочим, описана любопытная летательная машина, действие которой основано на магнитном притяжении и с помощью которой один из героев повести прилетел на Луну. Привожу это место сочинения дословно:

«Я приказал изготовить легкую железную повозку; войдя в нее и устроившись удобно на сиденье, я стал подбрасывать высоко над собой магнитный шар. Железная повозка тотчас же поднималась вверх. Каждый раз, как я приближался к тому месту, куда меня притягивал шар, я снова подбрасывал его вверх. Даже когда я просто приподнимал шар в руках, повозка поднималась, стремясь приблизиться к шару. После многократного бросания шара вверх и поднятия повозки я приблизился к месту, откуда началось мое падение на Луну. И так как в этот момент я крепко держал в руках магнитный шар, повозка прижималась ко мне и не покидала меня. Чтобы не разбиться при падении, я подбрасывал свой шар таким образом, чтобы падение повозки замедлялось его притяжением. Когда я был уже всего в двух-трех сотнях саженей от лунной почвы, я стал бросать шар под прямым углом к направлению падения, пока повозка не оказалась совсем близко к почве. Тогда я выпрыгнул из повозки и мягко опустился на песок».

Никто, конечно, — ни автор романа, ни читатели его книги — не сомневается в полной непригодности описанной летательной машины. Но не думаю, чтобы многие умели правильно сказать, в чем, собственно, кроется причина неосуществимости этого проекта: в том ли, что нельзя подкинуть магнит, находясь в железной повозке, в том ли, что повозка не притянется к магниту, или в чем-либо ином?

Нет, подбросить магнит можно, и он подтянул бы повозку, если достаточно силен, — а все-таки летательная машина нисколько не подвигалась бы вверх.

Случалось ли вам бросать тяжелую вещь с лодки на берег? Вы, без сомнения, замечали при этом, что сама лодка отодвигается назад от берега. Ваши мускулы, сообщая бросаемой вещи толчок в одном направлении, отталкивают одновременно ваше тело (а с ним и лодку) в обратном направлении. Здесь проявляется тот закон равенства действующей и противодействующей сил, о котором нам не раз уже приходилось говорить. При бросании магнита происходит то же самое: седок, подкидывая магнитный шар вверх (с большим усилием, — потому что шар притягивается к железной повозке), неизбежно отталкивает всю повозку вниз. Когда же затем шар и повозка снова сближаются взаимным притяжением, они только возвращаются на первоначальные места. Ясно, следовательно, что если бы даже повозка ничего не весила, то бросанием магнитного шара можно было бы сообщить ей только колебания вокруг некоторого среднего положения; заставить же ее таким способом двигаться поступательно невозможно.

Во времена Сирано (в середине XVII века) закон действия и противодействия еще не был провозглашен; сомнительно поэтому, чтобы французский сатирик мог отчетливо объяснить несостоятельность своего шутливого проекта.

### Наподобие «магометова гроба»

Любопытный случай наблюдался однажды при работе с электромагнитным подъемным *краном*. Один из рабочих заметил, что электромагнитом был притянут тяжелый железный шар с короткой цепью, которая не дала шару вплотную приблизиться к магниту: между шаром и магнитом оставался промежуток в ладонь шириною. Получилась необычайная картина: цепь, торчащая отвесно вверх! Сила магнита оказалась так велика, что цепь сохранила свое вертикальное положение, даже когда на ней повис рабочий[1]. Оказавшийся поблизости фотограф поспешил запечатлеть на пластинке столь интересный момент, и мы приводим здесь этот рисунок человека, висящего в воздухе наподобие легендарного магометова гроба (рис. 266).

*Рис. 266. Железная цепь с грузом, торчащая вверх.*

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

Возможно ли это?

«Повествуют, — писал Эйлер в своих „Письмах о разных физических материях“, — будто гробницу Магомета держит сила некоторого магнита; это кажется не невозможным, потому что есть магниты, искусством сделанные, которые поднимают до 100 фунтов»[2].

Такое объяснение несостоятельно; если бы указанным способом (т. е. пользуясь *притяжением* магнита) подобное равновесие было достигнуто

[1] Это указывает на огромную силу электромагнита, потому что притягательное действие магнитов значительно ослабевает с увеличением расстояния между полюсом и притягиваемым телом. Подковообразный магнит, удерживающий при непосредственном соприкосновении груз в сотню граммов, уменьшает свою подъемную силу вдвое, когда между ним и грузом вводится листок бумаги. Вот почему концы магнита обычно не покрывают краской, хотя она и предохранила бы их от ржавчины.

[2] Писано в 1774 г., когда электромагниты еще не были известны.

на один момент, то малейшего толчка, малейшего дуновения воздуха было бы достаточно, чтобы его нарушить, — и гроб либо упал бы на пол, либо подтянулся бы к потолку. Удержать его неподвижно так же невозможно практически, как поставить конус на его вершине, хотя теоретически последнее и допустимо.

Впрочем, явление «магометова гроба» вполне можно воспроизвести и с помощью магнитов, — но только пользуясь не взаимным их *притяжением*, а напротив — взаимным *отталкиванием*. (О том, что магниты могут не только притягиваться, но и отталкиваться, часто забывают даже люди, еще недавно изучавшие физику. Когда в ленинградском Павильоне занимательной науки мне случалось показывать публике явление отталкивания магнитов, — это обычно вызывало возгласы крайнего изумления.) Как известно, одноименные полюсы магнитов взаимно отталкиваются. Два намагниченных бруска, расположенных так, что их одноименные полюсы приходятся один над другим, отталкиваются; подобрав вес верхнего бруска надлежащим образом, нетрудно добиться того, чтобы он витал над нижним, держась без прикосновения к нему, в устойчивом равновесии. Надо лишь стойками из немагнитного материала — например, стеклянными — предупредить возможность поворота верхнего магнита в горизонтальной плоскости. В подобной обстановке мог бы витать в воздухе и легендарный гроб Магомета.

Наконец, явление этого рода осуществимо и силою магнитного *притяжения*, если добиваться его для тела движущегося. На этой мысли основан замечательный проект электромагнитной железной дороги *без трения* (см. рис. 258), предложенный советским физиком проф. Б. П. Вейнбергом[1]. Проект настолько поучителен, что каждому интересующемуся физикой полезно с ним познакомиться.

### Электромагнитный транспорт

В железной дороге, которую предлагал 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 на воде, даже не скользят в воздухе, — они летят без всякой опоры, не прикасаясь ни к чему, вися на невидимых нитях могучих магнитных сил. Они не испытывают ни малейшего трения и, следовательно, будучи раз приведены в движение, сохраняют по инерции свою колоссальную скорость, не нуждаясь в работе локомотива.

---

[1] *Вейнберг Борис Петрович* (1871–1942) — российский и советский физик, гляциолог, автор ряда изобретений по гелиотехнике; создал прибор для измерения напряженности магнитного поля, проекты летательных аппаратов, описываемого вакуумного поезда и др. (*примеч. ред.*).

Осуществляется это следующим образом. Вагоны движутся внутри медной трубы, из которой выкачан воздух, чтобы его сопротивление не мешало движению вагонов. Трение о дно уничтожается тем, что вагоны движутся, *не касаясь стенок трубы*, поддерживаемые в пустоте силою электромагнитов. С этой целью вдоль всего пути над трубою расставлены, в определенных расстояниях друг от друга, очень сильные электромагниты. Они притягивают к себе *железные* вагоны, движущиеся внутри трубы, и мешают им падать. Сила магнитов рассчитана так, что железный вагон, проносящийся в трубе, все время остается между ее «потолком» и «полом», не прикасаясь ни к тому, ни к другому. Электромагнит подтягивает проносящийся под ним вагон вверх, — но вагон не успевает удариться о потолок, так как его влечет сила тяжести; едва он готов коснуться пола, его поднимает притяжение следующего электромагнита... Так, подхватываемый все время электромагнитами, вагон мчится по волнистой линии без трения, без толчков, в пустоте, как планета в мировом пространстве.

Что же представляют собой вагоны? Это — сигарообразные цилиндры высотой 90 см, длиной около 2½ м. Конечно, вагон герметически закрыт — ведь он движется в безвоздушном пространстве — и подобно подводным лодкам снабжен аппаратами для автоматической очистки воздуха.

Способ отправления вагонов в путь также совершенно отличен от всего, что применялось до сих пор: его можно сравнить разве только с пушечным выстрелом. И действительно, вагоны эти буквально «выстреливаются», как ядра, — только «пушка» здесь электромагнитная. Устройство станции отправления основано на свойстве спирально закрученной, в форме катушки, проволоки («соленоида») при прохождении тока втягивать в себя железный стержень; втягивание происходит с такой стремительностью, что стержень при достаточной длине обмотки и силе тока может приобрести огромную скорость. В новой магнитной дороге эта-то сила и будет выбрасывать вагоны. Так как внутри туннеля трения нет, то скорость вагонов не уменьшается, — они мчатся по инерции, пока их не задержит соленоид станции назначения.

Вот несколько подробностей, приводимых автором проекта:

«Опыты, которые я ставил в 1911–1913 гг. в физической лаборатории Томского технологического института, производились с медной трубой (32 см диаметром), над которой находились электромагниты, а под ними на подставке вагончик — кусок железной трубы с колесами спереди и сзади и с «носом», которым он для остановки ударялся в кусок доски, опиравшийся о мешок с песком. Вагончик этот весил 10 кг. Можно было придать вагончику скорость около 6 км в час, выше которой при ограниченности размеров комнаты и кольцевой трубы (диаметр кольца был 6½ м) нельзя было идти. Но в разработанном мною проекте при трехверстной длине соленоидов на станции отправления скорость легко довести до 800–1000 км в час, а благодаря отсутствию воздуха в трубе и отсутствию трения о пол или потолок не надо тратить никакой энергии для ее поддержания.

Несмотря на большую стоимость сооружений и, в особенности, самой медной трубы, все же благодаря отсутствию трат на мощность для *поддержания* скорости, на каких-либо машинистов, кондукторов и т. п., стоимость километра — от нескольких тысячных до 1–2 сотых копейки; а пропускная способность двутрубного пути — 15 000 пассажиров или 10 000 тонн в сутки в одном направлении».

Идея проф. Б. П. Вейнберга в видоизмененном виде нашла себе практическое применение в Московском почтамте для передвижения легких грузов. Длина опытного участка 120 м; скорость передвижения 30 м/с. Подобная же электромагнитная почта устраивается в Ленинградской Публичной библиотеке для передачи читательских заказов[1].

## Сражение марсиан с земножителями

Естествоиспытатель Древнего Рима Плиний передает распространенный в его время рассказ о магнитной скале где-то в Индии, у берега моря, которая с необычайной силой притягивала к себе всякие железные предметы. Горе моряку, дерзнувшему приблизиться на своем корабле к этой скале. Она вытянет из судна все гвозди, винты, железные скрепы, — и корабль распадется на отдельные доски.

Конечно, это не более как легенда. Мы знаем теперь, что магнитные горы, т. е. горы, богатые магнитным железняком, действительно существуют, — вспомним знаменитую Магнитную гору, где высятся теперь домны Магнитогорска. Однако сила притяжения подобных гор чрезвычайно мала, почти ничтожна. А таких гор или скал, о каких писал Плиний, на земном шаре никогда не существовало.

Если в настоящее время и строятся суда без железных и стальных частей, то делается это не из боязни магнитных скал, а для удобного изучения земного магнетизма. У нас в Главсевморпути проектируется теперь такой корабль, не подверженный действию магнитных сил; во всех его скреплениях, в двигателе, в якорях сталь и железо будут заменены медью, бронзой, алюминием и другими немагнитными металлами.

Научный романист Курт Лассвиц воспользовался идеей легенды Плиния, чтобы придумать грозное военное оружие, к которому в его романе «На двух планетах» прибегают пришельцы с Марса в борьбе с земными армиями. Располагая таким магнитным (вернее, электромагнитным) оружием, марсиане даже не вступают в борьбу с земными жителями, а обезоруживают их еще до начала сражения.

Вот как описывает романист этот эпизод сражения между марсианами и земножителями.

---

[1] Основные недостатки описываемого проекта, тормозящие его практическое внедрение, — высокая стоимость инфраструктуры и смертельная опасность для пассажиров при случайной разгерметизации вагона (*примеч. ред.*).

«Блестящие ряды всадников неудержимо ринулись вперед. И казалось, будто самоотверженная решимость войска понудила наконец могущественного неприятеля (марсиан. — *Я. П.*) к отступлению, так как между его воздушными кораблями возникло новое движение. Они поднялись на воздух, словно собираясь уступить дорогу.

Одновременно с этим, однако, опустилась сверху какая-то темная широко раскинувшаяся масса, теперь только появившаяся над полем. Подобно развевающемуся покрывалу, масса эта, со всех сторон окруженная воздушными кораблями, быстро развернулась над полем. Вот первый ряд всадников попал в район ее действия, — и тотчас же странная машина распростерлась над всем полком. Действие, произведенное ею, было неожиданно и чудовищно! С поля донесся пронзительный вопль ужаса. Лошади и всадники клубком валялись на земле, а воздух был наполнен густой тучей копий, сабель и карабинов, с громом и треском летевших вверх к машине, к которой они и пристали.

Машина скользнула немного в сторону и сбросила свою железную жатву на землю. Еще два раза возвращалась она и словно скосила все находящееся на поле оружие. Не нашлось ни одной руки, которая оказалась бы в силах удержать саблю или копье.

Машина эта была новым изобретением марсиан: она с неодолимою силою притягивала к себе все сделанное из железа и стали. С помощью этого витающего в воздухе магнита марсиане вырывали из рук своих противников оружие, не причиняя им никакого вреда.

Воздушный магнит пронесся далее и приблизился к пехоте. Тщетно солдаты старались обеими руками удержать свои ружья, — непреодолимая сила вырывала их из рук; многие, все-таки не выпускавшие их, были сами увлечены на воздух. В несколько минут первый полк был обезоружен. Машина понеслась вдогонку за марширующими в городе полками, готовя для них ту же участь.

Подобная же судьба постигла и артиллерию».

### Часы и магнетизм

При чтении предыдущего отрывка естественно возникает вопрос: нельзя ли защититься от действия магнитных сил, укрыться от них за какой-нибудь непроницаемой для них преградой?

Это вполне возможно, и фантастическое изобретение марсиан могло бы быть обезврежено, если бы заранее были приняты надлежащие меры.

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

Железным *футляром* можно защитить от действия магнитных сил стальной механизм карманных часов. Если бы вы положили золотые часы на полюсы сильного подковообразного магнита, то все стальные части механизма

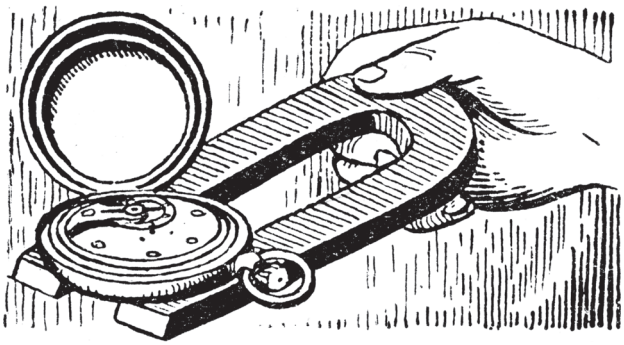


*Рис. 267.*

(прежде всего — тонкая волосяная пружинка при балансире[1]) намагнитились бы, и часы остановились бы. Удалив магнит, вы не вернете часов к прежнему состоянию: стальные части механизма останутся намагниченными, и часы потребуют самой радикальной починки, замены многих частей механизма новыми. Поэтому с золотыми часами не следует делать подобного опыта, — он обойдется чересчур дорого.

Напротив, с часами, механизм которых плотно закрыт железными или стальными крышками, вы можете смело произвести этот опыт, — магнитные силы через железо и сталь не проникают. Поднесите такие часы к обмоткам сильнейшей динамо, — верность хода не пострадает ни в малейшей степени. Для электротехников такие дешевые железные часы являются идеальными, тогда как золотые или серебряные скоро приходят в негодность от воздействия электромагнитов.

### Магнитный «вечный» двигатель

В истории попыток изобрести «вечный» двигатель магнит сыграл не последнюю роль. Неудачники-изобретатели на разные лады старались использовать магнит, чтобы устроить механизм, который вечно двигался бы сам собой. Вот один из проектов подобного «механизма» (описанный в XVII веке англичанином Джоном Вилькенсом, епископом в Честере).

На колонке (рис. 268) помещается сильный магнит *A*. К ней прислонены два наклонных желоба *M* и *N*, один под другим, причем верхний *M* имеет небольшое отверстие *C* в верхней части, а нижний *N* изогнут. Если, — рассуждал изобретатель, — на верхний желоб положить небольшой железный шарик *B*, то вследствие притяжения магнитом *A* шарик покатится вверх;

[1] Если только этот волосок не сделан из особого сплава *инвара* — металла, не способного намагничиваться, хотя в состав его и входят железо и никель.

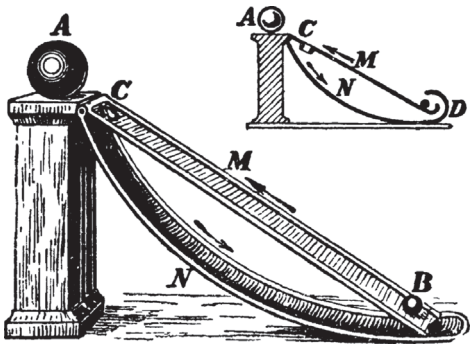



*Рис. 268. Мнимый вечный двигатель.*

однако, дойдя до отверстия, он провалится в нижний желоб *N*, покатится по нему вниз, взбежит по закруглению *D* этого желоба и попадет на верхний желоб *M*; отсюда, притягиваемый магнитом, он снова покатится вверх, снова провалится через отверстие, вновь покатится вниз и опять очутится на верхнем желобе, чтобы начать движение сначала. Таким образом, шарик безостановочно будет бегать взад и вперед, осуществляя «вечное движение».

В чем абсурдность этого изобретения?

Указать ее нетрудно. Почему изобретатель думал, что шарик, скатившись по желобу *N* до его нижнего конца, будет еще обладать скоростью, достаточной для поднятия его вверх по закруглению *D*? Так было бы, если бы шарик катился под действием одной лишь силы тяжести, — тогда он катился бы ускоренно. Но наш шарик находится под действием двух сил: тяжести и магнитного притяжения. Последнее по предположению настолько значительно, что может заставить шарик подняться от положения *B* до *C*. Поэтому по желобу *N* шарик будет скатываться не ускоренно, а замедленно, и если даже достигнет нижнего конца, то во всяком случае не накопит скорости, необходимой для поднятия по закруглению *D*.

Описанный проект много раз вновь всплывал впоследствии во всевозможных видоизменениях. Один из подобных проектов был даже, как ни странно, патентован в Германии в 1878 г., т. е. тридцать лет спустя после провозглашения закона сохранения энергии! Изобретатель так замаскировал нелепую основную идею своего «вечного магнитного двигателя», что ввел в заблуждение техническую комиссию, выдающую патенты. И хотя, согласно уставу, патенты на изобретения, идея которых противоречит законам природы, не должны выдаваться, изобретение на этот раз было формально запатентовано. Вероятно, счастливый обладатель этого единственного в своем роде патента скоро разочаровался в своем детище, так как уже через два года перестал вносить пошлину, и курьезный патент потерял законную силу; «изобретение» стало всеобщим достоянием. Однако оно никому не нужно.

### Музейная задача

В практике музейного дела нередко возникает надобность читать древние свитки, настолько ветхие, что они ломаются и рвутся при самой осторожной попытке отделить один слой рукописи от соседнего. Как разъединить такие листы?

При Академии Наук СССР имеется лаборатория реставрации (восстановления) документов, которой и приходится разрешать подобные задачи. В сейчас указанном случае лаборатория справляется с задачей, прибегнув к услугам электричества: свиток электризуется; соседние его части, получающие одноименный заряд, отталкиваются друг от друга — и аккуратно, без повреждения разделяются. Такой оттопыренный свиток уже сравнительно не трудно умелыми руками развернуть и наклеить на плотную бумагу.

### Еще воображаемый вечный двигатель

Большую популярность среди наших искателей вечного двигателя получила в последнее время идея соединения динамомашины с электромотором. Ежегодно ко мне поступает чуть не полдюжины подобных проектов. Все они сводятся к следующему. Надо шкивы электромотора и динамомашины соединить приводным ремнем, а провода от динамо подвести к мотору. Если динамомашине дать первоначальный импульс, то порождаемый ею ток, поступая в мотор, приведет его в движение; энергия же движения мотора будет передаваться ремнем шкиву динамомашины и приведет ее в движение. Таким образом, — полагают изобретатели, — машины станут двигать одна другую, и движение это никогда не прекратится, пока обе машины не износятся.

Идея эта представляется изобретателям чрезвычайно заманчивой; однако те, кто пытались ее осуществить на деле, с удивлением убеждались, что ни одна из двух машин при таких условиях не работает. Ничего иного от этого мертворожденного проекта и ожидать не следовало. Даже если бы каждая из соединенных машин обладала стопроцентным коэффициентом полезного действия, мы могли бы заставить их сочетание безостановочно двигаться только при полном отсутствии трения. Соединение названных машин (их «агрегат», выражаясь языком инженеров) представляет собою в сущности одну машину, которая должна сама себя приводить в движение. При отсутствии трения агрегат — как и любой шкив — двигался бы вечно, но пользы от такого движения нельзя было бы извлечь никакой: стоило бы заставить «двигатель» совершать внешнюю работу, и он немедленно остановился бы. Перед нами было бы «вечное движение», но не вечный двигатель. При наличии же трения агрегат не двигался бы вовсе.

Странно, что людям, которых увлекает эта идея, не приходит в голову более простое осуществление той же мысли: соединить ремнем два каких-нибудь шкива и завертеть один из них. Руководствуясь тою же логикой,

как и в случае предыдущего сочетания машин, мы должны ожидать, что первый шкив приведет во вращение второй, а от второго будет вертеться первый. Можно обойтись и одним шкивом: завертим его — правая часть станет увлекать во вращение левую, левая же при движении будет поддерживать вращение правой. В последних двух случаях нелепость слишком очевидна, и потому подобные проекты никого не вдохновляют. Но, по существу, все три описанных «вечных двигателя» опираются на одно и то же заблуждение.

### Почти вечный двигатель

Для строгого математика выражение «почти вечный» не представляет ничего заманчивого. Движение может быть либо вечным, либо невечным; «почти вечное» значит, в сущности, *невечное*. Но для практической жизни это не так. Многие, вероятно, были бы вполне удовлетворены, если бы получили в свое распоряжение не совсем вечный двигатель, а «почти вечный», способный двигаться хотя бы, например, тысячу лет. Жизнь человека коротка, и тысячелетие для нас то же, что вечность. Люди практической складки, наверное, сочли бы, что проблема вечного двигателя решена и что больше не над чем ломать голову.

Таких людей можно обрадовать сообщением, что 1000-летний двигатель уже изобретен; каждый может, при известной затрате средств, иметь у себя маленькое подобие вечного двигателя. Патент на это изобретение никем не взят, и секрета он не представляет.

Устройство этого прибора, придуманного проф. Стреттом[1] в 1903 г. и обычно называемого радиевыми часами, весьма несложно. Внутри стеклянной банки, из которой выкачан воздух, подвешена на кварцевой нити *B* (не проводящей электричества) небольшая стеклянная трубочка *A*, заключающая в себе несколько тысячных долей грамма *радиевой соли*. К концу трубочки подвешены, как в электроскопе, два золотых листочка. Радий, как известно, испускает лучи трех родов: лучи альфа, бета и гамма. В данном случае важнейшую роль играют легко проходящие через стекло лучи бета, которые состоят из потока отрицательно заряженных

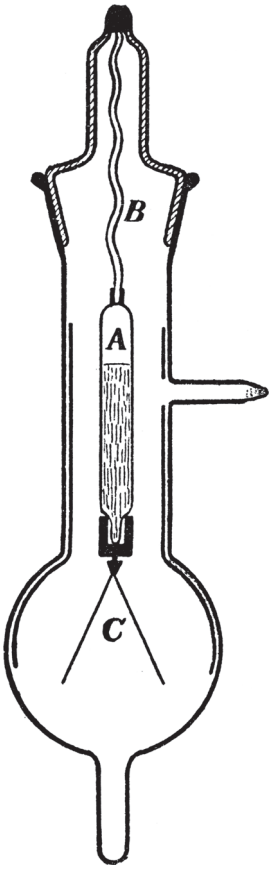



*Рис. 269. Радиевые часы с почти «вечным заводом» на 1600 лет.*

[1] *Стреттт Джон (лорд Рэлей)* (1842–1919) — английский физик и механик, один из основоположников теории колебаний, первооткрыватель аргона, автор многих физических понятий, законов и приборов (*примеч. ред.*).

частиц (электронов). Разбрасываемые радием во все стороны частицы уносят с собой *отрицательный* заряд, а потому сама трубка с радием постепенно заряжается *положительно*. Этот положительный заряд переходит на золотые листочки и заставляет их раздвигаться. Раздвинувшись, листочки прикасаются к стенкам банки, теряют здесь свой заряд (в соответствующих местах стенок приклеены полоски фольги, по которым электричество уходит) и вновь смыкаются. Вскоре накапливается новый заряд, листочки вновь расходятся, опять отдают заряд стенкам и смыкаются, чтобы вновь наэлектризоваться. Каждые две-три минуты совершается одно колебание золотых листочков, с регулярностью часового маятника, — отсюда и название «радиевые часы». Так продлится целые годы, десятилетия, столетия, пока будет продолжаться испускание радием его лучей. Читатель видит, конечно, что перед ним не «вечный», а только даровой двигатель.

Долго ли радий испускает свои лучи?

Установлено, что уже через 1650 лет способность радия испускать лучи ослабнет вдвое. Поэтому радиевые часы будут идти безостановочно не менее тысячи лет, постепенно уменьшая лишь частоту своих колебаний, вследствие ослабления электрического заряда. Если бы в эпоху начала Руси устроены были такие радиевые часы, они действовали бы еще в наше время!

Можно ли использовать этот даровой двигатель для каких-нибудь практических целей? К сожалению, нет. Мощность этого двигателя, — т. е. количество работы, совершаемой им в секунду, — так ничтожна, что никакой механизм не может приводиться им в действие. Чтобы достичь сколько-нибудь осязательных результатов, необходимо располагать гораздо бóльшим запасом радия. Если вспомним, что радий чрезвычайно редкий и дорогой элемент, то согласимся, что даровой двигатель подобного рода оказался бы чересчур разорительным.

### Сколько лет существует Земля?

Изучение законов распада радиоактивных элементов дало в руки исследователей надежный метод исчисления возраста Земли.

Что такое радиоактивный распад? Это «самопроизвольное» (т. е. не вызываемое видимыми причинами) превращение одних атомов в другие. Замечательно, что превращение протекает совершенно независимо от внешних воздействий. Никакое понижение или повышение температуры, давления и т. п. не оказывает на скорость процесса ни малейшего влияния[1]. Элементы уран и торий, содержащиеся в некоторых минералах, являются начальными членами рядов радиоактивных элементов, последовательно переходящих один в другой. Конечным же продуктом этих превращений являются: для ряда урана — урановый свинец, для ряда тория — ториевый свинец.

[1] Для этого нужна была бы температура в десятки миллиардов градусов.

Оба сорта свинца несколько отличаются от обыкновенного своим «атомным весом»: атом обыкновенного свинца тяжелее атома водорода в 207 (с небольшим) раз; атом уранового свинца — в 206 раз, ториевого — в 208. Отличить один сорт от другого представляется поэтому вполне возможным.

Указанным превращениям сопутствует испускание продуктами распада так называемых альфа-лучей. Это — поток наэлектризованных материальных частиц, атомов гелия, легкого газа, играющего теперь столь важную роль в дирижаблестроении; обладая в момент освобождения огромной скоростью, они утрачивают также свой электрический заряд и застревают в минерале в виде обыкновенного гелия. Этим объясняется присутствие гелия во всех радиоактивных минералах.

После сказанного нетрудно уже понять сущность замечательного метода определения возраста минералов, а следовательно, и содержащих их земных пластов. Мы уже отмечали, что никакие факторы не могут повлиять на темп радиоактивного процесса. При всяких условиях распадается ежегодно одно и то же число атомов исходного элемента, т. е. из грамма урана или тория образуется ежегодно определенное количество гелия, в точности измеренное физиками. Например, грамм урана порождает в год около одной 10-миллионной доли кубического сантиметра гелия. Другими словами, 1 куб. см гелия накапливается в минерале на каждый грамм урана за 10 миллионов лет. Таков ход тех природных часов, каковыми являются радиоактивные вещества для исследователя природы.

Анализ радиоактивных минералов обнаружил в некоторых из них содержание гелия, доходящее до 50 куб. см на 1 г урана. Отсюда прямо следует, что распад урана длился здесь не менее, чем $50 \times 10\,000\,000$, т. е. 500 миллионов лет. И это — самая скромная оценка, потому что часть гелия в течение миллионов лет могла улетучиться и не была учтена.

Описанное исчисление возраста минерала контролируется другим, основанным на учете накопившегося в минерале уранового или ториевого свинца. Из одного грамма урана образуется в течение года одна 6000-миллионная доля грамма свинца. Разделив обнаруженное в минерале число граммов (или его долей) уранового свинца на указанную дробь — иначе говоря, умножив его на 6000 миллионов, — мы узнаем возраст минерала. Этот метод надежнее предыдущего, так как свинец не улетучивается и потому учитывается полностью. Результаты можно сопоставить с теми, которые добыты анализом ториевых минералов (торий распадается вчетверо медленнее урана).

Что же дал нам этот метод? Он установил, что возраст радиоактивных минералов, найденных в древнейших, докембрийских отложениях (еще не содержащих никаких остатков живой природы), исчисляется в 1500 миллионов лет. Но океаны, на дне которых отложились эти пласты, образовались, конечно, еще раньше. Названное число представляет собою поэтому нижнюю границу возраста океанов. Геология учит, что период времени, протекший от эпохи образования океанов, охватывает бóльшую часть истории нашей планеты.

Значит, анализ радиоактивных минералов свидетельствует о том, что Земля существует во всяком случае *не менее* 1500 миллионов лет.

Можно пойти и дальше. Если сделать весьма правдоподобное допущение, что весь запас свинца в наружной части земной коры обязан своим происхождением распаду атомов урана и тория, то определится и верхняя граница для возраста Земли. Мы узнаем тогда, что от эпохи образования земной коры протекло не свыше 3000 миллионов лет. Сопоставляя обе оценки — минимальную (1500 млн лет) и максимальную (3000 млн), получаем для возраста Земли, как наиболее вероятную величину, около 2000 миллионов лет.

Две тысячи миллионов лет — число головокружительно огромное по сравнению не только с жизнью отдельного человека, но и со всей историей человечества. Однако оно весьма невелико, если сравнить его с возрастом нашего Солнца и других звезд, возрастом, который оценивается астрономами не тысячами миллионов, а миллионами миллионов лет. Протекло много миллиардов лет, прежде чем какая-то другая звезда пронеслась настолько близко от нашего тогда еще одинокого Солнца, что породила на нем огромную приливную волну раскаленного вещества. Этот веретенообразный клуб первозданного вещества, протянувшийся далеко от материнского тела, затем, оторвавшись от него, распался на отдельные шары, породив семью планет. Так началась история нашей планеты, насчитывающая за собою около 2000 миллионов лет[1]...

## Птицы на проводах

Все знают, как опасно для человека прикосновение к электрическим проводам трамвая или высоковольтной сети, когда они под током. Такое прикосновение смертельно не только для человека, но даже и для быка. Известно много случаев, когда лошади, коровы и люди убивались током, если их задевал оборвавшийся провод.

Чем же объяснить то, что птицы спокойно и совершенно безнаказанно усаживаются на провода? Подобные картинки можно часто наблюдать в городах.

Чтобы понять причину подобных противоречий, примем во внимание следующее: тело сидящей на проволоке птицы представляет собою как бы ответвление цепи, сопротивление которого по сравнению с другой ветвью (короткого участка между ногами птицы) огромно. Поэтому сила тока в этой ветви (в теле птицы) ничтожна и безвредна. Но если бы птица, сидя на проводе, коснулась столба крылом, хвостом или клювом — вообще каким-нибудь

[1] Я. П. высказывает одну из *катастрофических* гипотез образования Солнечной системы. По современным представлениям, формирование Солнечной системы началось около 4,6 млрд лет назад с гравитационного коллапса небольшой части межзвездного молекулярного облака, который мог быть вызван разными причинами, в том числе, возможно, и ударной волной внешнего или внутреннего происхождения (*примеч. ред.*).

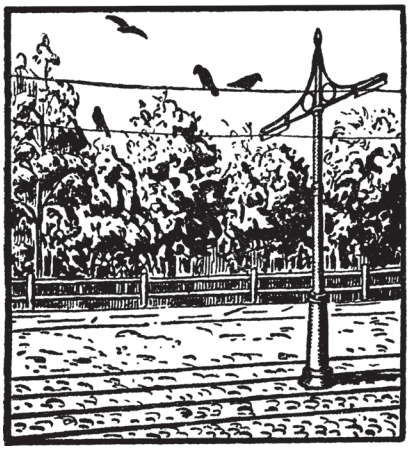


*Рис. 270.*

образом соединилась с землей, — она была бы мгновенно убита током, который устремился бы через ее тело в землю. Это нередко и наблюдается.

Птицы имеют повадку, усевшись на кронштейн высоковольтной проводки, чистить клюв о токонесущий провод. Так как кронштейн не изолирован, то прикосновение заземленной птицы к проводу, находящемуся под током, неизбежно кончается гибелью. Насколько подобные случаи многочисленны, видно хотя бы из того, что, например, в Германии в свое время принимали особые меры, чтобы оградить птиц от гибели. С этою целью на кронштейнах линий высоковольтной передачи устанавливали изолированные насесты, на которых птица могла бы не только сидеть, но и безнаказанно чистить о провод

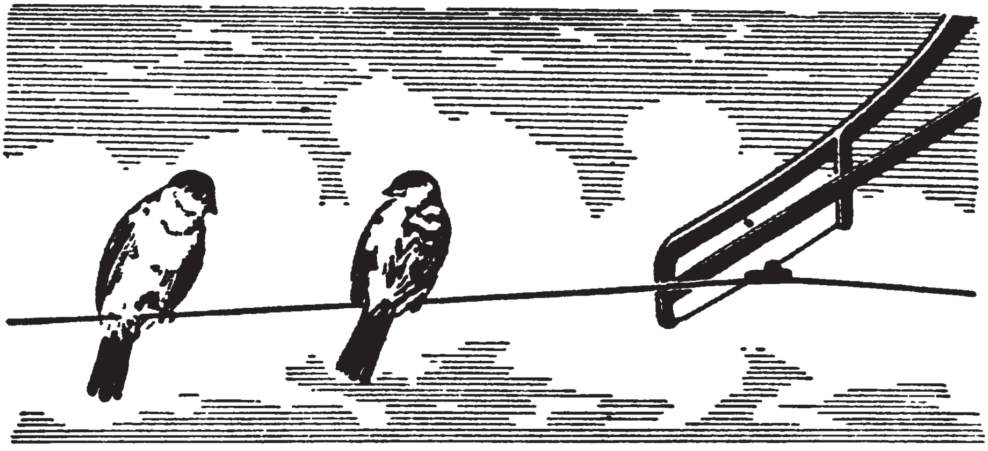


*Рис. 271. Птицы безнаказанно садятся на электрические провода. Почему?*

*Рис. 272. Изолированный насест для птиц на кронштейне высоковольтной передачи.*

свой клюв (рис. 272). В других случаях опасные места делают с помощью особых приспособлений недоступными для прикосновения птиц.

При том широком развитии, какое получает в СССР ежегодно растущая сеть высоковольтных передач, своевременно было бы и нам, в интересах лесоводства и земледелия, позаботиться об ограждении пернатого населения от истребления электрическим током.

## При свете молнии

Случалось ли вам во время грозы наблюдать картину оживленной городской улицы при кратких вспышках молнии? Вы, конечно, заметили при этом одну странную особенность: улица, только что полная движения, кажется в такие мгновения словно застывшей. Лошади останавливаются в напряженных позах, держа ноги в воздухе; экипажи также неподвижны: отчетливо видна каждая спица колеса...

Причина кажущейся неподвижности заключается в ничтожной продолжительности молнии. Молния, как и всякая электрическая искра, длится чрезвычайно малый промежуток времени — настолько малый, что его даже нельзя измерить обычными средствами. При помощи косвенных приемов удалось, однако, установить, что молния длится иногда лишь *тысячные доли секунды*[1]. За столь короткий промежуток времени мало что успевает переместиться заметным для глаза образом. Неудивительно поэтому, что улица,

[1] Иногда молнии длятся и сотые, и десятые доли секунды, а длительность многократной молнии (включающей несколько повторных разрядов) может превышать 1 секунду (*примеч. ред.*).

полная разнообразных движений, представляется при свете молнии совершенно неподвижной: ведь мы замечаем на ней только то, что длится тысячные доли секунды! Каждая спица в колесах быстро движущегося экипажа успевает переместиться лишь на ничтожную долю миллиметра; для глаза это все равно что полная неподвижность.

### Сколько стоит молния?

В ту отдаленную эпоху, когда молнии посылались «богами», подобный вопрос звучал бы кощунственно. Но в наши трезвые дни, когда электрическая энергия превратилась в товар, который измеряют и оценивают, как и всякий другой, вопрос о том, какова стоимость молнии, вовсе не должен казаться бессмысленным. Задача состоит в том, чтобы учесть электрическую энергию, потребную для грозового разряда, и оценить ее хотя бы по таксе столичных обществ электрического освещения.

Вот расчет. По новейшим данным, потенциал грозового разряда равен примерно 50 миллионам вольт. Сила тока оценивается при этом в 200 тысяч ампер (ее определяют, заметим кстати, по степени намагничивания стального стержня тем током, который пробегает в его обмотке при ударе молнии в громоотвод). Энергию в ваттах получим перемножением числа вольт на число ампер; при этом, однако, надо учесть то, что, пока длится разряд, потенциал падает до нуля; поэтому при вычислении энергии разряда надо взять средний потенциал, иначе говоря — половину начального напряжения.

Имеем:

$$\text{мощность разряда} = \frac{50\,000\,000 \times 200\,000}{2},$$

т. е. 5 000 000 000 000 ватт, или 5 миллиардов киловатт.

Получив столь внушительный ряд нулей, естественно ожидаешь, что и денежная стоимость молнии выражается огромной цифрой. Однако, если перевести эту энергию в те киловатт-часы, которые фигурируют в счетах за электрическое освещение, то получим гораздо более скромные цифры. Отдача столь значительной мощности длится около 1000-й доли секунды; за это время израсходуется

$$\frac{5\,000\,000}{3600 \times 1000} \approx 1400 \text{ киловатт-часов.}$$

Один киловатт-час по современному тарифу обходится потребителю электрического тока примерно в 5 рублей[1]. Отсюда нетрудно вычислить денежную стоимость молнии:

$$1400 \times 5 = 7000 \text{ рублей.}$$

[1] Для Санкт-Петербурга в 2022 г. (*примеч. ред.*).

Результат поразительный: молния, энергия которой раз в сто больше энергии выстрела тяжелого артиллерийского орудия, должна была бы стоить, по тарифу электростанций, всего лишь 7000 рублей!

Интересно, насколько современная электротехника приблизилась к возможности воспроизвести молнию. В лабораториях достигнуто напряжение в 10 миллионов вольт и получена искра длиною в 15 м. То и другое всего в сотню-другую раз меньше[1], чем для естественной молнии. Дистанция не чрезмерно значительная...

### Грозовой ливень в комнате

Очень легко устроить дома небольшой фонтан из каучуковой трубки, один конец которой погружают в ведро, поставленное на возвышении, или надевают на водопроводный кран. Выходное отверстие трубки должно быть очень мало, для того чтобы фонтан разбивался тонкими струйками; проще всего достигнуть этого, вставив в свободный конец кусочек карандаша, из которого вынут графит. Ради удобства обращения с фонтаном этот свободный конец укрепляют в перевернутой воронке, как показано на рис. 273.

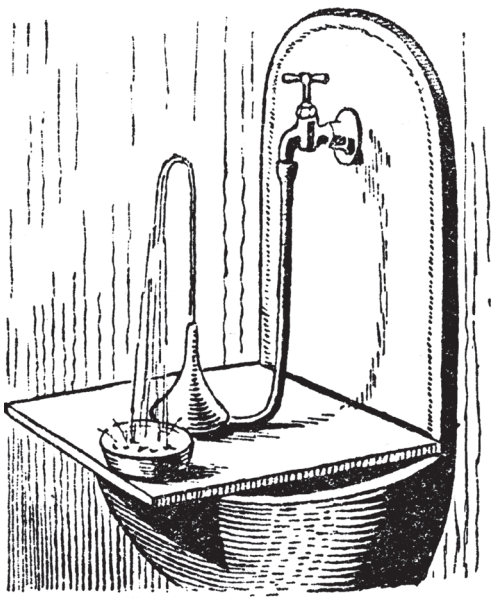


*Рис. 273. Грозовой ливень в миниатюре.*

Пустив такой фонтан высотой в полметра и направив струю вертикально вверх, приблизьте к нему натертую сукном палочку сургуча или эбонитовый гребень. Вы тотчас увидите довольно неожиданную вещь: отдельные струйки ниспадающей части фонтана сольются в одну сплошную струю, которая с заметным шумом ударяет о дно подставленной тарелки. Звук напоминает характерный шум грозового ливня. «Не подлежит сомнению, — замечает по этому поводу физик Бойз[2], — что именно по этой причине капли дождя во время грозы отличаются такой величиной». Удалите сургуч, — и фонтан тотчас же снова распылится, а характерный стук сменится мягким шумом раздробленной струи.

[1] По современным данным, длина канала естественной молнии может достигать 10 км (*примеч. ред.*).

[2] *Бойз Чарльз* (1855–1944) — английский физик-экспериментатор, автор работ по оптике, механике, тепловым явлениям (*примеч. ред.*).

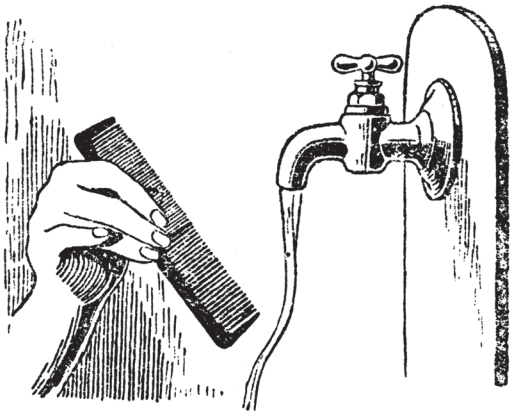


*Рис. 274. Водяная струя отклоняется при приближении наэлектризованного гребня.*

Перед непосвященными вы можете действовать палочкой сургуча, как фокусник «волшебным» жезлом.

Объяснение столь неожиданного действия электрического заряда на фонтан основано на том, что капли электризуются через влияние, причем обращенные к сургучу части капель электризуются положительно, противоположные — отрицательно; таким образом, разноименно наэлектризованные части капель оказываются в близком соседстве и, притягиваясь, заставляют капли сливаться.

Действие электричества на водяную струю вы можете обнаружить и проще; достаточно приблизить проведенный по волосам эбонитовый гребень к тонкой струе воды, вытекающей из водопроводного крана: струя становится сплошной и заметно искривляется по направлению к гребню, резко отклонившись в сторону (рис. 274). Объяснение этого явления сложнее, чем предыдущего; оно связано с изменением поверхностного натяжения под действием электрического заряда.

Заметим между прочим, что легкостью, с какой образуется электрический заряд при трении, объясняется и электризация передаточных ремней, трущихся о шкивы. Выделяющиеся электрические искры представляют в некоторых производствах серьезную опасность в пожарном отношении. Чтобы этого избежать, стали (в Германии) серебрить передаточные ремни: тонкий слой серебра делает ремень проводником электричества, и накопление заряда становится невозможным.

*Рис. 275. Пятикратная фотография одного и того же лица.*

## *ГЛАВА ДЕВЯТАЯ*

## ОТРАЖЕНИЕ И ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА — ЗРЕНИЕ

### Пятикратный снимок

Одним из курьезов фотографического искусства являются снимки, на которых фотографируемый изображен в 5 различных поворотах. На прилагаемом рисунке (рис. 275), сделанном по подобной фотографии, можно видеть эти пять положений. Такие фотографии имеют то несомненное преимущество перед обыкновенными, что дают более полное представление о характерных особенностях оригинала: известно, как много заботятся фотографы о том, чтобы придать лицу снимаемого наиболее выгодный поворот; здесь же сразу получается лицо в нескольких поворотах, среди которых больше вероятия уловить самый характерный.

Как получаются эти фотографии? Конечно, с помощью зеркал (рис. 276). Фотографируемый садится спиной к аппарату *A* и лицом к двум отвесным плоским зеркалам *C*, сходящимся под углом в одну пятую долю от 360°,

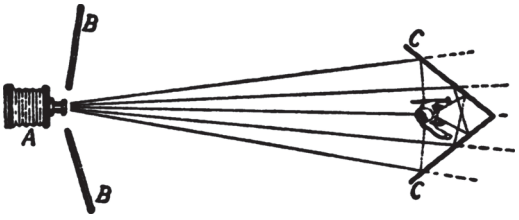



*Рис. 276. Способ получения пятикратных фотографий.*
*Снимаемый помещается между зеркалами CC.*

т. е. в 72°. Такая пара зеркал должна давать четыре изображения, повернутые различным образом по отношению к аппарату. Эти изображения плюс натуральный объект и фотографируются аппаратом, причем сами зеркала (не имеющие рам) на снимке, конечно, не получаются. Чтобы в зеркалах не отразился фотографический аппарат, его заслоняют двумя экранами (*BB*) с небольшой щелью для объектива.

Число изображений зависит от угла между зеркалами: чем он меньше, тем число получающихся изображений больше. При угле 360° : 4 = 90° мы получили бы четыре изображения, при угле 360° : 6 = 60° — шесть изображений, при 360° : 8 = 45° — восемь и т. д. Однако при большом числе отражений изображения тусклы и слабы; поэтому обычно ограничиваются пятикратными снимками.

### Солнечные двигатели и нагреватели

Очень заманчива мысль использовать энергию солнечных лучей для нагревания котла двигателя. Произведем несложный расчет. Энергия, ежеминутно получаемая от Солнца каждым квадратным сантиметром нашей планеты, помещенным за пределами атмосферы под прямым углом к солнечным лучам, тщательно измерена. Количество ее, по-видимому, неизменно; оттого оно и названо «солнечной постоянной». Величина солнечной постоянной равна (с округлением) 2 малым калориям[1] на см$^2$ в минуту. Этот тепловой паек Земли, регулярно посылаемый Солнцем, достигает ее поверхности не полностью: около полукалории поглощается в атмосфере. Можно считать, что квадратный сантиметр земной поверхности, перпендикулярно озаряемый солнечными лучами, получает ежеминутно примерно 1,4 мал. калории. В переводе на кв. метр это составляет 14 000 малых, или 14 больших калорий в минуту, а в секунду — около ¼ б. калории. Так как 1 б. калория, переходя полностью в механическую работу, дает 427 килограммометров, то солнечные лучи, падающие перпендикулярно на участок земли в 1 кв. м, могли бы дать свыше 100 кгм энергии ежесекундно — иначе говоря, более 1⅓ лошадиной силы.

Такую работу могла бы породить лучистая энергия Солнца при самых благоприятных условиях — при перпендикулярном падении и 100%-ном превращении. Однако до сих пор осуществлявшиеся попытки прямого использования Солнца как двигательной силы далеки были от таких идеальных условий. Их полезное действие не превышало 5–6%, и только проект американского физика проф. Роберта Годдарда[2] (прославившегося своими работами

---

[1] В добавление к примечанию на с. 116: Я. П. использует здесь и далее термин «малая калория», или «м. калория» — она соответствует современной калории. Существует также «большая калория», или «б. калория» — она соответствует современной килокалории, т. е. 1000 калорий (*примеч. ред.*).

[2] *Годдард Роберт* (1882–1945) — один из пионеров ракетной техники (*примеч. ред.*).

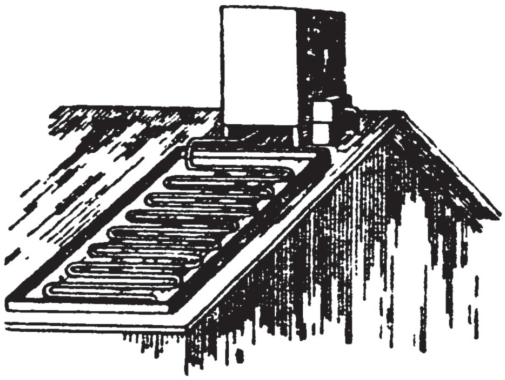


*Рис. 277. Солнечный нагреватель на крыше (в Калифорнии).*

над ракетами) обещает дать установку более чем с 50%-ным полезным действием. Испытание небольшой модели солнечного двигателя его конструкции с диаметром 30 см (вместо 6 м) дало вполне обнадеживающие результаты. Из осуществленных установок наибольший коэффициент полезного действия дает солнечный двигатель известного американского физика проф. Аббота[1]: 15%.

Легче воспользоваться лучистой энергией Солнца не для получения механической работы, а для нагревания. В Калифорнии работает промышленная «Компания водяных солнечных подогревателей», снабжающая потребителей кровельными нагревательными приборами, которые собирают солнечные лучи; вода, нагретая этими приборами, применяется в домашнем хозяйстве. Компания конкурирует с газовыми и другими обществами.

Нигде не уделяется сейчас столько внимания солнечным установкам («гелиотехнике»), как в СССР. У нас существует специальный Всесоюзный гелиоинститут (в Самарканде), ведущий обширную исследовательскую работу.

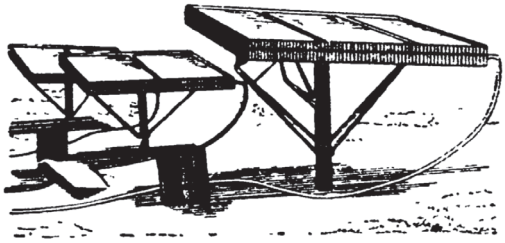


*Рис. 278. Солнечные кипятильники в Самарканде (системы Трофимова).*

[1] *Аббот Чарлз* (1872–1973) — американский астрофизик (*примеч. ред.*).

В Ташкенте работает солнечная баня, пропускающая 70 человек в сутки. В том же Ташкенте, как сообщают газеты, «оборудована гелиоустановка на крыше Ташкентского дома специалистов Госплана. Здесь установлены 20 солнечных котлов, которые рассчитаны на 200 ведер воды и целиком обеспечивают ею весь дом. По заявлению гелиотехников, солнце будет бесперебойно согревать котлы 7–8 месяцев в году. Остальные 4–5 месяцев котлы смогут нагревать воду только в ясные дни». Отличные результаты дали опыты солнечной плавки серы (температура плавления 120°С); намечен к сооружению серноплавильный завод, работающий на энергии солнечных лучей. Упомянем еще о солнечных опреснителях для получения пресной воды на побережьях Каспийского и Аральского морей, о солнечных водоподъемниках для замены первобытных среднеазиатских чигирей[1]; о солнечных сушилках для фруктов и рыбы, о кухне, где все блюда приготовляются на лучах Солнца, и т. п. Все это не исчерпывает разнообразных применений искусственно уловленных солнечных лучей, которым в ближайшие годы предстоит сыграть видную роль в народном хозяйстве Средней Азии, Кавказа, Крыма, Нижней Волги и южной Украины[2].

### Мечта о шапке-невидимке

Седою древностью оставлена нам легенда о чудесной шапке, которая делает невидимым каждого, кто ее наденет. Пушкин, ожививший в «Руслане и Людмиле» преданья старины глубокой, дал классическое описание волшебных свойств шапки-невидимки:

И девице пришло на ум,
В волненьи своенравных дум,
Примерить шапку Черномора...
Людмила шапкой завертела;
На брови, прямо, набекрень,
И задом наперед надела.
И что ж? О, чудо старых дней!
Людмила в зеркале пропала;
Перевернула — перед ней
Людмила прежняя предстала;
Назад надела — снова нет;
Сняла — и в зеркале! «Прекрасно!
Добро, колдун! Добро, мой свет!
Теперь мне здесь уж безопасно»...

1 *Чигирь* — водоподъемное устройство в виде колеса с черпаками, приводимое в движение мускульной силой или течением реки (*примеч. ред.*).

2 Интересующиеся подробностями найдут их в статье С. М. Горленко «Использование солнечной энергии», помещенной в Астрономическом календаре за 1935 г.

Способность становиться невидимой была единственной защитой для пленной Людмилы. Под надежным покровом невидимости она ускользает от пристальных взоров своих стражей. О присутствии незримой пленницы могли догадываться только по ее действиям:

Везде всечасно замечали
Ее минутные следы:
То позлащенные плоды
На шумных ветках исчезали,
То капли ключевой воды
На луг измятый упадали:
Тогда наверно в замке знали,
Что пьет иль кушает княжна...
Едва редела ночи мгла,
Людмила к водопаду шла
Умыться хладною струею.
Сам Карла утренней порою
Однажды видел из палат,
Как под невидимой рукою
Плескал и брызгал водопад.

Давно уже осуществлены многие заманчивые мечты древности; немало сказочных волшебств сделалось достоянием науки. Мы пробуравливаем горы, улавливаем молнии, летаем на коврах-самолетах... Не можем ли изобрести и «шапку-невидимку», т. е. найти средство сделать себя совершенно невидимыми? Об этом мы сейчас побеседуем.

## Невидимый человек

В романе «Человек-невидимка» (переделанном также в фильм[1]) английский писатель Уэллс стремится убедить своих читателей, что возможность стать невидимым вполне осуществима. Его герой (автор романа представляет его нам как «гениальнейшего физика, какого когда-либо видел мир») открыл способ делать человеческое тело невидимым. Вот как излагает он знакомому врачу основания своего открытия:

«— Видимость зависит от действия видимых тел на свет. Вы знаете, что тела или поглощают свет, или отражают его, или преломляют. Если тело не поглощает, не отражает и не преломляет света, оно не может быть видимо само по себе. Видишь, например, непрозрачный красный ящик потому, что краска поглощает некоторую долю света и отражает (рассеивает) остальные лучи. Если бы ящик не поглощал никакой

[1] Я. П. имеет в виду одноименный фильм ужасов, снятый в 1933 г. режиссером Джеймсом Уэйлом на студии *Universal* (*примеч. ред.*).

доли света, а отражал его весь, он казался бы блестящим белым ящиком, серебряным. Бриллиантовый ящик поглощал бы мало света, общая его поверхность отражала бы его также немного; только местами, на ребрах, свет отражался бы и преломлялся, давая нам блестящую видимость сверкающих отражений — нечто вроде светового скелета. Стеклянный ящик блестел бы меньше, был бы не так отчетливо виден, как бриллиантовый, потому что в нем было бы меньше отражений и меньше преломлений. Если же положить кусок обыкновенного белого стекла в воду и, тем более, если положить его в какую-нибудь жидкость плотнее воды, — он исчезнет почти совершенно, потому что свет, попадающий сквозь воду на стекло, преломляется и отражается очень слабо. Стекло становится столь же невидимым, как струя углекислоты или водорода в воздухе, по той же самой причине.

— Да, — сказал Кемп [врач], — все это очень просто и в наше время известно каждому школьнику.

— А вот и еще факт, также известный каждому школьнику. Если кусок стекла растолочь и превратить в порошок, он становится гораздо более заметным в воздухе, — он становится непрозрачным белым порошком. Происходит это потому,

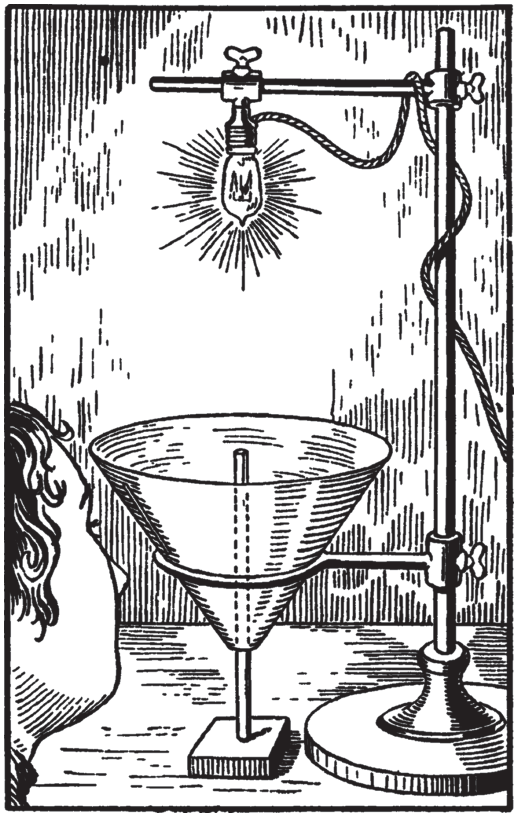


*Рис. 279. Невидимая стеклянная палочка.*

что толчение умножает грани стекла, производящие отражение и преломление. У пластинки только две грани, а в порошке свет отражается и преломляется каждою крупинкою, через которую проходит, — и сквозь порошок его проникает очень мало. Но если белое толченое стекло положить в воду, — оно сразу исчезает. Толченое стекло и вода имеют приблизительно одинаковый показатель преломления, так что, переходя от одного к другому, свет преломляется и отражается очень мало.

Положив стекло в какую-нибудь жидкость с почти одинаковым показателем преломления, вы делаете его невидимым: *всякая прозрачная вещь становится невидимой, если ее поместить в среду с одинаковым показателем преломления*. Достаточно подумать самую малость, чтобы убедиться, что стекло можно сделать невидимым и в воздухе: надо устроить так, чтобы его показатель преломления равнялся показателю преломления воздуха, потому что тогда, переходя от стекла к воздуху, свет не будет ни отражаться, ни преломляться вовсе[1].

— Да, да, — сказал Кемп. — Но ведь человек не то, что стекло.

— Нет, он прозрачнее.

— Вздор!

— И это говорит естественник! Неужели за десять лет вы успели совсем забыть физику? Бумага, например, состоит из прозрачных волоконец, она бела и непроницаема потому же, почему бел и непроницаем стеклянный порошок. Намаслите белую бумагу, наполните маслом промежутки между волоконцами, так чтобы преломление и отражение происходили только на поверхностях, — и бумага станет прозрачной, как стекло. И не только бумага, но и волокна полотна, волокна шерсти, волокна дерева, наши кости, мускулы, волосы, ногти и нервы! Словом, весь состав

---

[1] Полной невидимости совершенно прозрачного предмета мы можем добиться, если окружим его стенками, рассеивающими свет строго равномерно. Глаз, который смотрит внутрь через небольшое боковое отверстие, получит тогда от всех точек предмета как раз столько света, как если бы предмета вовсе не существовало: никакие блики или тени не обнаружат его присутствия.

Вот как может быть обставлен подобный опыт. Воронку, диаметром в полметра, из белого картона устанавливают, как показано на рис. 279, на некотором расстоянии от 25-свечной электрической лампочки. Снизу вводят стеклянную палочку, по возможности строго вертикально. Малейшее отклонение от вертикального положения делает то, что палочка кажется темной по оси и светлой по краям, либо же, наоборот, светлой по оси и темной по краям. Обе картины освещения переходят одна в другую при легком изменении положения палочки. После ряда проб можно добиться совершенно равномерного освещения палочки, — и тогда она для глаза, смотрящего сквозь узкое (не шире 1 см) боковое отверстие, исчезает совершенно. При такой обстановке опыта достигается полная невидимость стеклянного предмета, несмотря на то что его преломляющая способность сильно отличается от преломляющей способности воздуха.

Другой прием, с помощью которого можно сделать невидимым, например, кусок граненого стекла, состоит в том, чтобы поместить его в ящик, покрытый изнутри светящейся краской.

человека, кроме красного вещества в его крови и темного пигмента волос, — все состоит из прозрачной, бесцветной ткани; вот как немногое делает нас видимыми друг другу!»

Подтверждением этих соображений может служить тот факт, что не покрытые шерстью животные-альбиносы (ткани которых не содержат красящих веществ) отличаются в значительной мере прозрачностью. Зоолог, нашедший летом 1934 г. в Детском Селе[1] экземпляр белой лягушки-альбиноса, описывает ее так: «Тонкие кожные и мышечные ткани просвечивают: видны внутренности, скелет... Очень хорошо у лягушки-альбиноса видно через брюшную стенку сокращение сердца и кишок».

Герой романа Уэллса изобрел способ делать прозрачными ткани человеческого организма и даже его красящие вещества (пигменты). Он с успехом применил свое открытие к собственному телу. Опыт удался блестяще, — изобретатель стал совершенно невидимым.

О дальнейшей судьбе этого невидимого человека мы сейчас узнаем.

### Могущество невидимого

Автор романа «Человек-невидимка» с необыкновенным остроумием и последовательностью доказывает, что человек, сделавшись прозрачным и невидимым, приобретает благодаря этому почти безграничное могущество. Он может незаметно проникать в любое помещение и безнаказанно похищать любые вещи; неуловимый, благодаря своей невидимости, он успешно борется с целой толпой вооруженных людей. Угрожая всем видимым людям неизбежной тяжкой карой, невидимый человек держит в полном подчинении население целого города. Неуловимый и неуязвимый, он в то же время имеет полную возможность вредить всем остальным людям; как бы ни ухитрялись они защищаться, невидимый враг рано или поздно настигает их и поражает. Столь исключительное положение среди прочих людей дает герою английского романа возможность обращаться к устрашенному населению своего города с приказами такого, например, содержания:

«Город отныне уже не под властью королевы! Скажите это вашему полковнику, полиции и всем; он под моей властью! Нынешний день — первое число первого года новой эры, эры Невидимого! Я — Невидимый Первый. Сначала правление мое будет милостиво. В первый день будет всего одна казнь, ради примера, казнь человека, имя которого Кемп. Сегодня же его постигнет смерть. Пусть запирается, пусть прячется, пусть окружит себя стражей, пусть закует себя в броню, — смерть, невидимая смерть идет к нему! Пусть принимает меры предосторожности, — это произведет впечатление на мой народ. Смерть идет к нему! Не помогай ему, народ мой, чтобы и тебя не постигла смерть».

---

[1] В 1918–1937 гг. так назывался г. Пушкин (*примеч. ред.*).

И на первых порах невидимый человек торжествует. Лишь с величайшим трудом удается запуганному населению справиться с невидимым врагом, мечтавшим сделаться его властелином.

## Прозрачные препараты

Верны ли физические рассуждения, которые положены в основу этого фантастического романа? Безусловно. Всякий прозрачный предмет в прозрачной среде становится невидимым уже тогда, когда разница в показателях преломления меньше 0,05. Спустя десять лет после того, как английский романист написал своего «Невидимку», немецкий анатом проф. В. Шпальтегольц[1] осуществил его идею на практике, — правда, не для живых организмов, а для мертвых препаратов. Можно видеть теперь эти прозрачные препараты частей тела, даже целых животных, во многих музеях.

Способ приготовления прозрачных препаратов, разработанный (в 1911 г.) проф. Шпальтегольцем, состоит вкратце в том, что после известной обработки — беления и промывания — препарат пропитывается метиловым эфиром салициловой кислоты; это бесцветная жидкость, обладающая сильным лучепреломлением. Приготовленный таким образом препарат крысы, рыбы, разных частей человеческого тела и т. п. погружают в сосуд, наполненный той же жидкостью[2].

При этом, разумеется, не стремятся достичь *полной* прозрачности препаратов, так как в таком случае они стали бы совершенно невидимыми, а потому и бесполезными для анатома. Но при желании возможно было бы достичь и этого.

Конечно, отсюда еще далеко до осуществления уэллсовой утопии о *живом* человеке, прозрачном настолько, что он совершенно невидим. Далеко потому, что надо еще, во-первых, найти способ пропитать просветляющей жидкостью ткани *живого* организма, не нарушая его отправлений. Во-вторых, препараты проф. Шпальтегольца только прозрачны, но не невидимы; ткани этих препаратов могут быть невидимы лишь до тех пор, пока они погружены в сосуд с жидкостью соответствующей преломляемости. Они будут невидимы в воздухе только тогда, когда показатель их преломления будет равняться показателю преломления *воздуха*, а как этого достигнуть, мы еще не знаем.

---

[1] *Шпальтегольц Вернер* (1862–1940) — немецкий анатом, известный как разработчик методов просветления анатомических препаратов (*примеч. ред.*).

[2] К сведению тех из моих читателей-натуралистов, которые пожелали бы сами изготовлять прозрачные препараты, сообщаю название брошюры, дающей необходимые практические указания: проф. Д. К. Третьяков, «Прозрачные препараты Шпальтегольца», 1914. Брошюра была издана в г. Бендерах и сейчас может быть найдена только в библиотеках (вместе с другими изданиями дореволюционного журнала «Школьные экскурсии и школьный музей»).

Но допустим, что удастся со временем добиться того и другого, а следовательно, осуществить на деле мечту английского романиста. Будут ли у нас тогда невидимые бойцы, невидимые батальоны, которые нежданно оказываются в тылу неприятеля и наводят панику на целую армию своими непостижимыми, сверхъестественными действиями?

В романе все предусмотрено и обдумано автором с такою тщательностью, что невольно поддаешься убедительности описываемых событий. Кажется, что невидимый человек в самом деле должен быть могущественнейшим из смертных...

Но это не так.

Есть одно маленькое обстоятельство, которое упустил остроумный и ученый автор «Человека-невидимки». Это вопрос о том, —

**Может ли невидимый видеть?**

Если бы Уэллс задал себе этот вопрос, прежде чем написать роман, изумительная история «Невидимки» никогда не была бы написана...

В самом деле, в этом пункте разрушается вся иллюзия могущества невидимого человека. *Невидимый должен быть слеп!*

Отчего герой романа невидим? Оттого, что все части его тела — в том числе и глаза — сделались прозрачными, и притом показатель их преломления равен показателю преломления воздуха. Вспомним, в чем состоит роль глаза: его хрусталик, стекловидная влага и другие части преломляют лучи света так, что на сетчатой оболочке получается изображение внешних предметов. Но если преломляемость глаза и воздуха одинакова, то тем самым устраняется единственная причина, вызывающая преломление: переходя из одной среды в другую, *равной преломляемости*, лучи не меняют своего направления, а потому и не могут собираться в одну точку. Лучи будут проходить через глаза невидимого человека совершенно беспрепятственно, не преломляясь и не задерживаясь в них — ввиду отсутствия пигмента[1], — следовательно, они не могут вызвать в его сознании никакого образа.

Итак, *невидимый человек не может ничего видеть*. Все его преимущества оказываются для него бесполезными. Грозный претендент на власть бродил бы

[1] Чтобы вызвать какое-нибудь ощущение у животного, лучи света должны произвести в его глазу некоторые, хотя бы самые незначительные, изменения, т. е. выполнить определенную работу. Для этого лучи должны хотя бы в некоторой части задерживаться глазом. Но совершенно прозрачный глаз, конечно, не может задерживать лучи, — иначе он не был бы прозрачен. У всех животных, которые защищаются тем, что они прозрачны, глаза — если они имеются — не бывают вполне прозрачны. «Непосредственно под поверхностью моря, — пишет известный океанограф Меррей, — большинство животных прозрачно и бесцветно: когда их извлекают сетью, их можно отличить только по маленьким черным глазам, так как кровь их лишена гемоглобина (красящего вещества) и совершенно прозрачна».

ощупью, прося милостыню, которой никто не мог бы ему подать, так как проситель невидим. Вместо могущественнейшего из смертных перед нами был бы беспомощный калека, обреченный на жалкое существование[1]...

Могущество современной подводной лодки также заключается в ее невидимости — в том, что она незаметно подкрадывается к вооруженному стальному гиганту и выпускает в него свою разрушительную торпеду. Но стоит метким выстрелом повредить у подводной лодки ее глаз — перископ, — и она становится беспомощной: «слепота» лишает ее возможности пользоваться преимуществами невидимости.

Итак, в поисках «шапки-невидимки» бесполезно идти по пути, указываемому Уэллсом, — этот путь, даже при полном успехе поисков, не может привести к цели.

## Охранительная окраска

Но есть и другой путь к разрешению задачи «шапки-невидимки». Он состоит в окраске предметов соответствующим цветом, делающим их незаметными для глаза. К нему постоянно прибегает природа: наделяя свои создания «охранительной» окраской, она в самом широком масштабе пользуется этим простым средством, чтобы защищать свои создания от врагов или облегчать им трудную борьбу за существование.

То, что военные называют «защитным цветом», зоологи со времен Дарвина называют охранительной или покровительственной окраской. Примеров такой защиты в мире животных можно привести целые тысячи; мы встречаемся с ними буквально на каждом шагу. Животные, обитающие в пустыне, имеют большею частью характерный желтоватый «цвет пустыни»; вы находите этот цвет и у льва, и у птицы, и у ящерицы, у паука, у червя, — словом, у всех представителей пустынной фауны. Напротив, животное население снежных равнин Севера — будь то опасный полярный медведь или безобидная гагара — наделены от природы белой окраской, делающей их незаметными на фоне снега. Бабочки и гусеницы, живущие на коре деревьев, имеют соответствующую окраску, с поразительной точностью воспроизводящую цвет древесной коры («монашенка» и др.).

Каждый собиратель насекомых знает, как трудно найти их из-за идеального «защитного цвета», которым наделила их природа. Попробуйте поймать

[1] Возможно, что романист допустил этот существенный промах вполне сознательно. Известно, к какому литературному приему прибегает обычно Уэллс в своих фантастических произведениях: он заслоняет для читателей основной дефект фантастического построения обилием реалистических подробностей. В предисловии к американскому изданию его фантастических романов он прямо пишет: «Как только магический фокус проделан, нужно все прочее показать правдоподобным и обыденным. Надеяться нужно не на силу логических доводов, а на иллюзию, создаваемую искусством».

зеленого кузнечика, стрекочущего на лугу у ваших ног, — вы не сможете различить его на зеленом фоне, поглощающем его бесследно.

То же относится и к водным обитателям. Морские животные, водящиеся среди бурых водорослей, все имеют «защитный» бурый цвет, делающий их неуловимыми для глаз. В зоне красных водорослей преобладающим «защитным цветом» является красный. Серебристый цвет рыбьей чешуи — тоже «защитный». Он оберегает рыб и от хищных птиц, высматривающих их сверху, и от хищников водной стихии, угрожающих им снизу: водная поверхность имеет зеркальный вид не только при рассматривании сверху, но еще больше при взгляде снизу, из самой толщи воды («полное внутреннее отражение»), и с этим-то блестящим металлическим фоном сливается серебристая рыбья чешуя. А медузы и другие прозрачные обитатели вод — черви, ракообразные, моллюски, сальпы — избрали своим «защитным цветом» полную бесцветность и прозрачность, делающую их невидимыми в окружающей бесцветной и прозрачной стихии.

«Уловки» природы в этом отношении далеко превосходят человеческую изобретательность. Многие животные обладают способностью изменять оттенок своего «защитного» цвета сообразно переменам окружающей обстановки. Серебристо-белый горностай, незаметный на фоне снега, утратил бы все преимущества защитной окраски, если бы с таянием снегов не изменил цвета своей шкурки; и вот, каждую весну белый зверек получает новую шубку рыжего цвета, идеально сливающуюся с окраской обнаженной от снега почвы, а с наступлением зимы вновь седеет, облекаясь в белоснежный зимний наряд.

### Защитный цвет

Люди переняли у изобретательной природы это полезное искусство делать свое тело незаметным, сливаться с окружающим фоном. Пестрые краски блестящего обмундирования прежних времен, придававшие живописность батальным картинам, навсегда отошли в прошлое: их вытеснила знакомая одноцветная обмундировка защитного цвета. Серая военная шинель победила расшитый мундир, — и на будущих полях сражений не видно будет ни одного яркого пятна. Серо-стальная окраска современных военных судов — тоже своего рода защитный цвет, делающий суда малоразличимыми на фоне моря.

Сюда же относится и так называемый тактический камуфляж: военная маскировка отдельных предметов — укреплений, орудий, танков, кораблей, — искусственный туман и подобные меры введения противника в заблуждение. Маскируют лагерь особыми сетями, в ячейки которых вплетены пучки травы; бойцы надевают халаты с пучками мочалы, окрашенной в цвет травы, и т. п.

Широко применяется защитный цвет и маскировка в современной военной авиации. Немецкий технический журнал пишет об этом следующее:

«Самолет, окрашенный в коричневый, темно-зеленый и фиолетовый цвета (соответствующие расцветке поверхности земли), при наблюдении с самолета сверху становится трудно отличимым от фона земной поверхности.

Маскировка же нижних поверхностей самолета от наблюдения с земли производится окрашиванием их под цвет, соответствующий фону неба: светло-голубой, светло-розовый и белый. Краска эта располагается на поверхности самолета небольшими пятнами. На высоте 750 м эти цвета сливаются в общий малозаметный фон. На высоте 3000 м самолеты, имеющие подобную маскировку, становятся невидимы. Бомбовозы, предназначенные для налетов в ночное время, окрашиваются в черный цвет».

Защитным цветом, пригодным для *всякой* обстановки, была бы *зеркальная* поверхность, отражающая фон. Предмет с такой поверхностью автоматически принимает вид и окраску окружающей среды; обнаружить его присутствие с дальнего расстояния почти невозможно. Германцы во время мировой войны до некоторой степени применяли этот принцип для цеппелинов: поверхность многих цеппелинов была блестящая алюминиевая, отражающая небо и облака: заметить такой цеппелин при полете очень трудно, если его не выдаст жужжание мотора.

Так осуществляются в природе и военной технике мечты наших народных сказок о шапке-невидимке.

### Человеческий глаз под водой

Вообразите, что вам дана возможность оставаться под водой сколько угодно времени и что вы при этом держите глаза открытыми. Могли ли бы вы там видеть?

Казалось бы, раз вода прозрачна, ничто не должно мешать видеть под водой так же хорошо, как и в воздухе.

Вспомните, однако, о слепоте «невидимого человека», который не в состоянии видеть потому, что показатели преломления его глаза и воздуха одинаковы. Под водой мы находимся приблизительно в тех же условиях, как и уэллсов «Невидимка» в воздухе. Обратимся к цифрам, — дело станет яснее. Показатель преломления воды — 1,34. А вот показатели преломления прозрачных сред человеческого глаза:

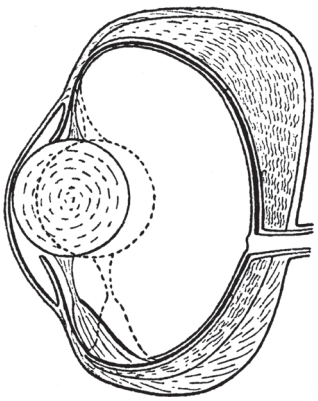


*Рис. 280. Разрез через глаз рыбы. Хрусталик имеет шарообразную форму и не изменяет ее при аккомодации. Вместо изменения формы изменяется положение хрусталика в глазу, как показано пунктирными линиями.*

Роговой оболочки и стекловидного тела ..... 1,34
Хрусталика ..... 1,43
Водянистой влаги ..... 1,34

Вы видите, что преломляющая способность хрусталика всего на 1/10 сильнее, чем у воды, у остальных же частей нашего глаза она *одинакова* с преломляемостью воды. Поэтому под водой фокус лучей получается в глазу человека далеко позади сетчатой оболочки; следовательно, на самой сетчатке изображение должно вырисовываться смутно, различить что-либо можно лишь с трудом.

Если хотите наглядно представить себе, как должны рисоваться нам вещи под водой, — наденьте очки с сильно рассеивающими (*двояковогнутыми*) стеклами; тогда фокус лучей, преломляющихся в глазу, отодвинется далеко за сетчатку, и окружающее предстанет перед вами в неясных, туманных образах.

Не может ли человек под водой помочь своему зрению, пользуясь сильно преломляющими стеклами?

Обыкновенные стекла, употребляемые для очков, мало здесь пригодны: показатель преломления простого стекла 1,5, т. е. лишь весьма немногим больше, чем у воды (1,34); такие очки будут преломлять под водой очень слабо. Нужны стекла особого сорта, отличающиеся чрезвычайно сильной преломляемостью (так называемый тяжелый флинтглас имеет показатель преломления, почти равный двум). С такими очками мы могли бы более или менее отчетливо видеть под водой (о специальных очках для ныряющих — смотри далее).

Теперь понятно, почему у рыб хрусталик имеет чрезвычайно выпуклую форму; он шарообразен, и показатель его преломления — самый большой из всех, какие нам известны в глазах животных. Не будь этого, глаза были бы почти бесполезны рыбам, обреченным на жизнь в сильно преломляющей прозрачной среде.

### Как видят водолазы?

Многие, вероятно, спросят: как же могут водолазы, работающие в своих скафандрах, видеть что-либо под водой, если глаза наши в воде почти не преломляют лучей света? Ведь водолазные шлемы всегда снабжаются плоскими, а не выпуклыми стеклами... Далее, могли ли пассажиры жюль-вернова «Наутилуса» любоваться через окно своей подводной каюты ландшафтом подводного мира?

Перед нами новая задача, которую, впрочем, нетрудно решить. Ответ станет ясен, если принять во внимание что, когда мы находимся под водой без водолазного костюма, вода *непосредственно* прилегает к нашему глазу; в водолазном же шлеме (или в каюте «Наутилуса») глаз *отделен от воды слоем воздуха* (и стекла). Это существенно меняет все дело. Лучи света, выходя из воды

и пройдя через стекло, попадают сначала в воздух и лишь отсюда проникают в глаз. Падая из воды на *плоскопараллельное* стекло под каким-либо углом, лучи, по законам оптики, выходят из стекла, *не меняя направления*; но далее, при переходе из воздуха в глаз лучи, конечно, преломляются, — и глаз при этих условиях действует совершенно так же, как и на суше. В этом и кроется разгадка смутившего нас противоречия.

### Стеклянные чечевицы под водой

Пробовали ли вы делать такой простой опыт: погрузить двояковыпуклое («увеличительное») стекло в воду и рассматривать через него погруженные предметы? Попробуйте, — вас поразит неожиданность: увеличительное стекло в воде почти не увеличивает! Погрузите в воду «уменьшительное» (т. е. двояковогнутое) стекло, — и окажется, что оно утратит там в значительной степени свое свойство уменьшать. Если вы проделаете опыт не с водой, а с растительным маслом (например, кедровым), имеющим показатель преломления больший, чем стекло, то двояковыпуклое стекло будет *уменьшать* предметы, двояковогнутое — *увеличивать* их!

Вспомните, однако, закон преломления лучей света, — и эти чудеса не будут удивлять вас своей необычайностью. Двояковыпуклая чечевица увеличивает в воздухе потому, что стекло преломляет свет сильнее, нежели окружающий ее воздух. Но между преломляющей способностью стекла и воды разница весьма невелика; поэтому, если вы поместите стеклянную чечевицу в воду, то лучи света, переходя из воды в стекло, не испытают большого отклонения.

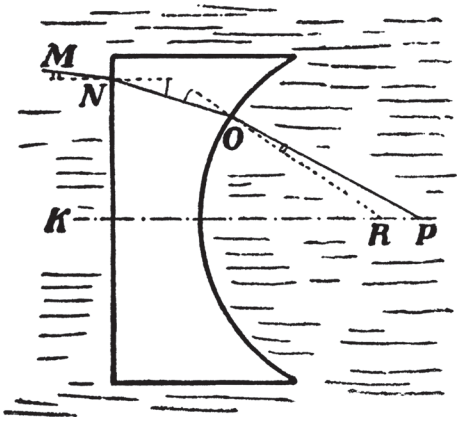



*Рис. 281. Очки для ныряющих состоят из полых плосковогнутых линз. Луч MN, преломляясь, следует по пути MNOP, удаляясь внутри линзы от перпендикуляра падения и приближаясь к нему (т. е. к OP) вне линзы. Поэтому линза действует как собирательное стекло.*

Оттого-то под водой увеличительное стекло гораздо слабее увеличивает, чем в воздухе, а уменьшительное — слабее уменьшает. Растительное же масло преломляет лучи *сильнее*, чем стекло, — и потому в этой жидкости «увеличительные» стекла уменьшают, а «уменьшительные» увеличивают. Так же действуют под водой и пустые (вернее, воздушные) линзы: вогнутые увеличивают, выпуклые — уменьшают. Очки для ныряния представляют собою именно такие полые линзы (рис. 281).

### Неопытные купальщики

Неопытные купальщики нередко подвергаются большой опасности только потому, что забывают об одном любопытном следствии закона преломления света: они не знают, что преломление словно поднимает все погруженные в воду предметы выше истинного их положения. Дно пруда, речки, каждого водоема представляется глазу *приподнятым* почти на *третью часть* глубины, — и, полагаясь на эту обманчивую мелкость, люди нередко попадают в опасное положение. Особенно важно знать это детям и вообще людям невысокого роста, для которых ошибка в определении глубины может оказаться роковой.

Причина — преломление *световых* лучей. Тот же оптический закон, который придает полупогруженной в воду ложке изломанный вид, обусловливает и кажущееся поднятие дна.

Вы можете проверить это явление и у себя на столе.

Посадите товарища за стол так, чтобы он не мог видеть дна стоящей перед ним чашки. На дно ее положите монету, которая, разумеется, будет заслонена стенкой чашки от глаз вашего товарища. Теперь попросите товарища не поворачивать головы — и налейте в чашку воды. Произойдет нечто *неожиданное*: монета сделается для вашего гостя видимой! Удалите воду из чашки спринцовкой, — и дно с монетой опять опустится (рис. 283).

*Рис. 282. Искаженное изображение ложки, полупогруженной в стакан с водой.*

Рис. 284 объясняет, как это происходит. Участок дна *m* кажется наблюдателю (глаз которого — над водой, в точке *A*) в приподнятом

*Рис. 283. Опыт с монетой в чашке.*

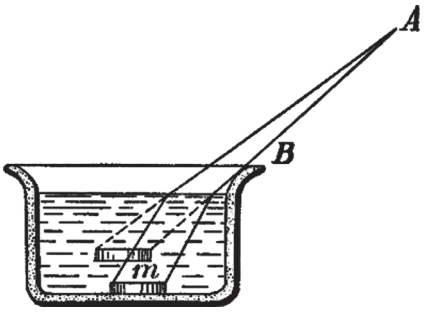



*Рис. 284. Почему монета в опыте рис. 283 кажется приподнявшейся.*

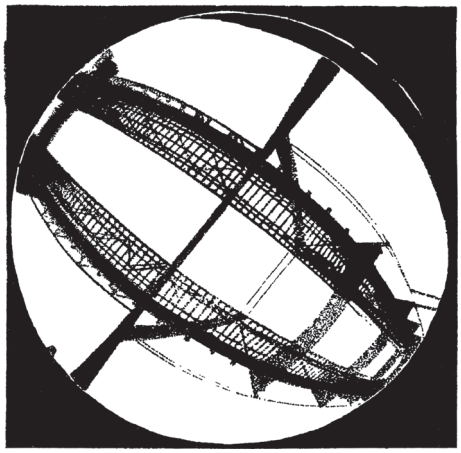


*Рис. 285. В таком виде представляется подводному наблюдателю железнодорожный мост, перекинутый через реку (с фотографии проф. Вуда[1]).*

положении: лучи преломляются и, переходя из воды в воздух, вступают в глаз, как показано на рисунке, а глаз видит участок на продолжении этих линий, т. е. над *m*. Чем наклоннее идут лучи, тем выше поднимается *m*. Вот почему при рассматривании, например, с лодки ровного дна пруда нам всегда кажется, что оно наиболее глубоко прямо под нами, а кругом — все мельче и мельче.

Итак, дно пруда кажется нам вогнутым. Наоборот, если бы мы могли со дна пруда смотреть на перекинутый через него мост, он казался бы нам *выпуклым* (как изображено на рис. 285; о способе получения этой фотографии будет сказано позже). В данном случае лучи переходят из слабо преломляющей среды (воздуха) в сильно преломляющую (воду), поэтому и эффект получается обратный, чем при переходе лучей из воды в воздух. По сходной причине и ряд людей, стоящих, например, возле аквариума, должен казаться рыбам не прямой шеренгой, а дугой, обращенной своей выпуклостью к рыбе. О том, как видят рыбы, или, вернее, как они должны были бы видеть, если бы имели человеческие глаза, — мы скоро побеседуем подробнее.

### Невидимая булавка

Воткните булавку в плоский пробковый кружок и положите его булавкой вниз на поверхность воды в миске. Если пробка не чересчур широка, то, как бы ни наклоняли вы голову, вам не удастся увидеть булавки — хотя, казалось бы, она достаточно длинна, чтобы пробка не заслоняла ее от вас (рис. 286).

[1] Здесь и далее Я. П. имеет в виду профессора Роберта Вуда (см. примечание на с. 283) (*примеч. ред.*).

*Рис. 286. Опыт с булавкой, невидимой в воде.*

Почему же лучи света не доходят от булавки до вашего глаза? Потому что они претерпевают то, что в физике называется «полным внутренним отражением».

Напомним, в чем состоит это явление.

На рис. 287 можно проследить за путями лучей, переходящих из воздуха в воду (вообще — из среды менее преломляющей в среду более преломляющую). Общий закон состоит в том, что, переходя в воду, луч приближается к «перпендикуляру падения»; например, луч, падающий на воду под углом $\beta$ к перпендикуляру, вступает в нее уже под углом $\alpha$, который *меньше*, чем $\beta$. Но что бывает, когда падающий луч, скользя по поверхности воды, падает на водную поверхность почти под прямым углом к перпендикуляру? Он вступает в воду под углом меньшим, чем прямой, а именно под углом всего в 48½ градусов. Под бóльшим углом к перпендикуляру, чем 48½ градусов, луч вступить в воду не может; это для воды «предельный» угол. Необходимо уяснить себе эти несложные отношения, чтобы понять дальнейшие, совершенно неожиданные и чрезвычайно любопытные следствия закона преломления.

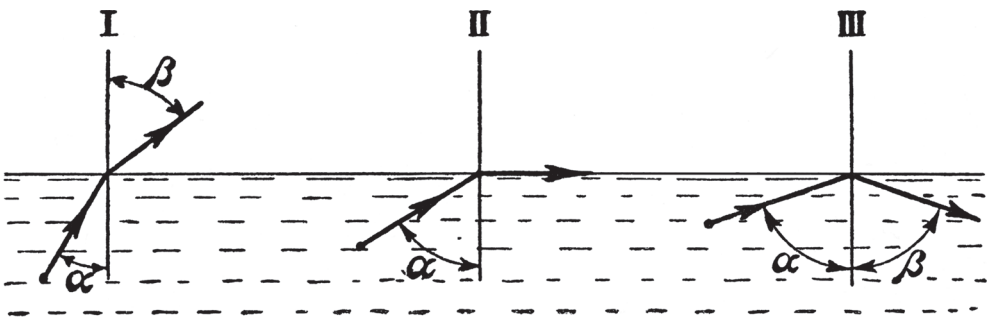



*Рис. 287. Разные случаи преломления луча при переходе из воды в воздух. В случае, изображенном на черт. II, когда луч падает под предельным углом к перпендикуляру падения, луч выходит из воды, скользя вдоль ее поверхности. В III изображен случай полного внутреннего отражения.*

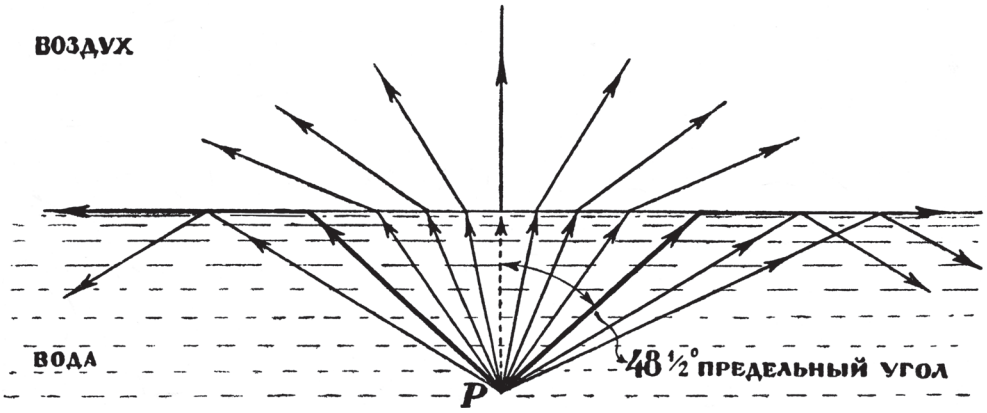



*Рис. 288. Лучи, исходящие из точки P под углом к перпендикуляру падения больше предельного (для воды — 48½ градусов), не выходят в воздух из водной поверхности, а отражаются внутрь.*

Мы сейчас узнали, что лучи, попадающие на воду под всевозможными углами, сжимаются *под водой* в довольно тесный конус с углом растворения 48½ + 48½ = 97. Запомнив это, рассмотрим вопрос с другой стороны, т. е. проследим за ходом лучей, идущих обратно — *из воды в воздух* (рис. 288). По законам оптики, пути будут те же самые, и все лучи, заключенные в упомянутом 97-градусном конусе, выйдут в воздух под различными углами, распределяясь по всему 180-градусному пространству над водой. Но куда же денется подводный луч, находящийся вне упомянутого конуса? Оказывается, *он не выйдет вовсе из-под воды, а отразится от ее поверхности, как от зеркала*. Вообще, всякий подводный луч, встречающий поверхность воды под углом, бóльшим «предельного» (т. е. бóльшим 48½ градусов), не преломляется,

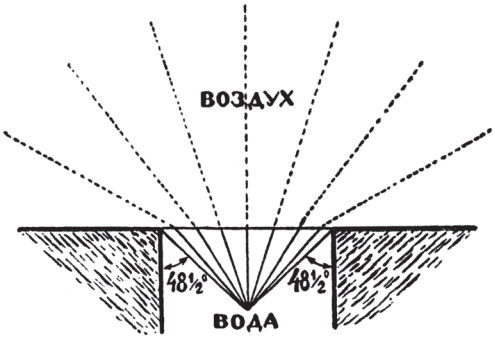



*Рис. 289. Наружный мир сжимается для подводного наблюдателя в конус с углом растворения 97°.*

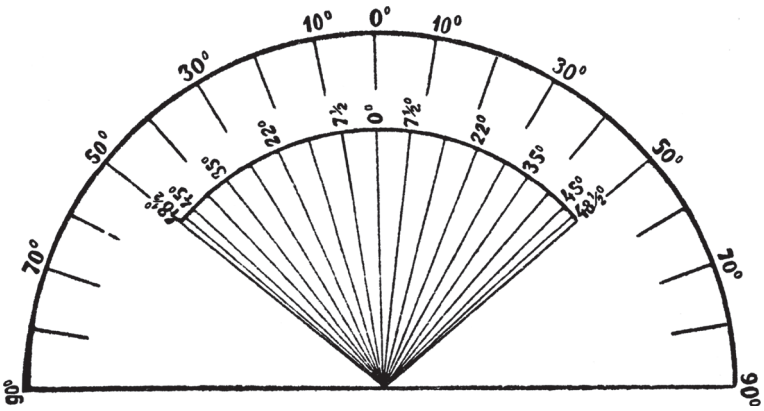



*Рис. 290. Дальнейшее пояснение рис. 289: дуга наружного мира в 180° сокращается для подводного наблюдателя до дуги в 97°; сокращение тем сильнее, чем далее отстоит часть дуги от точки зенита (0°).*

а отражается: он претерпевает, как говорят физики, «полное внутреннее отражение»[1].

Если бы рыбы изучали физику, главнейшим отделом оптики было бы для них учение о «внутреннем отражении», так как в их подводном зрении явление это должно играть первостепенную роль.

В связи с особенностями подводного зрения находится, по всей вероятности, то обстоятельство, что многие рыбы имеют серебристую окраску. По мнению зоологов, такая окраска есть результат приспособления рыб к цвету расстилающейся над ними водной поверхности: при наблюдении *снизу* поверхность воды, как мы знаем, кажется зеркальной — вследствие «полного внутреннего отражения»; а на таком фоне серебристо-окрашенные рыбы остаются незаметными для охотящихся на них водных хищников.

### Мир из-под воды

Многие и не подозревают, каким необычайным казался бы мир, если бы мы стали рассматривать его из-под воды: он должен представляться наблюдателю измененным и искаженным почти до неузнаваемости.

Вообразите, что вы погружены в воду и смотрите из-под водной скатерти в мир надводный. Облако, висящее в небе прямо над вашей головой, нисколько

[1] Отражение называется в данном случае полным потому, что здесь отражаются все 100% падающих лучей, между тем как даже самое лучшее зеркало (из полированного магния или серебра) отражает только часть падающих на него лучей, остальную же поглощает. Вода при указанных условиях является идеальным зеркалом.

не изменит своего вида: отвесный луч, мы знаем, не преломляется. Но все остальные предметы, лучи которых встречают водную поверхность под острыми углами, представляются искаженными: они словно сожмутся по высоте — тем сильнее, чем острее угол встречи луча с водной гладью. Это и понятно: весь мир, видимый над водой, должен уместиться в тесном подводном конусе; 180 градусов должны сжаться почти вдвое — до 97, и изображения неизбежно будут искажаться. Предметы, лучи которых встречают водную гладь под углом в 10 градусов, сжимаются в воде настолько, что почти перестают различаться.

Но всего более поразил бы вас вид самой водной поверхности: из-под воды она представляется вовсе не плоской, а в форме конуса! Вам покажется, что вы находитесь на дне огромной воронки, бока которой наклонены друг к другу под углом немного больше прямого (97°). Верхний край этого конуса окружен радужным кольцом из красной, желтой, зеленой, синей и фиолетовой каемок. Почему? Белый солнечный свет состоит из смешения лучей разных цветов; каждый род лучей имеет свой показатель преломления, а потому и свой «предельный угол». Следствием этого является то, что при рассматривании из-под воды предмет кажется окруженным пестрым ореолом из цветов радуги.

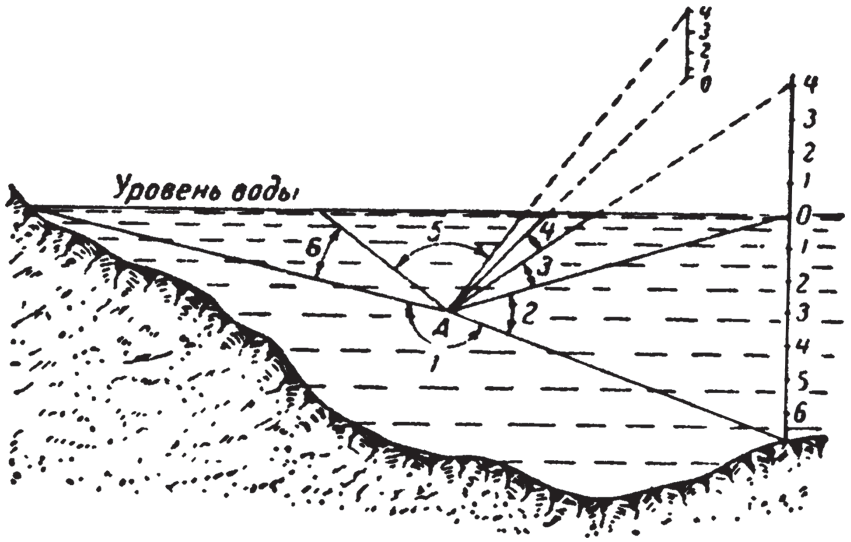



*Рис. 291. Вид полупогруженной водомерной рейки для подводного наблюдателя, глаз которого помещен в А. В угле 2 видна, в туманных очертаниях, погруженная часть рейки. В угле 3 — отражение ее от внутренней поверхности воды. Еще выше видна выступающая часть рейки в сокращении, и притом отделенная от остальной ее части промежутком. В угле 4 отражается дно. В угле 5 виден весь надводный мир в форме конической трубы. В угле 6 видно отражение дна от нижней поверхности воды. В угле 1 — неясное изображение дна.*

Что же видно далее, за краями этого конуса, заключающего в себе весь надводный мир? Там расстилается блестящая поверхность воды, в которой, как в зеркале, отражаются *подводные* предметы.

Совершенно необычайный вид приобрели бы для подводного наблюдателя те предметы, которые частью погружены в воду, частью же выступают над нею. Пусть в реку погружена водомерная рейка (рис. 291). Что увидит наблюдатель, помещенный под водой, в точке *A*?

Разделим обозреваемое им пространство — 360 градусов — на участки и займемся каждым участком отдельно. В пределах угла 1 он увидит дно реки, — если только, конечно, оно достаточно освещено. В угле 2 он увидит подводную часть рейки без искажений. Примерно в угле 3 он увидит отражение той же части рейки, т. е. перевернутую погруженную половину ее (вспомните, что сказано было о «полном внутреннем отражении»). Еще выше подводный наблюдатель увидит выступающую часть рейки, — но она не составит продолжения подводной, а переместится гораздо выше, совершенно отделившись от своего основания. Разумеется, наблюдателю в голову не придет, что эта витающая рейка составляет продолжение первой! К тому же рейка покажется сильно сжатой, особенно в нижней части, — там деления будут заметно сближены. Дерево на берегу, затопленном разливом, должно из-под воды казаться таким, каким оно изображено на рис. 292.

А если бы на месте рейки находился человек, то из-под воды он представился бы фигурой рис. 293. В таком виде купальщик должен казаться рыбам! Для них мы, идя по мелкому дну, раздваиваемся, превращаемся в два существа: верхнее — безногое, нижнее — безголовое с четырьмя ногами! Когда мы удаляемся от подводного наблюдателя, верхняя половина нашего тела все сильнее сжимается в нижней части; на некотором расстоянии почти все надводное туловище пропадает, — остается лишь одна свободно реющая голова...

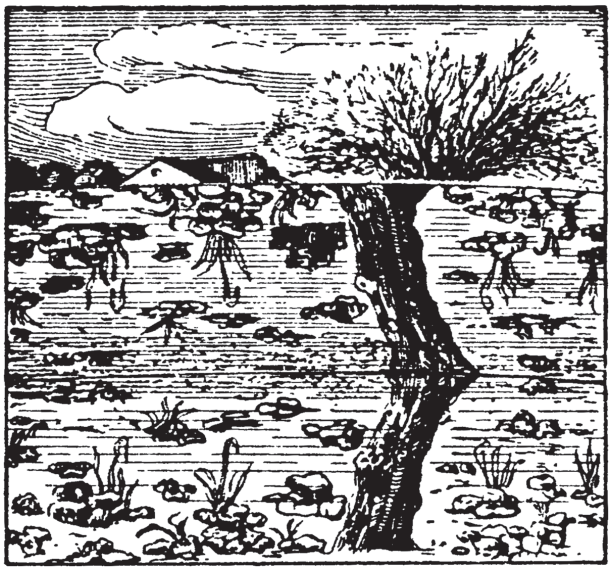


*Рис. 292. Как представляется из-под воды полузатопленное дерево (ср. с рис. 291).*

Можно ли непосредственно, на опыте, проверить эти необычайные выводы? Ныряя под воду, мы увидели бы очень мало, даже если бы и приучили себя держать глаза открытыми. Во-первых, водная поверхность

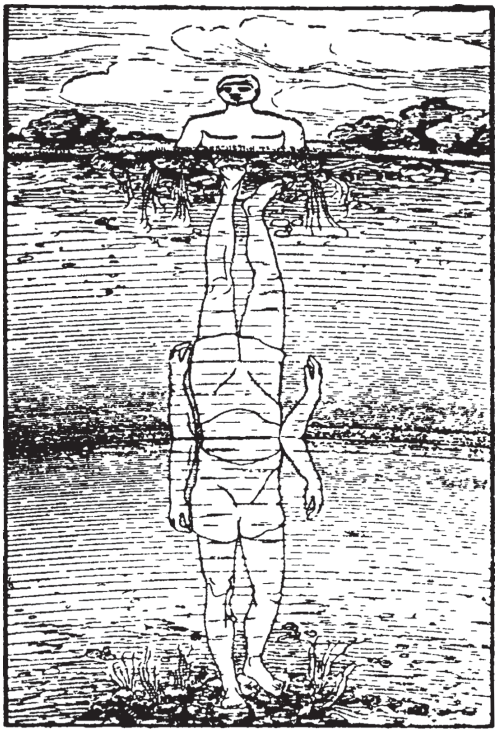


*Рис. 293. Как купальщик, погруженный до груди в воду, представляется подводному наблюдателю (ср. с рис. 291).*

*не успевает* успокоиться в те немногие секунды, какие мы способны провести под водой, а сквозь *волнующуюся* поверхность трудно что-либо различить. Во-вторых, — как мы уже объяснили в предыдущих статьях, — преломление воды мало отличается от преломления прозрачных сред нашего глаза, и на сетчатке получается поэтому очень неясное изображение; окружающее будет казаться туманным, размытым (с. 386). Наблюдение из водолазного колокола, шлема или через стеклянное окно подводной лодки также не могло бы дать желаемых результатов. В этих случаях, — как мы также уже разъяснили, — наблюдатель хотя и находится под водой, но вовсе не в условиях «подводного зрения»: прежде чем вступить в его глаз, лучи света в этих случаях, пройдя стекло, *вновь вступают в воздушную среду* и, следовательно, испытывают обратное преломление; при этом либо восстанавливается прежнее направление луча, либо же он получает новое направление, но во всяком случае не то, которое имел в воде. Вот почему наблюдения из стеклянных окон подводных помещений не могут дать *правильного представления* об условиях «подводного зрения».

Однако нет надобности быть *самому* под водой, чтобы познакомиться с тем, каким кажется мир из-под воды. Условия подводного зрения можно изучать с помощью особой фотографической камеры, которая внутри наполнена водой. Вместо объектива пользуются при этом металлической пластинкой с просверленной в ней дырочкой. Легко понять, что если все пространство между отверстием и светочувствительной пластинкой наполнено водой, то внешний мир должен изобразиться на пластинке в таком виде, в каком рисуется он подводному наблюдателю. Этим способом пользовался американский физик профессор Вуд и получил чрезвычайно любопытные фотографии, одну из которых мы воспроизвели на рис. 285. Что касается причины искажения формы надводных предметов для подводного наблюдателя (прямые линии железнодорожного моста получались на фотографии Вуда в виде дуг), то мы указали на нее, когда объясняли, почему плоское дно пруда кажется вогнутым (с. 414).

Есть и другой способ непосредственно познакомиться с тем, каким кажется мир подводным наблюдателям: в воду спокойного пруда можно погрузить зеркало и, дав ему надлежащий наклон, наблюдать в нем отражение надводных предметов.

Результаты таких наблюдений подтверждают во всех подробностях те теоретические соображения, которые изложены выше.

Итак, прозрачный слой воды между глазом и предметами вне этого слоя искажает всю картину надводного мира, придает ему фантастические очертания. Существо, которое после жизни на суше очутилось бы в воде, не узнало бы родного мира, — так изменился бы он при рассматривании из глубины прозрачной водной стихии.

## Цвета в глубине вод

Картинно описывает смену световых оттенков под водой американский биолог Бийб, о глубоководном спуске которого в стальном шаре-батисфере я уже упоминал (с. 315).

«Мы погрузились в воду, и внезапный переход от золотисто-желтого мира в зеленый был неожидан. После того как пена и пузыри сошли с окон, нас залил зеленый свет; наши лица, баллоны, даже вычерненные стены были окрашены им. Между тем, с палубы казалось, что мы погружаемся в темный ультрамарин.

Первое же погружение в воду лишает глаз теплых[1] (т. е. красных и оранжевых) лучей спектра. Красный и оранжевый цвета словно никогда не существовали, а вскоре и желтые тона были поглощены зелеными. Хотя радостные теплые лучи составляют лишь небольшую часть видимого спектра, но, когда они исчезают на глубине 30 или более метров, остается только холод, мрак и смерть.

По мере того как мы спускались, постепенно исчезали и зеленые тона; на глубине 60 метров уже нельзя было сказать, была ли вода зеленовато-синей или сине-зеленой.

На глубине 180 метров все казалось окрашенным густым, сияющим синим светом. В нем настолько мало было силы освещения, что писать и читать стало невозможно.

На глубине 300 метров я попытался определить цвет воды — черно-синий, темно-серо-синий. Странно, что, когда синий цвет пропадает, его не заступает фиолетовый — последний в видимом спектре: он, по-видимому, уже поглощен. Последний намек на синее переходит в неопределимый серый цвет, а серый, в свою очередь, в черный. Начиная с этого уровня солнце побеждено, и цвета изгнаны навсегда, пока не проникнет сюда человек и не пронижет электрическим лучом то, что в течение миллиардов лет было абсолютной чернотой».

---

[1] Здесь слово «теплый» употреблено не в физическом смысле, а в том, какой придают этому слову художники, характеризуя оттенки цветов; «теплыми» они называют красный и оранжевый, в отличие от «холодных» — синего и голубого.

О темноте на большой глубине тот же исследователь пишет в другом месте следующее:

«Тьма на глубине 750 метров казалась черней, чем можно вообразить» — и все же теперь (на глубине около 1000 метров) она казалась чернее черного. Казалось, все предстоящие ночи в верхнем мире будут восприниматься только как относительные степени сумерек. И никогда более не мог я применять слово „черный“ с твердым убеждением».

(Подробнее о цвете в морских глубинах см. книгу проф. Шулейкина «Очерки по физике моря», 1935.)

### Слепое пятно нашего глаза

Если вам скажут, что в поле вашего зрения есть участок, которого вы совершенно не видите, хотя он находится прямо перед вами, — вы этому, конечно, не поверите. Возможно ли, чтобы мы всю жизнь не замечали такого крупного недостатка своего зрения? А между тем вот простой опыт, могущий убедить вас в этом.

Держите рис. 294 на расстоянии сантиметров 20 от вашего правого глаза (закрывши левый) и смотрите на крестик, помещенный слева; медленно приближайте рисунок к глазу: непременно наступит момент, когда большое черное пятно на скрещении обеих окружностей *бесследно исчезнет*! Вы его не увидите, хотя оно будет оставаться в пределах видимого участка, а *обе окружности вправо и влево от него будут отчетливо видны*!

Этот опыт, впервые произведенный в 1668 г. (в несколько ином виде) знаменитым физиком Мариоттом, очень забавлял придворных Людовика XIV. Мариотт проделывал опыт так: помещал двух вельмож на расстоянии 2 м друг против друга и просил их рассматривать одним глазом некоторую точку сбоку, — тогда каждому казалось, что у его визави нет головы.

Как ни странно, но люди только в XVII веке узнали, что на сетчатке их глаз существует «слепое пятно», о котором никто раньше не думал. Это то место сетчатой оболочки, где зрительный нерв вступает в глазное яблоко и еще не разделяется на мелкие разветвления, снабженные элементами, чувствительными к свету.

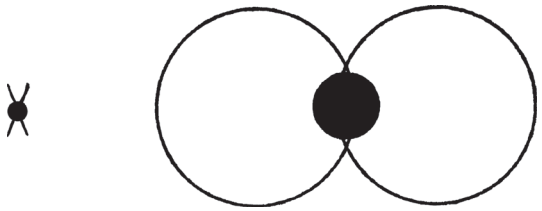


*Рис. 294. Фигура для обнаружения слепого пятна.*

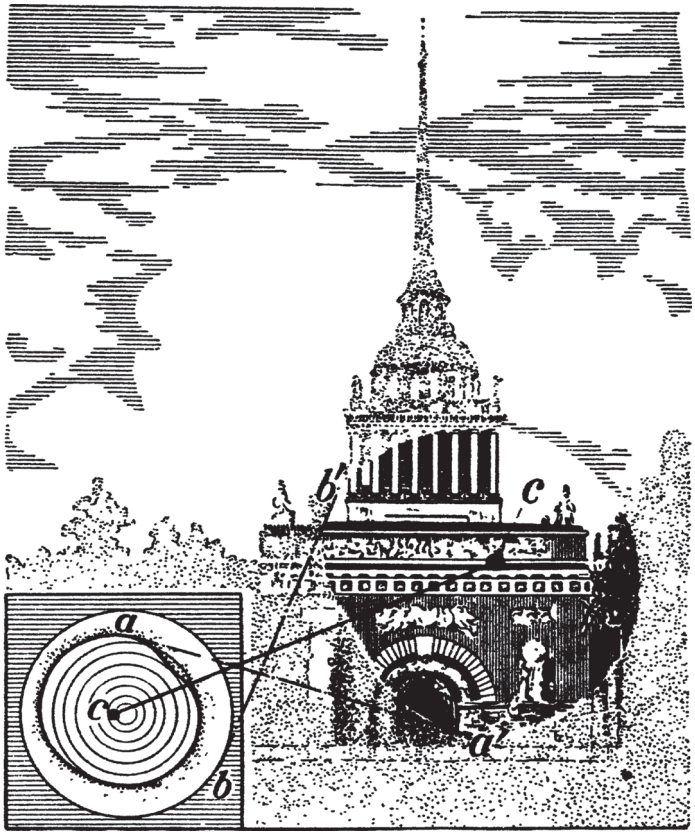



*Рис. 295. При рассматривании здания одним глазом небольшой участок C поля зрения, отвечающий слепому пятну (c) глаза, нами не воспринимается вовсе.*

Мы не замечаем черной дыры в поле нашего зрения вследствие долговременной привычки. Воображение невольно заполняет этот пробел подробностями окружающего фона: так, на рис. 294 мы, не видя пятна, мысленно продолжаем линии окружностей и убеждены, будто ясно видим то место, в котором они пересекаются.

Если вы носите очки, то можете проделать такой опыт: наклейте кусочек бумаги на стекло очков (не в самой середине, а сбоку). В первые дни бумажка будет мешать смотреть; но пройдет декада, другая, и вы так привыкнете к ней, что перестанете даже ее замечать. Впрочем, это хорошо знает каждый, кому приходилось носить очки с треснувшим стеклом: трещина замечается только в первые дни. Точно так же, в силу долговременной привычки, не замечаем мы слепого пятна нашего глаза. Кроме того, оба слепых пятна отвечают различным участкам поля зрения каждого глаза, так что при зрении двумя глазами не бывает пробела в их общем поле зрения.

Не думайте, что слепое пятно нашего поля зрения незначительно; когда вы смотрите (одним глазом) на дом с расстояния 10 м, то, из-за слепого пятна, не видите довольно обширной части его фасада, имеющей в поперечнике более метра; в нем умещается целое окно. А на небе остается невидимым пространство, равное по площади 120 дискам полной Луны!

### Какой величины нам кажется Луна?

Кстати — о видимых размерах Луны. Если вы станете расспрашивать знакомых, какой величины *представляется* им Луна, то получите самые разнообразные ответы. Большинство скажет, что Луна величиной с тарелку, но будут и такие, которым она кажется величиной с блюдце для варенья, с вишню, с яблоко. Одному школьнику Луна всегда казалась «величиной с круглый стол на двенадцать персон». А один современный беллетрист утверждает, что на небе была «луна диаметром в аршин».

Откуда такая разница в представлениях о величине одного и того же предмета?

Она зависит от различия в оценке *расстояния*, — оценке всегда бессознательной. Человек, видящий Луну величиной с яблоко, представляет ее себе находящейся на расстоянии гораздо меньшем, нежели те люди, которым она кажется величиной с тарелку или с круглый стол.

Большинство людей, впрочем, представляют себе Луну величиной с тарелку. Отсюда можно сделать любопытный вывод. Если вычислить (способ расчета станет ясен из дальнейшего), на какое расстояние помещает каждый из нас Луну, имеющую такие *видимые* размеры, то окажется, что удаление не превышает 30 м. Вот на каком скромном расстоянии помещаем мы бессознательно наше ночное светило!

На ошибочной оценке расстояний основано немало иллюзий зрения. Я хорошо помню оптический обман, который испытал в раннем детстве, «когда мне были новы все впечатленья бытия». Уроженец города, я однажды весной, во время загородной прогулки, в первый раз в жизни увидел пасущееся на лугу стадо коров; так как я неправильно оценил расстояние, коровы эти показались мне карликовыми! Таких крошечных коров я с тех пор ни разу не видел и, конечно, никогда не увижу[1].

Видимый размер светил астрономы определяют величиной того угла, под которым мы их видим. «Угловой величиной» («углом зрения») называют

---

[1] Впрочем, и взрослые иногда поддаются подобной иллюзии. Об этом свидетельствует следующий отрывок из повести Григоровича «Пахарь»:

«Окрестность открылась как на ладони; деревня казалась подле самого моста; дом, холм и березовая рощица казались примыкающими теперь к деревне. Все это — и дом, и сад, и деревня — приняло теперь вид тех игрушек, где стебли мха изображают деревья, кусочки зеркала — речку».

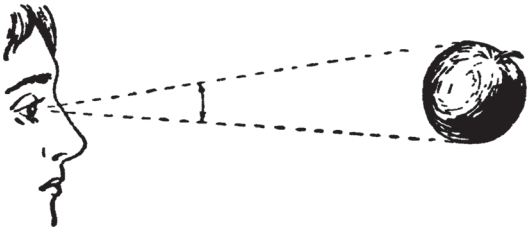


*Рис. 296. Что такое угол зрения.*

угол, который составляют две прямые, проведенные к глазу от крайних точек рассматриваемого тела (рис. 296). Углы же, как известно, измеряются градусами, минутами и секундами. На вопрос о видимой величине лунного диска астроном не скажет, что диск равен яблоку или тарелке, а ответит, что он равен половине градуса; это значит, что прямые линии, проведенные от краев лунного диска к нашему глазу, составляют угол в полградуса. Такое определение видимых размеров есть единственно правильное, не порождающее недоразумений.

Геометрия учит[1], что предмет, удаленный от глаза на расстояние в 57 раз больше его поперечника, должен представляться наблюдателю под углом в 1°. Например, яблоко в 5 см диаметром будет иметь угловую величину в 1°, если его держать от глаза на расстоянии 5 × 57 см. На вдвое большем расстоянии оно представится под углом ½°, т. е. такой же величины, какой мы видим Луну. Если угодно, вы можете сказать, что Луна кажется вам величиной с яблоко, — но при условии, что яблоко это удалено от глаза на 570 см (около 6 м). При желании сравнить видимую величину Луны с тарелкой вам придется отодвинуть тарелку метров на 30. Большинство людей не хочет верить, что Луна представляется такой маленькой; но попробуйте поместить гривенник на таком расстоянии от глаза, которое в 114 раз больше его диаметра: он как раз покроет Луну, хотя удален от глаза на два метра.

Если бы вам предложили нарисовать на бумаге кружок, изображающий диск Луны, видимый простым глазом, задача показалась бы вам недостаточно определенной: кружок может быть и большим, и маленьким, смотря по тому, как далеко он отодвинут от глаза. Но условия определятся, если остановимся на том расстоянии, на каком мы обыкновенно держим книги, чертежи и т. п., — т. е. на расстоянии *лучшего* зрения. Оно равно для нормального глаза 25 см.

Итак, вычислим, какой величины должен быть кружок хотя бы на странице этой книги, чтобы видимый размер его равнялся лунному диску. Расчет прост: надо разделить расстояние 25 см на 114. Получим довольно незначительную величину — чуть больше 2 мм! Примерно такой ширины буква «о» типографского шрифта этой книги. Прямо не верится, что Луна, —

[1] Читатель, заинтересовавшийся относящимися к углу зрения геометрическими расчетами, найдет разъяснения и примеры в моей книге «Занимательная геометрия».

а также равное ей по *видимым* размерам Солнце — кажутся нам под таким небольшим углом!

Вы замечали, вероятно, что после того как глаз ваш был направлен на Солнце, в поле зрения долго мелькают цветные кружки. Эти так называемые оптические следы имеют ту же угловую величину, что и Солнце. Но кажущиеся размеры их меняются: когда вы смотрите на небо, они имеют величину солнечного диска; когда же бросаете взгляд на лежащую перед вами книгу, «след» Солнца занимает на странице место кружка с поперечником около 2 мм, наглядно подтверждая правильность нашего расчета.

### Видимые размеры светил

Если бы, придерживаясь этого масштаба, мы пожелали изобразить на бумаге созвездие Большой Медведицы, то получили бы фигуру, представленную на рис. 297. Глядя на нее с расстояния лучшего зрения, мы видим созвездие таким, каким оно рисуется нам на небесном своде. Это, так сказать, карта Большой Медведицы с сохранением угловых размеров. Если вам хорошо знакомо зрительное впечатление от этого созвездия, — не *фигура* только, а именно непосредственное зрительное *впечатление*, — то, всматриваясь в приложенную карту, вы словно вновь переживаете это впечатление. Зная угловые расстояния между главными звездами всех созвездий (они приводятся в астрономических календарях и подробных справочных изданиях), вы можете начертить в «натуральном масштабе» целый астрономический атлас. Для этого достаточно запастись миллиметровой бумагой и считать на ней каждые 4½ мм за градус (площади кружков, изображающих звезды, надо чертить пропорциональными яркости).

Обратимся теперь к планетам. Видимые размеры их, как и звезд, настолько малы, что невооруженному глазу они кажутся лучистыми точками. Это и понятно, потому что ни одна планета (кроме разве Венеры в период ее наибольшей яркости) не представляется простому глазу под углом более 1 минуты, т. е. той предельной величины, при которой мы вообще можем различать предмет как тело, имеющее размеры (под меньшим углом каждый предмет кажется нам точкой без очертаний).

Вот величины разных планет в угловых секундах; против каждой планеты показаны две цифры — первая соответствует наименьшему расстоянию светила от Земли, вторая — наибольшему:

| | | |
|---|---|---|
| Меркурий | 13–5 | секунд |
| Венера | 64–10 | |
| Марс | 25–3½ | |
| Юпитер | 50–31 | |
| Сатурн | 20–15 | |
| Кольца Сатурна | 48–35 | |

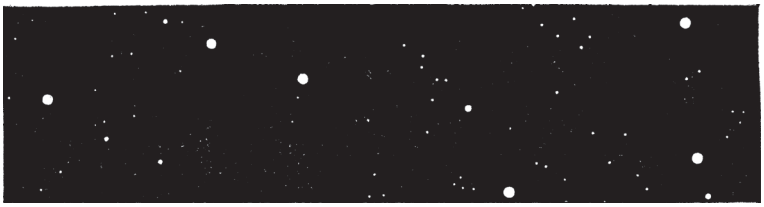


*Рис. 297. Созвездие Большой Медведицы в натуральном угловом масштабе. (Держать рисунок на расстоянии 25 см от глаза.)*

Начертить эти величины в «натуральном масштабе» на бумаге нет возможности: даже целая угловая *минута*, т. е. 60 секунд, отвечает, на расстоянии лучшего зрения, лишь 0,04 мм — величине, неразличимой для простого глаза. Изобразим поэтому планетные диски такими, какими они кажутся в телескоп, увеличивающий в 100 раз. На рис. 298 перед вами таблица видимых размеров планет при таком увеличении. Нижняя дуга изображает край лунного (или солнечного) диска в телескопе с 100-кратным увеличением. Над ним — Меркурий при наименьшем его удалении от Земли. Еще выше Венера в разных фазах; в ближайшем к нам положении эта планета совершенно не видна, так как обращена к Земле неосвещенной половиной[1]; затем становится видимым

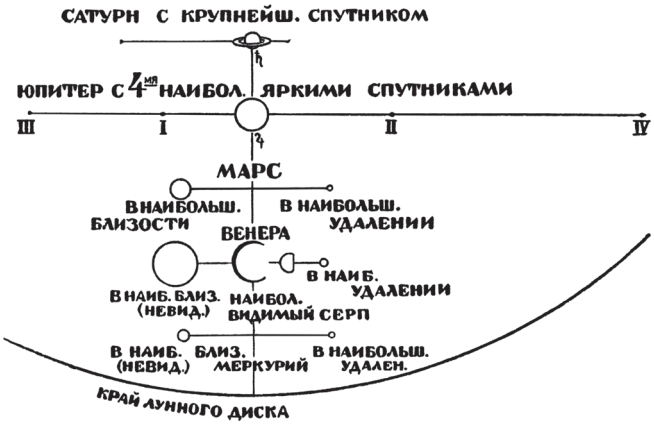



*Рис. 298. Если держать этот чертеж на расстоянии 25 см от глаза, то начерченные на нем планетные диски представятся нам по размерам в точности такими, какими видны планеты в телескоп, увеличивающий в 100 раз.*

[1] Ее можно видеть в этом положении только в те крайне редкие моменты, когда она проектируется на диск Солнца в виде черного кружочка (так называемое прохождение Венеры).

ее узкий серп, — это наибольший из всех планетных «дисков»; в дальнейших фазах Венера все уменьшается, и полный диск имеет поперечник в 6 раз меньший, нежели у узкого серпа.

Выше над Венерой изображен Марс. Налево вы видите его в наибольшем приближении к Земле; таким показывает его нам труба с 100-кратным увеличением. Что можно различить на этом маленьком диске? Вообразите тот же кружок увеличенным в 10 раз и получите представление о том, что видит астроном, изучающий Марс в могущественнейший телескоп с 1000-кратным увеличением. Можно ли на столь тесном пространстве уловить с несомненностью такие тонкие подробности, как пресловутые «каналы», или заметить легкое изменение окраски, связанное будто бы с растительностью на дне «океанов» этого мира? Неудивительно, что свидетельства одних наблюдателей существенно расходятся с показаниями других, и одни считают оптической иллюзией то, что будто бы отчетливо видят другие[1]...

Великан Юпитер со своими спутниками занимает очень видное место в вашей таблице: его диск значительно больше диска прочих планет (исключая серп Венеры), а четыре главнейших спутника раскинуты по линии, равной почти половине лунного диска. Здесь Юпитер изображен в наибольшем приближении к Земле. Наконец, Сатурн с кольцами и самой крупной из его лун (Титаном) представляет собой также довольно заметный объект в моменты наибольшей близости к нам.

После сказанного читателю ясно, что каждый видимый предмет кажется нам тем меньшим, чем ближе мы его себе представляем. И обратно: если почему-либо мы преувеличим расстояние до предмета, то и самый предмет покажется нам соответственно бóльших размеров.

Далее приведен поучительный рассказ американского писателя Эдгара По, описывающий именно такую иллюзию зрения. При кажущемся неправдоподобии он вовсе не фантастичен. Я сам сделался однажды жертвой почти такой же иллюзии, — да и многие из наших читателей, вероятно, вспомнят сходные случаи из собственной жизни.

## Сфинкс

Рассказ Эдгара По[2]

«В эпоху ужасного владычества холеры в Нью-Йорке я получил приглашение от одного из моих родственников провести две недели в его уединенной даче. Мы провели бы время очень недурно, если бы не ужасные вести из города, получавшиеся ежедневно. Не было дня, который бы не принес нам известия о смерти кого-либо из знакомых. Под конец мы со страхом ожидали газету. Самый ветер с юга, казалось нам,

[1] В 1970-е гг. было установлено, что большинство марсианских «каналов» являются именно оптической иллюзией (*примеч. ред.*).

[2] Перевод М. А. Энгельгардта. В тексте сделаны несущественные пропуски.

был насыщен смертью. Эта леденящая мысль всецело овладела моей душой. Мой хозяин был человек более спокойного темперамента и старался ободрить меня.

На закате жаркого дня я сидел с книгой в руках у раскрытого окна, из которого открывался вид на отдаленный холм за рекой. Мысли мои давно уже отвлеклись от книги к унынию и отчаянию, царившим в соседнем городе. Подняв глаза, я случайно взглянул на обнаженный склон холма и — увидел нечто странное: отвратительное чудовище быстро спускалось с вершины холма и исчезло в лесу у его подножия. В первую минуту, увидев чудовище, я усомнился в здравом состоянии моего рассудка или, по крайней мере, глаз, и только спустя несколько минут убедился, что я не брежу. Но если я опишу это чудовище (которое я видел совершенно ясно и за которым наблюдал все время, пока оно спускалось с холма), мои читатели, пожалуй, не так легко поверят этому.

Определяя размеры этого существа по сравнению с диаметром огромных деревьев, я убедился, что оно далеко превосходит величиною любой линейный корабль. Я говорю линейный корабль, потому что форма чудовища напоминала корабль: корпус семидесятичетырехпушечного судна может дать довольно ясное представление об его очертаниях. Пасть животного помещалась на конце хобота футов в шестьдесят или семьдесят длиною и приблизительно такой же толщины, как туловище обыкновенного слона. У основания хобота находилась густая масса косматых волос, а из нее выдавались, изгибаясь вниз и вбок, два блестящих клыка, подобные кабаньим, только несравненно бóльших размеров. По обеим сторонам хобота помещались два гигантских прямых рога, футов в тридцать или сорок длиной, по-видимому, хрустальных; они ослепительно сияли в лучах солнца. Туловище имело форму клина, обращенного вершиной к земле. Оно было снабжено двумя парами крыльев, — каждое имело

*Рис. 299. «...Чудовище спускалось с вершины холма».*

футов около 300 в длину, — помещавшимися одна над другой. Крылья были густо усажены металлическими пластинками; каждая имела футов десять-двенадцать в диаметре. Но главную особенность этого страшного существа составляло изображение мертвой головы, занимавшей почти всю поверхность груди; она резко выделялась на темной поверхности своим ярким белым цветом, точно нарисованная.

Пока я с чувством ужаса смотрел на это страшное животное, в особенности на зловещую фигуру на его груди, оно внезапно разинуло пасть и испустило громкий стон... Нервы мои не выдержали, и, когда чудовище исчезло у подошвы холма в лесу, я без чувств повалился на пол...

Когда я очнулся, первым моим побуждением было рассказать моему другу о том, что я видел. Выслушав меня до конца, он сначала расхохотался, а затем принял очень серьезный вид, как будто нисколько не сомневался в моем помешательстве.

В эту минуту я снова увидел чудовище и с криком указал на него моему другу. Он посмотрел, но уверял, что ничего не видит, хотя я подробно описывал ему положение животного, пока оно спускалось с холма.

Я закрыл лицо руками. Когда я отнял их, чудовище уже исчезло.

Мой хозяин принялся расспрашивать меня о внешнем виде чудовища. Когда я рассказал ему все подробно, он перевел дух, точно избавившись от какой-то невыносимой тяжести, подошел к книжному шкафу и достал учебник естественной истории. Затем, предложив мне поменяться местами, так как у окна ему легче было разбирать мелкую печать книги, он уселся на стул и, открыв учебник, продолжал:

— Если бы вы не описали мне так подробно чудовище, я, пожалуй, никогда не мог бы объяснить вам, что это такое было. Прежде всего, позвольте, я вам прочту из этого учебника описание рода *Sphinx*, из семейства *Crepuscuariae* (сумеречных) порядка *Lepidoptera* (чешуекрылых, или бабочек) класса *Insecta*, или насекомых. Вот оно:

„Две пары перепончатых крыльев, покрытых мелкими окрашенными чешуйками металлического блеска; ротовые органы, образовавшиеся из удлиненных нижних челюстей; по бокам их зачатки пушистых щупальцев; нижние крылья соединены с верхними крепкими волосками; усики в виде призматических отростков; брюшко заостренное. Сфинкс Мертвая Голова является иногда предметом суеверного ужаса среди простонародья, в виду издаваемого им печального звука и фигуры черепа на груди“[1].

Тут он закрыл книгу и наклонился к окну в той же самой позе, в какой сидел я, когда увидел „чудовище“.

— Ага, вот оно! — воскликнул он, — оно поднимается по склону холма и, признаюсь, выглядит очень курьезно. Но оно вовсе не так велико и не так далеко, как вы вообразили, так как взбирается по нити, прикрепленной каким-нибудь пауком к нашему окну!»

[1] Теперь эту бабочку относят к роду *Acherontia*. Это одна из немногих бабочек, способных издавать звуки — свист, напоминающий мышиный визг, — и единственная, производящая звуки с помощью ротовых органов. Голос ее довольно громок, — он слышен за много метров. В данном случае он мог показаться наблюдателю особенно громким, так как источник звука мысленно отнесен был на весьма далекое расстояние (см. «Занимательную физику», кн. I, гл. X, «Курьезы слуха», с. 221).

## Почему микроскоп увеличивает?

«Потому что он изменяет ход лучей определенным образом, описанным в учебниках физики», — вот что чаще всего приходится слышать в ответ на этот вопрос. Но в таком ответе указывается отдаленная причина; самая же сущность дела не затрагивается. В чем же основная причина увеличительного действия микроскопа и телескопа?

Я узнал ее не из учебника, а постиг случайно, когда школьником заметил однажды чрезвычайно любопытное и сильно озадачившее меня явление. Я сидел у закрытого окна и смотрел на кирпичную стену дома в противоположной стороне узкого переулка. Вдруг я в ужасе отшатнулся: с кирпичной стены — я ясно видел это! — смотрел на меня исполинский человеческий глаз в несколько метров ширины... В то время я еще не читал приведенного сейчас рассказа Эдгара По и потому не сразу сообразил, что исполинский глаз был отражением моего собственного, отражением, которое я проектировал на отдаленную стену и потому представлял себе соответственно увеличенным.

Догадавшись же, в чем дело, я стал размышлять о том, нельзя ли устроить микроскоп, основанный на этом обмане зрения. И вот тогда, когда я потерпел неудачу, мне стало ясно, в чем сущность увеличительного действия микроскопа: вовсе не в том, что рассматриваемый предмет кажется бóльших размеров, а в том, что он усматривается нами *под бóльшим углом зрения*, а следовательно, — и это самое важное, — его изображение занимает *больше места на сетчатке нашего глаза*.

Чтобы понять, почему столь существенное значение имеет здесь угол зрения, мы должны обратить внимание на важную особенность нашего глаза: каждый предмет или каждая его часть, представляющиеся нам под углом, меньшим одной угловой минуты, сливаются для нормального зрения в *точку*, в которой мы не различаем ни формы, ни частей. Когда предмет так далек от глаза или так мал сам по себе, что весь он или отдельные части его представляются под углом зрения менее 1', мы перестаем различать в нем подробности его строения. Происходит же это потому, что при таком угле зрения изображение предмета на дне глаза (или изображение какой-либо части предмета) захватывает не множество нервных окончаний в сетчатке сразу, а умещается

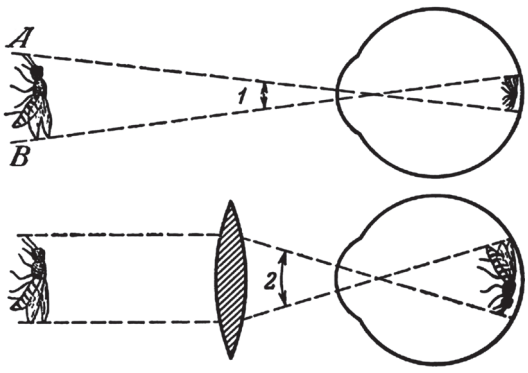



*Рис. 300. Линза увеличивает изображение на сетчатке глаза.*

целиком на одном чувствительном элементе: подробности формы и строения тогда исчезают, — мы видим *точку*.

Роль микроскопа и телескопа состоит в том, что, изменяя ход лучей от рассматриваемого предмета, они показывают его нам под бóльшим углом зрения; изображение на сетчатке растягивается, захватывает больше нервных окончаний, — и мы различаем уже в предмете такие подробности, которые раньше сливались в точку. «Микроскоп или телескоп увеличивает в 100 раз», — это значит, что он показывает нам предметы под углом зрения в 100 раз бóльшим, чем мы видим их без инструмента. Если же оптический инструмент не увеличивает угла зрения, *то он не дает никакого увеличения, хотя бы нам и казалось, что мы видим предмет увеличенным*. Глаз на кирпичной стене казался мне огромным, — но я не видел в нем *ни одной лишней подробности* по сравнению с тем, что вижу, глядя в зеркало. Луна низко у горизонта кажется нам заметно *большею*, чем высоко на небе, — но разве на этом увеличенном диске замечаем мы хоть одно лишнее пятнышко, неразличимое при высоком стоянии Луны?

Если обратимся к случаю увеличения, описанному в рассказе Эдгара По «Сфинкс», мы убедимся, что и здесь в увеличенном объекте не было усмотрено никаких новых частностей. Угол зрения оставался неизменным, бабочка видна под одним и тем же углом, относим ли мы ее далеко в лес или близко к раме окна. А раз не меняется угол зрения, то увеличение предмета, как бы ни поражал он наше воображение, не открывает наблюдателю ни одной новой подробности. Как истинный художник, Эдгар По верен природе даже и в этом пункте своего рассказа. Заметили ли вы, как описывает он «чудовище» в лесу: перечень отдельных членов насекомого не заключает ни одной новой черты по сравнению с тем, что представляет «мертвая голова» при наблюдении невооруженным глазом. Сравните оба описания, — они не без умысла приведены в рассказе, — и вы убедитесь, что отличаются они только в словесных выражениях (10-футовые пластинки — чешуйки, гигантские рога — усики, кабаньи клыки — щупальца и т. д.), но никаких новых подробностей, неразличимых простым глазом, в первом описании нет.

Если бы действие микроскопа заключалось лишь в *таком* увеличении, он был бы бесполезен для науки, превратившись в любопытную игрушку, не более. Но мы знаем, что это не так, что микроскоп открыл человеку новый мир, далеко раздвинув границы нашего естественного зрения:

Хоть острым взором нас природа одарила,
Но близок оного конец имеет сила.
Коль многих тварей он еще не досягает,
Которых малый рост пред нами сокрывает!

— писал наш первый натуралист Ломоносов в «Письме о пользе стекла». Но «в нынешних веках» нам микроскоп открыл строение мельчайших, невидимых существ:

Коль тонки члены в них, составы, сердце, жилы
И нервы, что хранят в себе животны силы!
Не меньше нежели в пучине тяжкий кит,
Нас малый червь частей сложением дивит...
Коль много микроскоп нам тайности открыл
Невидимых частиц и тонких в теле жил!

Теперь мы можем уже дать себе ясный отчет в том, почему именно микроскоп открывает нам «тайности», которых не усмотрел на своем чудовище-бабочке наблюдатель в рассказе Эдгара По: потому что — подведем итог сказанному — микроскоп не просто представляет нам предметы в увеличенном виде, а показывает их *под бóльшим углом зрения*; вследствие этого на задней стенке глаза рисуется *увеличенное изображение предмета*, действующее на более многочисленные нервные окончания и тем доставляющее нашему сознанию большее число отдельных зрительных впечатлений. Коротко говоря: микроскоп увеличивает не предметы, а их изображения на дне глаза.

### Зрительные самообманы

Мы часто говорим об «обмане зрения», «обмане слуха», — но выражения эти неправильны. Обманов *чувств* нет. Философ Кант метко сказал по этому поводу: «Чувства не обманывают нас, — не потому, что они не всегда правильно судят, а потому, что вовсе не судят».

Что же тогда обманывает нас при так называемых обманах чувств? Разумеется, то, что в данном случае *судит*, т. е. наш собственный мозг. Действительно, бóльшая часть обманов зрения зависит исключительно от того, что мы не только *видим*, но и бессознательно *рассуждаем*, причем невольно вводим себя в заблуждение. Это — обманы *суждения*, а не чувств.

Еще два тысячелетия назад древний поэт Лукреций писал:

Наши глаза познавать не умеют природу предметов.
А потому не навязывай им заблуждений рассудка.

*Рис. 301. Что шире — A или B?*

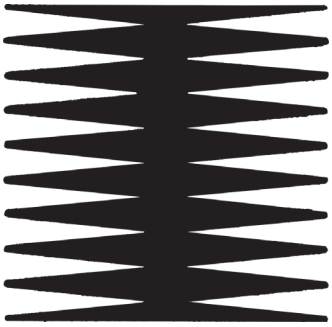


*Рис. 302. Что больше в этой фигуре — высота или ширина?*

Возьмем общеизвестный пример оптической иллюзии: фигура *A* (рис. 301) кажется у́же, нежели фигура *B*, хотя обе ограничены строго одинаковыми квадратами. Причина кроется в том, что оценка *высоты* фигуры *A* получается у нас как результат бессознательного сложения отдельных промежутков, и потому она кажется нам больше, чем равная ей *ширина* той же фигуры. Напротив, на фигуре *B* в силу того же бессознательного рассуждения ширина кажется больше *высоты*. По этой же причине высота фигуры рис. 302 кажется больше ее ширины.

### Иллюзия, полезная для портных

Если только что описанную иллюзию зрения вы пожелаете применить к более крупным фигурам, которые не могут быть охвачены сразу глазом, то ожидания ваши не оправдаются. Всем известно, что низкий полный человек в костюме с поперечными полосами кажется не только не тоньше, а, напротив, еще шире. И наоборот, надев костюм с продольными полосами и складками, полные люди могут до некоторой степени скрадывать свою полноту.

Чем объяснить это противоречие? Тем, что, рассматривая такой костюм, мы не можем охватить его сразу, не двигая глаз; мы невольно следуем глазами вдоль полос; усилие глазных мускулов при этом заставляет нас бессознательно преувеличивать размеры предмета в направлении полос; мы привыкли связывать с усилием глазных мышц представление о больших предметах, которые не умещаются в поле зрения. Между тем, когда мы рассматриваем *маленький* полосатый чертеж, глаза наши остаются неподвижными и мускулы их не утомляются.

### Что больше?

Какой эллипс на рис. 303 больше: нижний или внутренний верхний? Трудно отделаться от мысли, что нижний больше верхнего. Между тем оба *равны*, и только присутствие наружного, окаймляющего эллипса создает иллюзию, будто заключенный

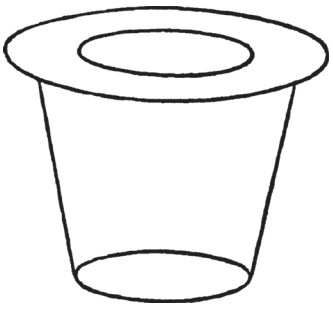


*Рис. 303. Который эллипс больше — нижний или внутренний верхний?*

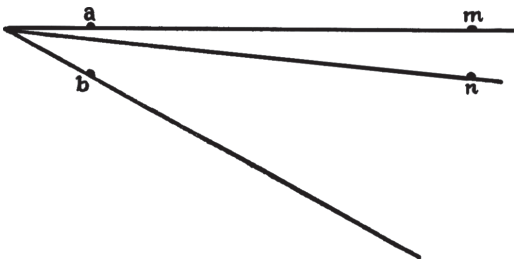



*Рис. 304. Какое расстояние больше — ab или mn?*

в нем эллипс меньше нижнего. Иллюзия усиливается и тем, что вся фигура представляется нам не плоской, а телесной — в виде ведра: эллипсы невольно превращаются нами в перспективно сжатые круги, а боковые прямые линии — в стенки ведра.

На рис. 304 расстояние между точками *a* и *b* кажется больше, нежели между точками *m* и *n*. Присутствие третьей прямой, исходящей из той же вершины, усиливает иллюзию.

## Сила воображения

Большинство обманов зрения, как уже указывалось, зависит от того, что мы не только *смотрим*, но и бессознательно при этом *рассуждаем*. «Мы смотрим не глазами, а мозгом», — говорят физиологи. Вы охотно согласитесь с этим, когда познакомитесь с иллюзиями, где воображение смотрящего *сознательно* участвует в процессе зрения.

Остановимся хотя бы на так называемой *лестнице Шредера* (рис. 305).

Если станете показывать этот рисунок другим, то получите троякого рода ответы на вопрос, что он изображает. Одни скажут, что это лестница; другие — что это ниша, углубленная в стене; третьи, наконец, увидят в нем бумажную полоску, согнутую «гармоникой» и протянутую наискось в белом поле квадрата.

Как ни странно, все три ответа верны! Вы можете сами увидеть все названные вещи, если, глядя на рисунок, направите свой взгляд различным образом. А именно: рассматривая чертеж, попробуйте прежде всего направить взор на *левую* часть рисунка, — вы увидите лестницу. Если взгляд ваш скользнет по рисунку справа налево, — вы увидите нишу. Если взгляд ваш следует по косому

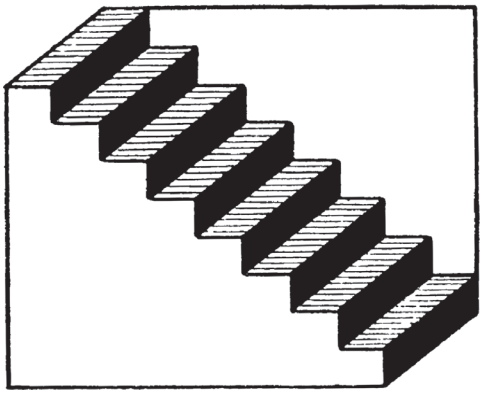


*Рис. 305. Что вы видите здесь — лестницу, нишу или полоску, согнутую «гармоникой»?*

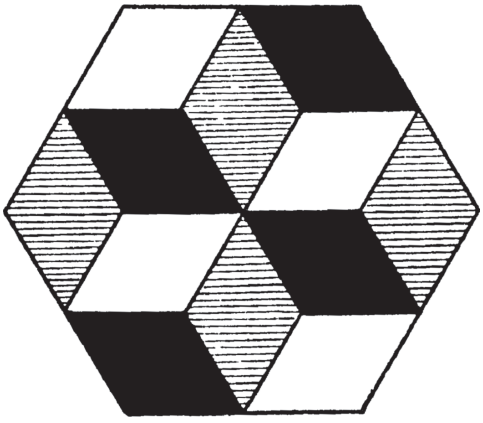


*Рис. 306. Как расположены здесь кубы? Где два куба — вверху или внизу?*

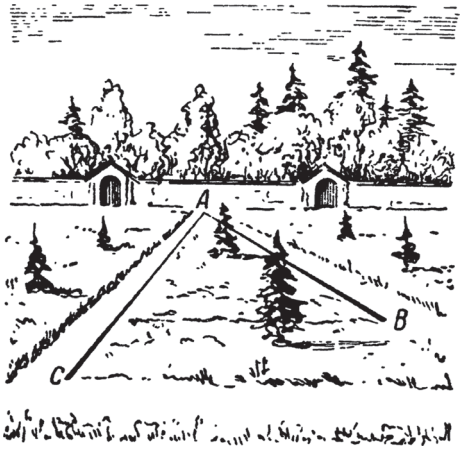



*Рис. 307. Что длиннее: AB или AC?*

направлению диагонали от нижнего правого края к верхнему левому, — вы увидите сложенную «гармоникой» бумажную полоску.

Впрочем, при продолжительном рассматривании внимание утомится, и вы будете видеть попеременно то одно, то другое, то третье, уже независимо от вашего желания.

Рис. 306 отличается теми же особенностями.

Любопытна иллюзия рис. 307: мы невольно поддаемся впечатлению, будто расстояние *AB* короче *AC*. Между тем они равны.

## Еще иллюзии зрения

Не все иллюзии зрения мы в состоянии объяснить. Часто и догадаться нельзя, какого рода умозаключения совершаются бессознательно в нашем мозгу и обусловливают тот или иной обман зрения. На рис. 308 отчетливо видны две дуги, обращенные выпуклостями друг к другу. Сомнения даже не возникает, что это так. Но стоит лишь приложить линейку к этим мнимым дугам или взглянуть на них вдоль, держа фигуру на уровне глаз, чтобы убедиться в их прямолинейности. Объяснить эту иллюзию не так просто.

Укажем еще несколько примеров иллюзий в том же роде. На рис. 309 прямая кажется разбитой на неравные отрезки; измерение убедит вас, что отрезки равны. На рис. 310 и 311 параллельные прямые представляются непараллельными. На рис. 312 круг производит впечатление овала.

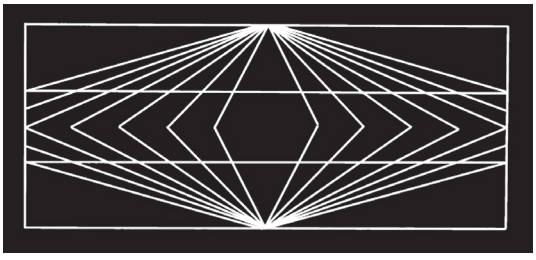


*Рис. 308. Две средние линии, идущие справа налево, — параллельные прямые, хоть кажутся дугами, обращенными выпуклостью одна к другой. Иллюзия пропадает: 1) если, подняв фигуру на уровень глаз, смотреть на нее так, чтобы взгляд скользил вдоль линий; 2) если, поместив конец карандаша в какой-нибудь точке фигуры, сосредоточить взгляд на этой точке.*

*Рис. 309. На равные ли шесть отрезков разделена эта прямая?*

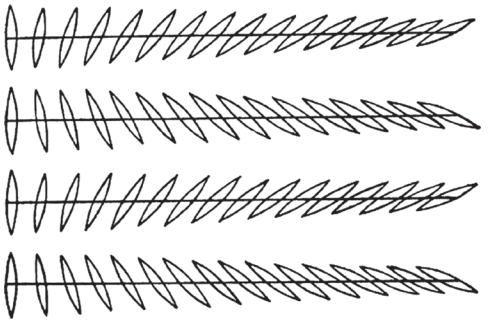


*Рис. 310. Параллельные прямые кажутся непараллельными.*

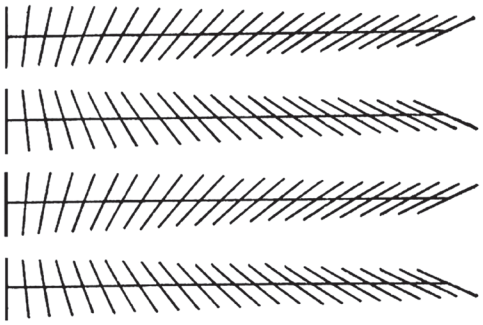


*Рис. 311. Видоизменение иллюзии рис. 310.*

Замечательно, что оптические иллюзии, показанные на рис. 308, 310 и 311, перестают обманывать глаз, если их рассматривают при свете электрической искры. Очевидно, иллюзии эти связаны с движением глаз: при кратковременной вспышке искры такое движение не успевает произойти.

Вот не менее любопытная иллюзия. Взгляните на рис. 313 и скажите: какие черточки длиннее — те, что слева, или те, что в правой части?

Первые кажутся более длинными, хотя те и другие строго равны[1]. Иллюзия эта носит название иллюзии «курительной трубки».

Предлагалось много объяснений этих любопытных иллюзий, но они мало убедительны, и мы не станем

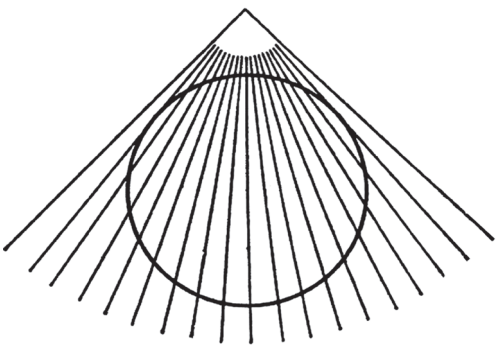


*Рис. 312. Круг ли это?*

[1] Чертеж представляет собою, между прочим, иллюстрацию известного геометрического принципа Кавальери (площади, занятые обеими частями «курительной трубки», равны).

[*Кавальери Бонавентура* (1598–1647) — итальянский монах, выдающийся математик; разработал методы и принципы, позволившие решить множество задач аналитического характера еще до открытия математического анализа (*примеч. ред.*).]

*Рис. 313. Иллюзия «курительной трубки».*
*Правые черточки кажутся короче, нежели равные им левые.*

приводить их здесь. Одно, по-видимому, несомненно: причина этих иллюзий кроется в бессознательном рассуждении, в невольном «лукавом мудрствовании» ума, мешающем нам видеть то, что есть в действительности[1].

**Что это?**

При взгляде на рис. 314 вы едва ли сразу догадаетесь, что он изображает. «Просто черная сетка, ничего больше», — скажете вы. Но поставьте книгу отвесно на стол, отойдите шага на 3–4 и смотрите оттуда. Вы увидите

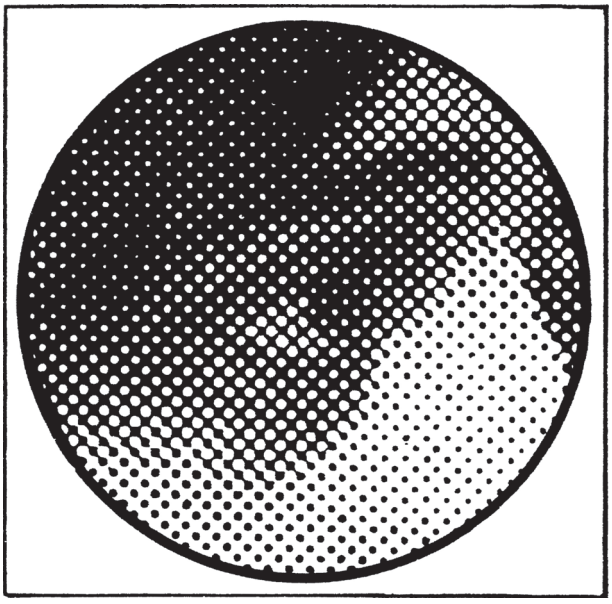


*Рис. 314. Рассматривая эту сетку издали, легко различить на ней глаз и часть носа женского профиля, обращенного вправо.*

[1] Интересующихся зрительными иллюзиями позволю себе отослать к составленному мною маленькому альбому «Обманы зрения», где собрано свыше 60 образчиков разнообразных оптических иллюзий.

человеческий *глаз*. Подойдите ближе, — перед вами снова появится ничего не выражающая сетка...

Вы, конечно, подумаете, что это какой-нибудь искусный «трюк» изобретательного гравера. Нет, это лишь грубый пример той иллюзии зрения, которой мы поддаемся всякий раз, когда рассматриваем так называемые тоновые иллюстрации, или «автотипии». В книгах и журналах фон рисунка всегда кажется нам сплошным; но рассмотрите его в лупу, — и перед вами появится такая же сетка, какая изображена на рис. 314. Этот озадачивший вас рисунок представляет собой не что иное, как увеличенный раз в 10 участок обыкновенной тоновой иллюстрации. Разница лишь в том, что, когда сетка мелка, она сливается в сплошной фон уже на близком расстоянии, — на том, на каком мы обыкновенно держим книгу при чтении. Когда же сетка крупна, слияние происходит на соответственно большем расстоянии.

### Необыкновенные колеса

Случалось ли вам через щели забора или, еще лучше, на полотне кинематографа следить за спицами колес быстро движущейся повозки или автомобиля? Вероятно, вы замечали при этом странное явление: автомобиль мчится с головокружительной быстротой, колеса же едва вертятся, а то и вовсе не вертятся. Мало того: они вращаются иной раз даже в противоположном направлении!

Эта иллюзия зрения так необычайна, что приводит в недоумение всех, кто замечает ее впервые.

Объясняется она следующим образом. Следя за вращением колеса через щели в заборе, мы видим колесные спицы не непрерывно, а через равные промежутки времени, так как доски забора каждое мгновение заслоняют их от нас. Точно так же и кинематографическая лента запечатлевает изображение колес с перерывами, в отдельные моменты (через 24-ю долю секунды). Здесь возможны *три случая*, которые мы сейчас и рассмотрим один за другим.

Во-первых, может случиться, что за время перерыва колесо успеет сделать *целое число оборотов* — безразлично сколько: 2 или 20, — только бы число это было целое. Тогда спицы колеса на новом снимке займут то же положение, что и на прежнем. В следующий промежуток колесо сделает опять *целое* число оборотов (так как величина промежутка и скорость автомобиля не изменяются), — и положение спиц остается прежнее. Видя все время одно положение спиц, мы заключаем, что колесо вовсе не вертится (см. средний столбец рис. 315).

Второй случай: колесо успевает в каждый промежуток сделать целое число оборотов и *еще часть оборота*, весьма небольшую. Наблюдая за сменой таких изображений, мы о целом числе оборотов не будем и догадываться, а увидим лишь медленное вращение колеса (каждый раз на небольшую долю оборота). В результате нам покажется, что, несмотря на быстрое перемещение автомобиля, колеса вращаются лениво.

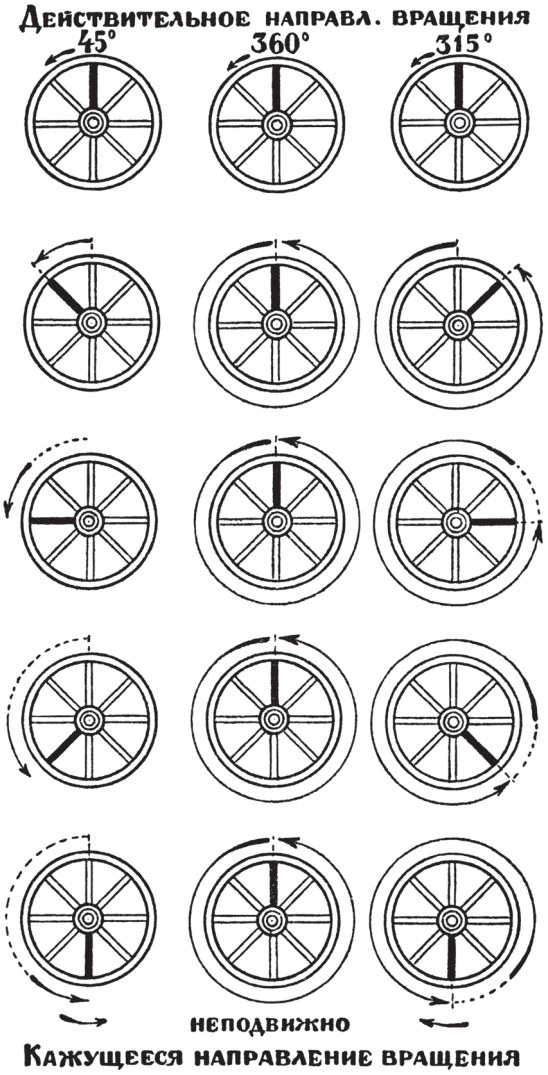



*Рис. 315. Причина загадочного движения колес на кинематографических картинах.*

Третий случай. В течение промежутка между съемками колесо делает неполный оборот, отличающийся от полного на небольшую долю (например, поворачивается на 315°, как в третьем столбце рис. 315). Тогда какая-либо определенная спица будет казаться вращающейся *в обратном направлении*. Это обманчивое впечатление будет длиться до тех пор, пока колесо не изменит скорости вращения.

Остается внести маленькие дополнения в наше объяснение. В первом случае мы, ради простоты, говорили о числе *полных оборотов* колеса; но так как

спицы колеса похожи одна на другую, то достаточно, чтобы колесо повернулось на целое число *промежутков* между спицами. То же относится и к другим случаям.

Возможны и еще курьезы. Если на ободе колеса имеется метка, спицы же все похожи друг на друга, то случается, что обод движется в одном направлении, спицы же бегут в *обратном*! Если же имеется метка на *спице*, то спицы могут двигаться в обратном направлении, нежели метка, — она будет словно перескакивать со спицы на спицу.

Когда в кинематографе показывают обыкновенные сцены, иллюзия эта мало вредит естественности впечатления. Но если хотят на экране объяснить действие какого-нибудь механизма, то этот обман зрения может породить серьезные недоразумения и даже совершенно извратить представление о работе машины.

Внимательный зритель, видя на экране мнимо-неподвижное колесо мчащегося автомобиля, легко может, сосчитав его спицы, судить до некоторой степени о том, сколько оборотов делает оно в секунду. Обычная быстрота подачи ленты[1] —16 кадров в сек. Если число спиц автомобильного колеса 12, то число его оборотов в секунду равно 16 : 12, т. е. ⅓, или по одному целому обороту в ¾ секунды. Это — наименьшее число оборотов; оно может быть и больше в целое число раз (т. е. вдвое, втрое и т. д.). Оценив величину диаметра колеса, можно делать заключения и о скорости движения автомобиля. Например, при диаметре колеса 80 см имеем в рассмотренном случае часовую скорость 12 км, или 24 км, или 36 км и т. д.

Рассмотренная сейчас иллюзия зрения используется техникой для подсчета числа оборотов быстро вращающихся валов. Объясним, на чем основан этот способ. Сила света лампы, питаемой переменным током, не остается постоянной: через каждую 100-ю долю секунды свет ослабевает, хотя при обычных условиях мы никакого мерцания не замечаем. Но представим себе, что таким светом освещен вращающийся диск, изображенный на рис. 316. Если диск вертится так, что делает ¼ оборота в 100-ю долю секунды, то произойдет нечто неожиданное: вместо обычного ровного серого круга глаз увидит черные и белые секторы, словно бы диск оставался неподвижен.

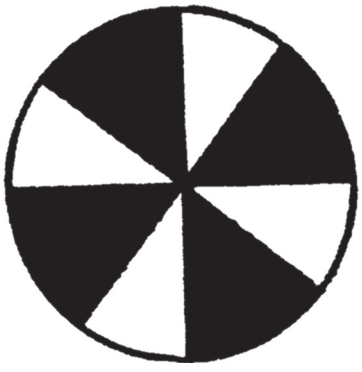


*Рис. 316. Диск для определения скорости вращения двигателя.*

Причина явления, надеюсь, понятна читателю, разобравшемуся в иллюзии с автомобильными колесами. Легко догадаться также, как возможно применить это явление для подсчета оборотов вращающегося вала.

[1] См. примечание [2] на с. 19 (*примеч. ред.*).

### «Микроскоп времени» в технике

В первой книге «Занимательной физики» описана «лупа времени», основанная на использовании киноаппарата. Здесь расскажем о другом способе достижения подобного же эффекта, опирающемся на явление, которое было рассмотрено в предыдущей статье.

Мы знаем уже, что когда диск с зачерненными секторами (рис. 316), делающий 25 оборотов в секунду, освещается ежесекундно 100 вспышками лампы, он кажется глазу неподвижным. Представьте себе, однако, что число вспышек сделалось равным 101 в секунду. В течение промежутка между такими двумя последовательными учащенными вспышками диск не успеет повернуться, как прежде, на полную четверть оборота, и, значит, соответственный сектор не дойдет до первоначального положения.

Глаз увидит его отставшим на 100-ю долю окружности. При следующей вспышке он покажется отставшим еще на 100-ю долю окружности и т. д. Нам покажется, что диск вертится *назад*, делая один оборот в секунду. Движение замедлилось в 25 раз.

Нетрудно сообразить, как можно увидеть то же замедленное вращение, но не в обратную сторону, а в нормальном направлении. Для этого нужно число вспышек света не увеличить, а *уменьшить*. Например, при 99 вспышках в секунду диск покажется вращающимся вперед, делая один оборот в секунду.

Мы имеем здесь «микроскоп времени» с 25-кратным замедлением. Но вполне возможно получить еще большее замедление. Если, например, число вспышек доведено до 999 в 10 секунд (т. е. 99,9 в секунду), диск будет казаться совершающим 1 оборот в 10 секунд; он имеет, значит, 250-кратное замедление.

Любое быстрое периодическое движение можно изложенным приемом замедлить для нашего глаза в желаемой степени. Это дает удобную возможность изучать особенности движения весьма быстрых механизмов, замедляя их движение нашим «микроскопом времени» в 100, в 1000 и т. д. раз.

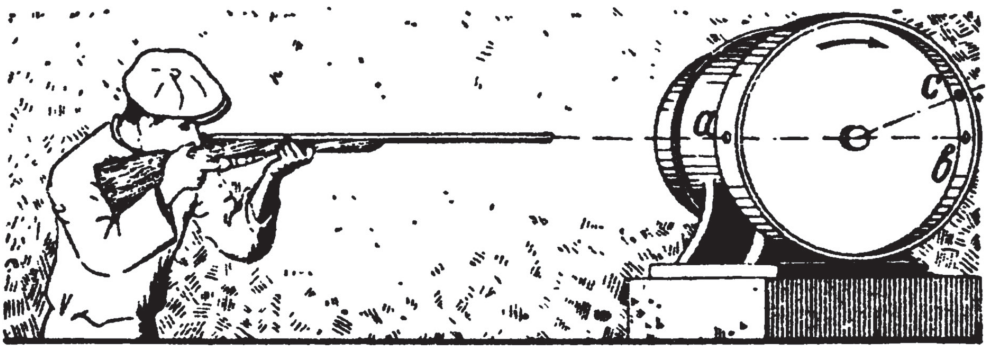



*Рис. 317. Измерение скорости полета пули.*

Опишем в заключение способ измерения скорости полета пули, основанный на возможности точно определять число оборотов вращающегося диска. На быстро вращающийся вал надевают картонный диск с зачерненными секторами и загнутыми краями, так что диск имеет форму открытой цилиндрической коробки (рис. 317). Стрелок пускает пулю вдоль диаметра этой коробки, пробивая ее стенку в двух местах. Если бы коробка была неподвижна, оба отверстия лежали бы на концах одного диаметра. Но коробка вращалась, и за то время, пока пуля летела от края до края, коробка успела немного повернуться, подставив пуле взамен точки *b* точку *c*. Зная число оборотов коробки и ее диаметр, можно по величине дуги *bc* вычислить скорость движения пули. Это — несложная геометрическая задача, с которою без труда справятся читатели-математики.

### Диск Нипкова[1]

Замечательное техническое применение обмана зрения представляет так называемый диск Нипкова, употребляемый в современных телевизорных установках[2]. На рис. 318-а вы видите сплошной круг, у краев которого разбросана дюжина дырочек с просветом 2 мм; дырочки расположены равномерно по спиральной линии, каждая на величину просвета ближе к центру,

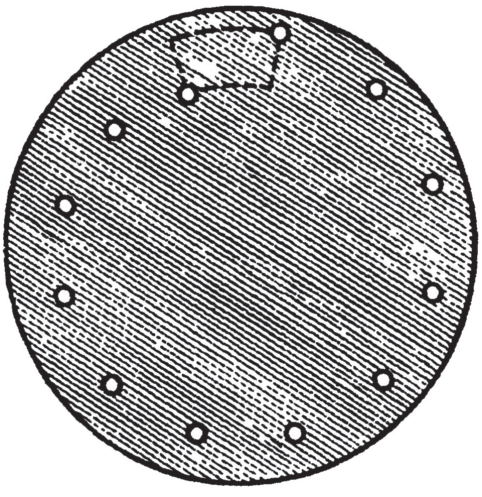


*Рис. 318-а.*

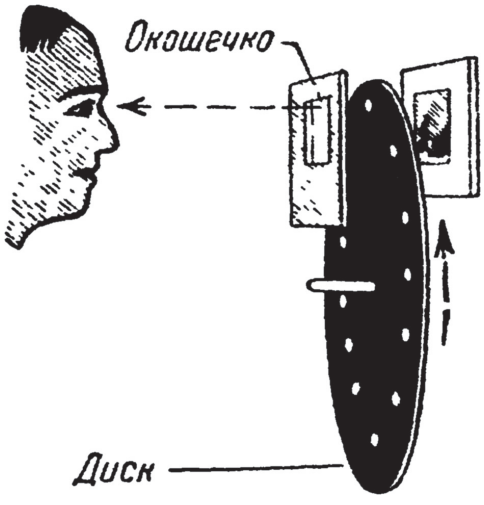



*Рис. 318-б.*

[1] *Нипков Пауль* (1860—1940) — немецкий техник и изобретатель; патент на описываемое устройство он получил еще в 1884 г. (*примеч. ред.*).

[2] Я. П. имеет в виду механическое телевидение, вещавшее с начала 1930-х до начала 1940-х гг. в том числе и в нашей стране (*примеч. ред.*).

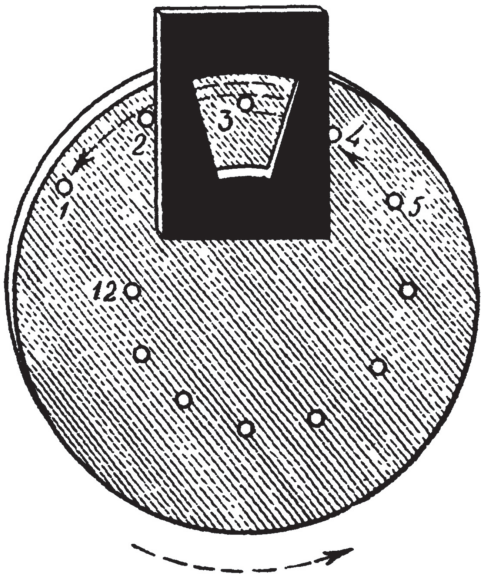



*Рис. 318-в.*

чем соседняя. Такой диск не обещает как будто ничего особенного. Но установите его на оси, устройте перед ним окошечко, а позади поместите таких же размеров картинку (рис. 318-б). Если теперь привести диск в быстрое вращение, то произойдет неожиданное явление: картинка, заслоняемая неподвижным диском, становится при его вращении отчетливо видимой в переднее окошечко. Замедлите вращение — картинка сделается смутной и, наконец, при остановке диска исчезает совершенно; теперь от картины остается видимым лишь то, что можно рассмотреть сквозь крошечную двухмиллиметровую дырочку.

Разберемся, в чем секрет загадочного эффекта этого диска. Будем вращать диск медленно и проследим за прохождением последовательно каждой отдельной дырочки мимо окошечка. Самая удаленная от центра дырочка проходит близ верхнего края окошечка; если это движение быстро, она сделает видимой целую полоску картинки, прилегающую к ее верхнему краю. Следующая дырочка, пониже первой, при быстром прохождении в поле окошечка откроет вторую полоску картинки, смежную с первой (рис. 318-в); третья дырочка сделает видимой третью полоску и т. д. При достаточно быстром вращении диска становится, благодаря этому, видимой вся картинка; против окошечка словно вырезается из диска соответствующее отверстие.

Диск Нипкова нетрудно изготовить самому; для быстрого его вращения можно пользоваться намотанным на его ось шнурком, — но лучше, конечно, прибегнуть к услугам маленького электромотора.

## Почему заяц косой?

Человек — одно из немногих существ, глаза которых приспособлены к одновременному рассматриванию какого-нибудь предмета: поле зрения правого глаза лишь немного не совпадает у него с полем зрения левого глаза.

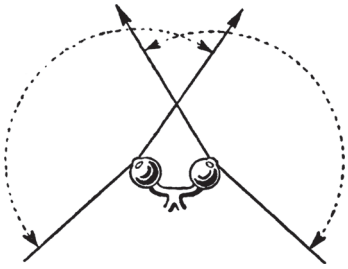


*Рис. 319. Поле зрения обоих глаз человека.*

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. 319 наглядно изображено поле зрения человека: каждый глаз видит — по горизонтальному направлению — в пределах угла в 120°, и оба угла почти покрывают друг друга (глаза предполагаются неподвижными).

Сравните этот чертеж с рис. 320, изображающим поле зрения зайца; не поворачивая головы, заяц своими расставленными глазами видит не только то, что находится впереди, *но и то, что позади*. Оба поля зрения его глаза смыкаются и спереди, и сзади! Теперь вам понятно, почему так трудно подкрасться к зайцу, не спугнув его. Зато заяц, как ясно из чертежа, совершенно не видит того, что расположено *непосредственно* перед его мордой; ему приходится, чтобы увидеть весьма близкий предмет, повертывать голову набок.

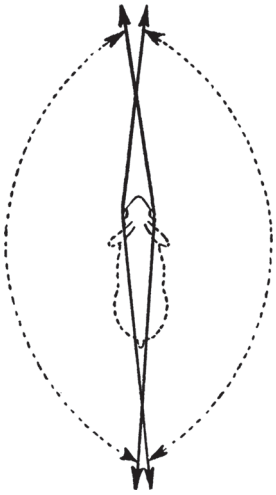


*Рис. 320. Поле зрения обоих глаз зайца.*

Почти все без исключения копытные и жвачные животные обладают такою способностью «всестороннего» зрения. На рис. 321 показано расположение полей зрения лошади: они позади не сходятся, но животному достаточно лишь слегка повернуть голову, чтобы увидеть предметы, расположенные позади. Зрительные образы здесь, правда, не так отчетливы, но зато от животного не ускользает ни малейшее движение, совершающееся далеко кругом. Подвижные хищные животные, которым приходится обычно самим быть нападающей стороной, — лишены этой способности видеть кругом себя; они обладают «двуглазым» зрением, позволяющим зато точно оценивать расстояние для прыжка.

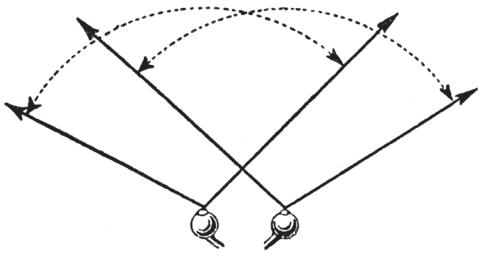


*Рис. 321. Поле зрения обоих глаз лошади.*

### Почему в темноте все кошки серы?

Физик сказал бы: «в темноте все кошки *черны*», потому что при отсутствии освещения никакие предметы не видны вовсе. Но поговорка имеет в виду не полный мрак, а темноту в обиходном смысле слова, т. е. весьма слабое освещение. Первоначальный, непереносный смысл поговорки тот, что при недостаточном освещении глаз наш перестает различать окраску — каждая поверхность кажется серой.

Верно ли это? Действительно ли в полутьме и красный флаг, и зеленая листва представляются одинаково серыми? Легко убедиться в правильности этого утверждения. Кто в сумерки приглядывался к окраске предметов, тот замечал, конечно, что цветовые различия стираются и все вещи кажутся более или менее темно-серыми: и красное одеяло, и синие обои, и фиолетовые цветы, и зеленые листья.

«Сквозь опущенные шторы, — читаем мы у Чехова («Письмо»), — сюда не проникали солнечные лучи, было сумеречно, так что все розы в большом букете казались одного цвета».

Точные физические опыты вполне подтверждают это наблюдение. Если окрашенную поверхность освещать слабым белым светом (или белую поверхность — слабым окрашенным светом), постепенно усиливая освещение, то глаз сначала видит просто серый цвет, без какого-либо цветового оттенка. И лишь когда освещение усиливается до определенной степени, глаз начинает замечать, что поверхность окрашена. Эта степень освещения называется «низшим порогом цветового ощущения».

Итак, буквальный и вполне правильный смысл поговорки (существующей на многих языках) тот, что ниже порога цветового ощущения все предметы кажутся серыми.

Физика обнаружила, что существует и высший порог цветового ощущения. При чрезвычайно ярком освещении глаз снова перестает различать цветовые оттенки: все окрашенные поверхности одинаково кажутся *белыми*.

### Существуют ли лучи холода?

Распространено мнение, будто наряду с лучами греющими существуют и лучи холодящие, лучи холода. На мысль о них наводит тот, например, факт, что кусок льда распространяет вокруг себя холод совершенно так же, как печка создает кругом себя теплоту. Разве не говорит это о том, что от льда исходят лучи холода, как от печки исходят греющие лучи?

Нет, подобное толкование ошибочно. Лучей холода не существует. Вещи в соседстве со льдом становятся холоднее не под действием «лучей холода», а потому, что теплые вещи теряют путем лучеиспускания больше тепла, чем сами получают от льда. И теплая вещь, и холодный лед испускают путем

излучения теплоту; вещь, нагретая сильнее, чем лед, отдает теплоты больше, чем получает. Приход тепла меньше расхода, — и вещь охлаждается.

Существует эффектный опыт — он показывается в Доме занимательной науки в Ленинграде, — который также может навести на мысль о лучах холода. У двух противоположных стен длинного зала установлены большие вогнутые зеркала. Если близ одного зеркала, в так называемом фокусе его, поместить сильный источник тепла, то испускаемые им лучи, отразившись от зеркала, направляются ко второму зеркалу, вновь отражаются и сосредоточиваются им в одной точке — в «фокусе»; темная бумага, помещенная в этом месте, загорается. Это наглядно свидетельствует о существовании греющих лучей. Но если вместо источника тепла поместить в фокусе первого зеркала кусок льда, то окажется, что термометр, находящийся в фокусе второго зеркала, обнаружит здесь холод. Но значит ли это, что лед испускает холодные лучи, отражающиеся от зеркал и сосредоточивающиеся на шарике термометра?

Нет, и в этом случае можно объяснить явление без таинственных лучей холода. Шарик термометра путем излучения отдает льду больше теплоты, чем сам получает от льда; поэтому ртуть в нем охлаждается. Итак, здесь также нет причины допускать существование холодящих лучей. Никаких лучей холода в природе нет: все роды лучей сообщают энергию, а не отнимают ее.

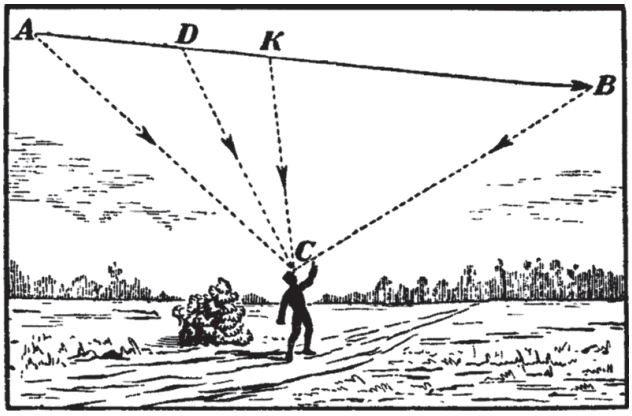



*Рис. 322. Мнимый взрыв болида.*

## *ГЛАВА ДЕСЯТАЯ*

## ЗВУК — ВОЛНООБРАЗНОЕ ДВИЖЕНИЕ

### Звук и радиоволны

Звук распространяется примерно в миллион раз медленнее света; а так как скорость радиоволн совпадает со скоростью световых колебаний, то звук в миллион раз медленнее радиосигнала. Отсюда вытекает любопытное следствие, сущность которого выясняется задачей: кто раньше услышит первый аккорд пианиста — посетитель концертного зала, сидящий в 10 метрах от рояля, или радиослушатель у аппарата, принимающий игру пианиста у себя на квартире, в 100 километрах от зала?

Как ни странно, радиослушатель услышит аккорд раньше, чем посетитель концертного зала, хотя первый сидит в 10 000 раз дальше от музыкального инструмента. В самом деле: радиоволны пробегают 100-километровое расстояние в

$$\frac{100}{300000}=\frac{1}{3000}$$ секунды.

Звук же проходит 10-метровое расстояние в

$$\frac{10}{340}=\frac{1}{34}$$ секунды.

Как видим, передача по радио требует почти в сто раз меньше времени, чем передача звука через воздух.

## Звук и пуля

Когда пассажиры жюль-вернова снаряда полетели на Луну, они были озадачены тем, что не слышали звука выстрела колоссальной пушки, извергнувшей их из своего жерла. Иначе и быть не могло. Как бы оглушителен ни был грохот, скорость распространения его (как и вообще всякого звука в воздухе) равнялась всего лишь 340 м/с, — снаряд же несся со скоростью 11 000 м/с. Понятно, что гром выстрела не мог достичь ушей пассажиров: снаряд обогнал звук.

А как обстоит дело с настоящими, не фантастическими снарядами и пулями: движутся ли они быстрее звука, или, напротив, звук перегоняет их и предупреждает жертву о приближении смертоносного снаряда?

Современные винтовки сообщают пулям при выстреле скорость почти втрое бóльшую, чем скорость звука в воздухе, — именно около 900 м в секунду (скорость звука при 0° равна 332 м/с). Правда, звук распространяется равномерно, пуля же летит, замедляя быстроту своего полета. Однако в течение большей части пути пуля все же движется быстрее звука. Отсюда прямо следует, что если во время перестрелки вы слышите звук выстрела или свист пули, то можете не беспокоиться: *эта пуля* уже *миновала вас*. Пуля перегоняет звук выстрела, и если пуля поразит свою жертву, то последняя будет убита раньше, чем звук выстрела достигнет ее уха.

## Мнимый взрыв

Состязание в скорости между летящим телом и производимым им звуком заставляет нас иногда невольно делать ошибочные заключения, подчас совершенно не отвечающие истинной картине явления.

Любопытный пример представляет болид (или пушечный снаряд), пролетающий высоко над нашей головой. Болиды, проникающие в атмосферу нашей планеты из мирового пространства, обладают огромной скоростью, которая, даже будучи уменьшена сопротивлением атмосферы, все же *в десятки раз больше скорости звука*. Прорезая и накаляя воздух, болиды нередко производят шум, напоминающий гром. Вообразите, что мы находимся в точке $C$ (рис. 322), а вверху над нами по линии $AB$ летит болид. Звук, производимый болидом в точке $A$, дойдет до нас (в $C$) только тогда, когда сам болид успеет уже переместиться в точку $B$; так как болид летит гораздо быстрее звука, то он может успеть дойти до некоторой точки $D$ и отсюда послать нам звук раньше, чем дойдет до нас звук из точки $A$. Поэтому мы услышим сначала звук из точки $D$ и лишь потом звук из точки $A$. И так как из точки $B$ звук придет к нам тоже позже, чем из точки $D$, то где-то над нашей головой должна быть такая точка $K$, находясь в которой болид подает свой звуковой сигнал раньше всего. Любители математики могут вычислить положение этой точки, если зададутся определенным отношением скорости болида и звука.

Вот результат: то, что мы *услышим*, будет вовсе не похоже на то, что мы *увидим*. Для глаза болид появится прежде всего в точке *A* и отсюда пролетит по линии *AB*. Но для уха болид появится прежде всего где-то над нашей головой в точке *K*, затем мы услышим в одно время два звука, затихающие по противоположным направлениям — от *K* к *A* и от *K* к *B*. Другими словами, мы услышим, как болид словно распался на две части, которые унеслись в противоположные стороны. Между тем в действительности никакого взрыва не происходило. Вот до чего обманчивы могут быть слуховые впечатления! Возможно, что многие засвидетельствованные «очевидцами» взрывы болидов — именно такого рода обманы слуха.

### Счастливая случайность

Если бы звук распространялся в воздухе не со скоростью 340 м в секунду, а гораздо медленнее, то обманчивые слуховые впечатления наблюдались бы гораздо чаще.

Вообразите, например, что звук пробегает в секунду не 340 м, а, скажем, 340 мм, т. е. движется медленнее пешехода. Сидя в кресле, вы слушаете рассказ вашего знакомого, который имеет привычку говорить, расхаживая взад и вперед по комнате. При обыкновенных обстоятельствах это расхаживание нисколько не мешает вам слушать; но при уменьшенной скорости звука вы ровно ничего не поймете из речи вашего гостя: звуки, прежде произнесенные, будут догонять новые и перемешиваться с ними, — получится путаница звуков, лишенная всякого смысла.

Между прочим, в те моменты, когда гость к вам приближается, звуки его слов будут достигать до вас в *обратном порядке*: сначала достигнут до вас звуки, только что произнесенные, потом звуки, произнесенные ранее, затем — еще ранее и т. д., потому что произносящий обгоняет свои звуки и находится все время впереди них, продолжая издавать новые. Из всех фраз, произнесенных при подобных условиях, вы могли бы понять разве только ту, которою великовозрастный бурсак некогда изумил юного Карася из «Бурсы» Помяловского[1]:

Я ИДУ С МЕЧОМ, СУДИЯ.

Мы должны быть благодарны судьбе за ту счастливую случайность, что звук пробегает в воздухе каждую секунду сотни метров: при значительно меньшей скорости нам, быть может, пришлось бы отказаться от устной речи.

---

[1] Строго говоря, это не вполне верно: мы произносим в один прием не отдельные буквы, а целые слоги. Фраза будет слышна приблизительно так: я ди-су м-чо-мес ду-и-я.

## Самый медленный разговор

Если вы думаете, однако, что истинная скорость звука в воздухе — треть километра в секунду — всегда достаточная быстрота, то сейчас измените свое мнение.

Вообразите, что между Москвой и Ленинградом вместо электрического телефона устроена обыкновенная говорная труба вроде тех телефонов, которыми соединяли раньше отдельные помещения больших магазинов. Вы стоите у ленинградского конца этой 650-километровой трубы, а ваш друг у московского. Задаете вопрос и ожидаете ответа. Проходит пять, десять, пятнадцать минут, — ответа нет. Вы начинаете беспокоиться и думаете, что с собеседником случилось несчастье. Но опасения напрасны: вопрос *еще не дошел до Москвы* и находится теперь только на половине пути. Пройдет еще четверть часа, прежде чем ваш знакомый в Москве услышит вопрос и сможет дать ответ. Но и его реплика будет идти из Москвы в Ленинград не менее получаса, так что ответ на свой вопрос вы получите только спустя час.

Можете проверить расчет: от Ленинграда до Москвы 650 км; звук проходит в секунду ⅓ км; значит, расстояние между городами он пробежит в 2160 с лишним секунд, или в 35 минут с небольшим. При таких условиях, разговаривая целый день с утра до вечера, вы едва успеете обменяться десятком фраз[1].

## Скорейшим путем

Было, впрочем, время, когда даже и такой способ передачи известий считался бы очень быстрым. Сто лет назад никто еще не мечтал об электрическом телеграфе и телефоне, и передача новости за 650 км в течение нескольких часов признавалась бы идеалом быстроты.

Рассказывают, что при короновании царя Павла I извещение о моменте начала церемонии в Москве было передано в северную столицу следующим образом. Вдоль всего пути между обеими столицами были расставлены солдаты, в 200 м один от другого; при первом ударе колокола собора ближайший солдат выстрелил в воздух; его сосед, услышав сигнал, также немедленно разрядил ружье; за ним стрелял третий часовой, — и таким образом сигнал был передан в Ленинград (тогда Петербург) в течение всего трех часов. Спустя три часа после первого удара московского колокола уже грохотали пушки Петропавловской крепости, на расстоянии 650 км.

Если бы звон московских колоколов мог быть непосредственно услышан в Ленинграде, то звук этот, как мы уже знаем, пришел бы в северную столицу с опозданием всего на полчаса. Значит, из трех часов, употребленных на передачу сигнала, 2½ часа ушло на то, что солдаты воспринимали звуковое впечатление

[1] При условии, что звуковые колебания не затухают с расстоянием, — в реальности такой разговор невозможен (*примеч. ред.*).

и делали необходимые для выстрела движения: как ни ничтожно это промедление, все же из тысяч таких маленьких промежутков накопилось 2½ часа.

Сходным образом действовал в старину оптический телеграф, передававший световые сигналы до ближайшей станции, которая в свою очередь передавала их далее. Системой световой передачи сигналов нередко пользовались в царское время революционеры для охраны собраний подпольщиков: цепь революционеров протягивалась от места собрания до помещения полиции и при первых тревожных признаках давала об этом знать собранию вспышками карманных электрических фонариков.

### Барабанный телеграф

Передача известий посредством звуковых сигналов и теперь еще распространена у первобытных обитателей Африки, Центральной Америки и Полинезии. Первобытные племена употребляют для этой цели особые барабаны, с помощью которых передают звуковые сигналы на огромное расстояние: условный сигнал, услышанный в одном месте, повторяется в другом, передается таким же образом далее, — и в короткое время обширная область уведомляется о каком-либо важном событии (рис. 323).

Во время первой войны Италии с Абиссинией все передвижения итальянских войск быстро становились известными негусу Менелику; обстоятельство это приводило в недоумение итальянский штаб, не подозревавший о существовании у противника барабанного телеграфа.

В начале второй войны Италии с Абиссинией подобным же образом был опубликован изданный в Аддис-Абебе приказ о всеобщей мобилизации: через несколько часов он сделался известен в самых отдаленных селениях страны.

То же самое наблюдалось и во время англо-бурской войны: благодаря «телеграфу» кафров все военные известия с необыкновенной быстротой распространялись среди обитателей Каплэнда, на несколько суток опережая официальные донесения через курьеров.

По свидетельству путешественников (Лео Фробениус), система звуковых сигналов разработана у некоторых африканских племен так хорошо, что их можно считать обладателями телеграфа более совершенного, чем оптический телеграф европейцев, предшествовавший электрическому.

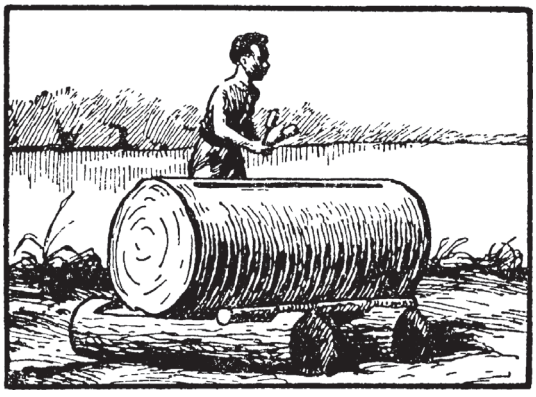


*Рис. 323. Туземец островов Фиджи, переговаривающийся с помощью барабанного «телеграфа».*

Вот что сообщалось об этом в одном журнале. Р. Гасельден, археолог Британского музея, находился в городе Ибада, расположенном в глубине Нигерии. Постоянный глухой барабанный бой непрерывно гудел днем и ночью. Однажды утром ученый услышал, что аборигены о чем-то оживленно переговариваются. На его расспросы один сержант ответил: «Большой корабль белых людей потонул; много белых погибло». Таково было известие, сообщенное на барабанном языке с побережья. Ученый не придал этому слуху никакого значения. Однако через три дня он получил запоздавшую (вследствие перерыва сообщения) телеграмму о гибели «Лузитании». Тогда он понял, что негритянское известие было верно и что оно «прогремело» на барабанном языке через все земли от Каира до Ибады. Это было тем более удивительно, что племена, передавшие друг другу это сообщение, говорят на совершенно различных наречиях и некоторые из них в это время вели войны друг с другом.

### Звуковые облака и воздушное эхо

Звук может отражаться не только от твердых преград, но и от таких нежных образований, как облака. Более того: даже совершенно прозрачный воздух может при некоторых условиях отражать звуковые волны, — именно в том случае, когда он, по способности проводить звук, отличается почему-либо от остальной массы воздуха. Здесь происходит явление, сходное с тем, что в оптике называется «полным внутренним отражением». Звук отражается от невидимого препятствия, и мы слышим загадочное эхо, идущее неизвестно откуда.

Тиндаль случайно открыл этот любопытный факт, когда производил опыты со звуковыми сигналами на берегу моря. «От совершенно прозрачного воздуха получалось эхо, — пишет он. — Эхо шло к нам, словно по волшебству, от невидимых звуковых облаков».

Звуковыми облаками знаменитый английский физик называл те участки прозрачного воздуха, которые задерживают звук и заставляют его отражаться, порождая «эхо от воздуха». Вот что говорит он по этому поводу:

«Звуковые облака постоянно плавают в воздухе. Они не имеют ни малейшего отношения к обыкновенным облакам, к туману или мгле. Самая прозрачная атмосфера может быть полна ими. Таким образом могут получаться воздушные эхо; вопреки господствующему мнению, они могут происходить и при самой ясной атмосфере. Существование таких воздушных эхо доказано наблюдениями и опытом. Они могут порождаться воздушными токами, различно нагретыми или содержащими различное количество пара».

Существование звуковых облаков, непрозрачных для звука, объясняет нам некоторые загадочные явления, иногда наблюдаемые во время сражений. Тиндаль приводит следующий отрывок из воспоминаний очевидца о Франко-прусской войне 1871 г.:

«Утро 6-го числа представляло полную противоположность с вчерашним утром. Вчера был пронизывающий холод и туман, не позволявший ничего видеть далее полумили. А 6-го было ясно, светло и тепло. Вчера воздух был наполнен звуками, а сегодня царствовала тишина Аркадии, не знающей войн. Мы с изумлением смотрели друг на друга. Неужели бесследно исчез Париж, его форты, орудия, бомбардировка?.. Я поехал в Монморанси, откуда моим глазам открылась обширная панорама северной стороны Парижа. Однако и здесь была мертвая тишина... Я встретил трех солдат, и мы начали обсуждать положение вещей. Они готовы были допустить, что начались переговоры о мире, так как с самого утра не слышали ни одного выстрела...

Я отправился дальше в Гонесс. С изумлением узнал я, что германские батареи энергично стреляли с 8 часов утра. На южной стороне бомбардировка началась около того же часа. Однако в Монморанси мы не слышали ни единого звука!.. Все это зависело от воздуха: сегодня он проводил звук так же дурно, как хорошо проводил вчера».

Сходные явления не раз наблюдались и во время больших сражений 1914–1918 гг.

### Беззвучные звуки

Есть люди, которые не слышат таких резких звуков, как пение сверчка или писк летучей мыши. Люди эти не глухи, — их органы слуха в исправности, и все же они не слышат очень высоких тонов. Тиндаль — знаменитый английский физик — утверждал, что некоторые люди не слышат даже чириканья воробья!

Вообще наше ухо воспринимает далеко не все колебания, происходящие близ нас. Если тело совершает в секунду менее 16 колебаний, мы звука не слышим. Если оно совершает более 15–22 тыс. колебаний, мы тоже не слышим его. Верхняя граница восприятия тонов у разных лиц различна; у старых людей она понижается до 6 тыс. колебаний в секунду. Поэтому и происходит то странное явление, что пронзительный высокий тон, отчетливо слышимый одним лицом, для другого словно не существует. Многие насекомые (например, комар, сверчок) издают звуки, тон которых отвечает 20 тыс. колебаний в секунду; для одних ушей эти тона существуют, для других — нет. Такие нечувствительные к высоким тонам люди наслаждаются полной тишиной там, где другие слышат целый хаос пронзительных звуков. Тиндаль рассказывает, что наблюдал однажды подобный случай во время прогулки в Швейцарии со своим другом:

«Луга по обеим сторонам дороги кишели насекомыми, которые для моего слуха наполняли воздух своим резким жужжанием, но мой друг ничего этого не слышал: музыка насекомых лежала вне границы его слуха».

Писк летучей мыши целой октавой ниже пронзительного пения насекомых, т. е. колебания воздуха при этом вдвое менее часты. Но попадаются люди,

для которых граница восприятия тонов лежит еще ниже, и летучие мыши для них — существа безгласные.

Напротив, собаки, как установлено в лаборатории академика Павлова, воспринимают тона с числом колебаний до 38 тысяч в секунду.

### Сверхзвуки на службе техники

Физика и техника наших дней обладают средством создавать «беззвучные звуки» гораздо большей частоты, чем те, о которых мы сейчас говорили: число колебаний достигает в этих «сверхзвуках» до 700 000 в секунду. Такой «тон» примерно на 18 октав выше самого высокого «ля» рояля, — тона, дающего 3480 колебаний в секунду[1].

Получение ультразвуковых колебаний основано на свойстве пластинок, определенным образом вырезанных из кристалла кварца, при сжатии электризоваться на своих поверхностях[2]; если же, наоборот, заряжать периодически поверхности такой пластинки, то под действием электрических зарядов она попеременно сжимается и расширяется, т. е. колеблется: получаются ультразвуковые колебания. Заряжают же пластинку с помощью употребляемого в радиотехнике лампового генератора, частота которого подбирается в соответствии с так называемым «собственным» периодом колебаний пластинки.

Хотя ультразвуки безмолвны для нас, они обнаруживают свое действие иными, весьма ощутимыми проявлениями. Если, например, колеблющуюся пластинку погрузить в сосуд с маслом, то на поверхности жидкости, охваченной ультразвуковыми колебаниями, вспучивается горка в 10 см высоты, а масляные капельки разбрызгиваются до высоты 40 см. Погрузив в такую масляную ванну конец стеклянной трубки в метр длиной, мы ощутим в руке, держащей другой конец, сильнейший ожог, оставляющий следы на коже. Соприкасаясь с деревом, конец трубки, находящийся в состоянии колебания, прожигает отверстие; энергия ультразвуков превращается в тепловую. Высокие колебания применяются для уплотнения бетона и т. д.

Сверхзвуки тщательно изучаются сейчас советскими и зарубежными исследователями[3]. Эти колебания оказывают сильное действие на живой организм: нити водорослей разрываются, животные клеточки лопаются, кровяные тельца разрушаются; мелкие рыбы и лягушки умерщвляются сверхзвуками в 1–2 минуты; температура тела испытуемых животных повышается, — у мыши, например, до 45°С. Со временем сверхзвуковые колебания будут, вероятно, играть немаловажную роль в медицине; неслышные ультразвуки разделят судьбу невидимых ультрафиолетовых лучей, придя на помощь врачеванию.

---

[1] В наши дни в лабораторных условиях получены ультразвуковые колебания частотой свыше 25 000 000 000 Гц (*примеч. ред.*).

[2] Это свойство кристаллов называется пьезоэлектричеством.

[3] Напоминаем, что текст написан в 1936 г. (*примеч. ред.*).

Техника использует сверхзвуки уже и в настоящее время. С помощью их в туманную погоду корабли получают с берега предостерегающие подводные сигналы. В английском и американском флотах ими пользуются для обнаружения неприятельских подводных лодок.

Особенно успешно применяются ультразвуки в металлургии для обнаружения неоднородностей, раковин, трещин и т. п. недостатков в толще металла. Метод «просвечивания» металла ультразвуком, разработанный нашей центральной радиолабораторией, состоит в том, что испытуемый металл смачивают маслом и подвергают действию сверхзвуковых колебаний. Звук рассеивается неоднородными участками металла, которые отбрасывают как бы звуковую тень; очертание неоднородностей так четко вырисовывается на фоне равномерной ряби, покрывающей масляный слой, что получающуюся картину можно даже сфотографировать.

«Просветить» сверхзвуком можно металлическую толщу в целый метр и более, — что совершенно недоступно для рентгеновского просвечивания; при этом обнаруживаются неоднородности весьма мелкие — до одного миллиметра. Несомненно — перед сверхзвуковыми колебаниями большая перспектива.

### Голоса лилипутов и Гулливера

В советском фильме «Новый Гулливер»[1] лилипуты говорят высокими голосами, соответствующими маленьким размерам их гортани, а великан — Петя — низким голосом. При съемке говорили за лилипутов взрослые артисты, а Петю играл ребенок; как же было достигнуто требуемое изменение в тоне голоса? Я был немало удивлен, когда режиссер Птушко сказал мне, что исполнители говорили при съемке своими естественными голосами; изменение же тона достигалось в процессе съемки оригинальным приемом, основанном на физических особенностях звука.

Чтобы сделать голоса лилипутов высокими, а голос Гулливера — низким, режиссер фильма записывал голоса артистов, игравших лилипутов, при *замедленном* движении ленты, голос же Пети, напротив, при *ускоренном* ее движении. На экран картина проектируется с нормальною скоростью. Нетрудно понять, что должно вследствие этого получиться. Голоса лилипутов воспринимаются слушателем при *учащенном* против нормального чередовании звуковых колебаний; от этого тон их должен *повыситься*. Голос же Пети, напротив, воспринимается при *замедленном* чередовании колебаний и, значит, должен *понизиться* в тоне. В итоге лилипуты в «Новом Гулливере» говорят голосом, на квинту *выше* голоса нормального взрослого человека, а сам Гулливер — Петя — на квинту *ниже* нормального тона.

Так своеобразно использована была «лупа времени» для звука.

---

[1] Первый в мировом кинематографе фильм (1935 г.), сделанный средствами объемной мультипликации (*примеч. ред.*).

### Для кого ежедневная газета выходит дважды в день?

Сейчас мы займемся задачей, которая на первый взгляд никакого отношения ни к звуку, ни вообще к физике не имеет. Тем не менее я попрошу вас уделить ей минуту внимания: она поможет вам легче уяснить себе дальнейшее.

Вероятно, вы уже встречались с этой задачей в одном из ее многочисленных видоизменений. Из Ленинграда во Владивосток каждый полдень выходит поезд. И каждый полдень из Владивостока в Ленинград также выходит поезд. Переезд длится, положим, 20 дней. Спрашивается: сколько поездов дальнего следования встретится вам во время путешествия из Владивостока в Ленинград?

Чаще всего отвечают: 20. Так ответили даже некоторые ученые, когда на съезде математиков один из них за завтраком предложил эту задачу остальным. Однако ответ неправилен: вы встретите не только 20 поездов, которые выйдут из Ленинграда *после* вашего отбытия, но и те 20, которые к моменту вашего отъезда *уже находились в пути*. Следовательно, правильный ответ 40, а не 20.

Далее. Каждый ленинградский поезд везет с собою свежие номера газет. И если вы интересуетесь новостями из Ленинграда, вы, конечно, будете на станциях усердно покупать газеты. Сколько же свежих номеров каждой газеты купите вы за 20 дней пути?

Вас теперь не затруднит правильный ответ: 40. Ведь каждый встречаемый вами поезд везет новые номера, а так как вы встретите 40 поездов, то и номеров прочтете тоже 40. Но путешествуете вы всего 20 дней, — значит, *вы будете читать ежедневную газету дважды в день*!

Вывод немного неожиданный, и вы, вероятно, не сразу поверили бы ему, если бы вам не случалось на практике убеждаться в его правильности. Вспомните хотя бы, что во время двухдневного переезда из Севастополя в Ленинград вы успевали прочитать ленинградские газеты не за *два*, а за *четыре* дня: те два номера, которые уже вышли в Ленинграде к моменту вашего отъезда, да еще два номера, которые выходят в свет в течение двух дней пути.

Итак, вы знаете уже, для кого ежедневные столичные газеты выходят дважды в день: для пассажиров всех поездов, едущих в столицу.

### Задача о паровозных свистках

Если вы обладаете развитым музыкальным слухом, то заметили, вероятно, как изменяется тон (не громкость, а именно *тон*, его высота) паровозного свистка, когда встречный поезд проносится мимо вашего. Пока оба поезда сближались, тон был заметно *выше* того, который слышится вам, когда поезда удаляются друг от друга. Если поезда идут быстро (50 км 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 в единицу времени; сопоставьте же это с тем, что вы узнали при обсуждении предыдущей задачи. Свисток встречного паровоза все время испускает один и тот же звук, с определенной частотой. Но ваше ухо воспринимает различное число колебаний в зависимости от того, едете ли вы навстречу, стоите ли на месте или удаляетесь от источника колебаний.

И подобно тому как, едучи в Ленинград, вы читаете ежедневную газету чаще раза в день, так и здесь, приближаясь к источнику звука, вы улавливаете колебания *чаще, чем они исходят из свистка локомотива*. Но здесь вы уже *не рассуждаете*: ваше ухо получает увеличенное число колебаний, — и вы непосредственно слышите *повышенный тон*. Удаляясь, вы получаете меньшее число колебаний — и слышите *пониженный тон*.

Если это объяснение не окончательно убедило вас, попробуйте непосредственно проследить (конечно, мысленно) за тем, как распространяются звуковые волны от свистка паровоза. Рассмотрите сначала *неподвижный* паровоз (рис. 324). Свисток производит воздушные волны, и мы рассмотрим для простоты только 4 волны (см. верхнюю волнистую линию): от неподвижного паровоза они успеют распространиться в какой-нибудь промежуток времени на одно и то же расстояние по всем направлениям. Волна № 0 дойдет до наблюдателя *A* через столько же времени, как и до наблюдателя *B*; затем до обоих наблюдателей одновременно дойдет волна № 1, № 2, потом № 3 и т. д.

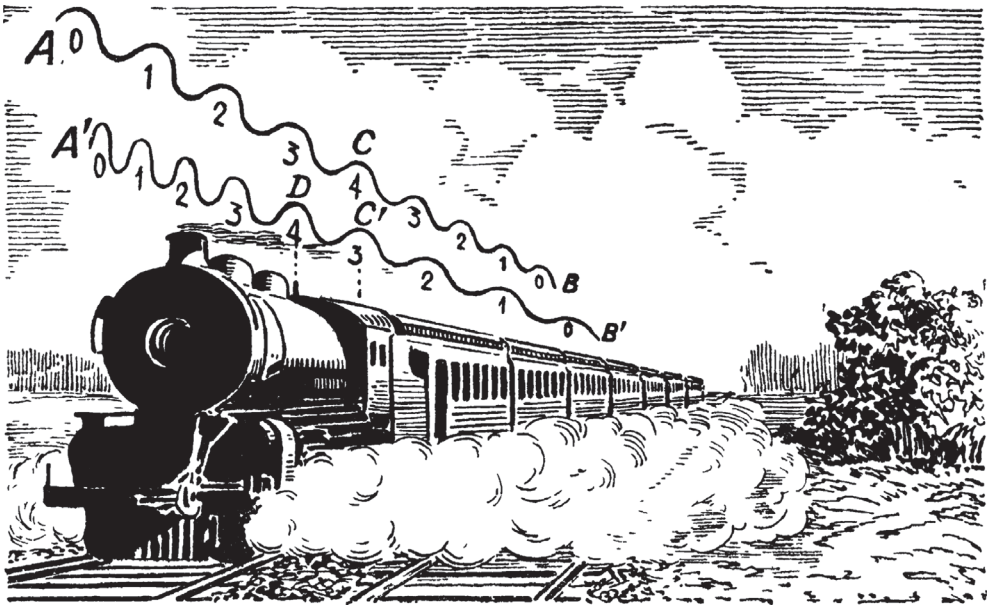



*Рис. 324. Задача о паровозных свистках.*
*Вверху — звуковые волны, испускаемые неподвижным паровозом, внизу — движущимся.*

Уши обоих наблюдателей в секунду получают одинаковое число толчков, и потому оба услышат один и тот же тон.

Другое дело, если свистящий паровоз *движется* от $B$ к $A$ (нижняя волнистая линия). Пусть в некоторый момент свисток находится в точке $C'$, а за время, когда он испустил четыре волны, он уже успел дойти до точки $D$.

Теперь сравните, как будут распространяться звуковые волны. Волна № 0, вышедшая из точки $C'$, дойдет одновременно до обоих наблюдателей $A'$ и $B'$. Но четвертая волна, образовавшаяся в точке $D$, дойдет до них уже не одновременно: путь $DA'$ меньше пути $DB'$ и, следовательно, к $A'$ она дойдет раньше, чем к $B'$. Промежуточные волны — № 1 и № 2 — также придут в $B'$ позже, чем в $A'$, но промедление будет меньшее. Что же получается? Наблюдатель в точке $A'$ будет *чаще* воспринимать звуковые волны, нежели наблюдатель в точке $B'$: первый услышит *более высокий тон*, нежели второй. Вместе с тем — как легко видеть из чертежа — длина волн, бегущих в направлении к точке $A'$, будет соответственно короче волн[1], идущих к $B'$.

## Явление Доплера

Явление, которое мы только что описали, открыто было физиком Доплером[2] и навсегда осталось связанным с именем этого ученого. Оно наблюдается не только для звука, но и для световых явлений, потому что свет тоже распространяется волнами. Учащение волн (воспринимаемое в случае звуковых волн как повышение тона) кажется глазу изменением *цвета*. Правило Доплера дает астрономам чудесную возможность не только открывать, приближается ли звезда к нам или удаляется, но позволяет даже измерить скорость этого перемещения.

Помощь астроному оказывает при этом боковое смещение темных линий, прорезывающих полосу спектра. Внимательное изучение того, в какую сторону и насколько сдвинулись темные линии в спектре небесного светила, позволило астрономам сделать целый ряд изумительных открытий. Так, благодаря явлению Доплера мы знаем теперь, что яркая звезда Сириус каждую секунду удаляется от нас на 75 км! Эта звезда находится от нас на таком неимоверно огромном расстоянии, что удаление даже на миллиарды километров не изменяет заметно ее видимой яркости. Мы, вероятно, никогда не узнали бы о движении этого светила, если бы нам не помогло явление Доплера.

С поразительною наглядностью сказывается на этом примере то, что физика есть наука поистине *всеобъемлющая*. Установив закон для *звуковых* волн,

[1] Необходимо иметь в виду, что волнообразные линии на рисунке вовсе не изображают формы звуковых волн: колебание частиц в воздухе происходит вдоль направления звука, а не поперек. Волны изображены здесь поперечными только ради наглядности.

[2] *Доплер Кристиан* (1803–1853) — австрийский математик и физик, известный своими исследованиями в области акустики и оптики (*примеч. ред.*).

достигающих в длину нескольких метров, она применяет его к исчезающе маленьким *световым* волнам, длиною всего в несколько десятитысячных долей миллиметра, и пользуется этим знанием, чтобы измерять стремительные движения гигантских солнц в неимоверных далях мироздания.

## История одного штрафа

Когда Доплер впервые (в 1842 г.) пришел к мысли, что взаимное сближение или удаление наблюдателя и источника звука или света должно сопровождаться изменением длины воспринимаемых звуков или световых волн, он высказал смелое соображение, что именно в этом кроется причина окраски звезд. Все звезды, думал он, сами по себе белого цвета; кажутся же многие из них окрашенными потому, что они быстро движутся по отношению к нам. Быстро приближающиеся белые звезды посылают земному наблюдателю укороченные световые волны, порождающие ощущение зеленого, голубого или фиолетового цветов; напротив, быстро удаляющиеся белые звезды кажутся нам желтыми или красными.

Это была оригинальная, но безусловно ошибочная мысль. Для того чтобы глаз мог заметить изменение окраски звезд, обусловленное движением, надо было бы прежде всего наделить звезды огромными скоростями — порядка десятков тысяч километров в секунду. Но и это оказалось бы недостаточным: дело в том, что одновременно с превращением, например, голубых лучей удаляющейся белой звезды в фиолетовые лучи зеленые превращаются в голубые, место ультрафиолетовых заступают фиолетовые, красных — инфракрасные; словом, составные части белого света остаются в наличности, так что, несмотря на общий сдвиг всех цветов спектра, глаз не должен был бы заметить никакого изменения общей окраски.

Другое дело — сдвиг темных линий в спектре звезд, движущихся по отношению к наблюдателю: эти перемещения хорошо улавливаются точными инструментами и позволяют определять скорость движения звезд по лучу зрения. (Хороший спектроскоп устанавливает скорость звезды, равную даже 1 км в секунду.)

Заблуждение Доплера вспомнилось знаменитому физику Вуду, когда полисмен (американский милиционер) готовился однажды оштрафовать его за то, что он не остановил своего быстро мчавшегося автомобиля, несмотря на красный сигнал. Профессор, как рассказывают, стал тогда уверять блюстителя порядка, что при быстрой езде навстречу сигналу красный цвет воспринимается как зеленый. Пока полисмен пытался разобраться в этой новой для него теории, ученый безнаказанно уехал. Будь полисмен сведущ в физике, он мог бы рассчитать, что для оправдания слов ученого автомобиль должен был мчаться с совершенно невероятною скоростью 135 миллионов километров в час.

Вот этот расчет. Если через $l$ обозначить длину волн света, испускаемого источником (в данном случае — сигнальным фонарем), через $l_1$ — длину волн,

воспринимаемых наблюдателем (профессором в автомобиле), через $v$ — скорость автомобиля, а через $c$ — скорость света, то зависимость между этими величинами, установленная теорией, такова:

$$\frac{l}{l_1}=1+\frac{v}{c}.$$

Зная, что самая короткая из волн, отвечающая красному цвету, равна 0,0063 миллиметра, а самая длинная волна зеленого света равна 0,0056 миллиметра, подставляем эти значения в формулу; скорость света нам также известна: 300 000 км/с. Имеем:

$$\frac{0,0063}{0,0056}=1+\frac{v}{300\,000},$$

откуда скорость автомобиля:

$$v=\frac{300\,000}{8}=37\,500 \text{ км/с},$$

или 135 000 000 км/ч. При такой быстроте профессор в течение часа с небольшим отъехал бы от полисмена дальше, чем до Солнца.

### Со скоростью звука

Что услышали бы вы, если бы удалялись от играющего оркестра со скоростью звука?

Человек, едущий из Ленинграда на почтовом поезде, видит на всех станциях у газетчиков одни и те же номера газет — именно те, которые вышли в день его отбытия. Это и понятно, потому что номера газет едут вместе с пассажиром, а свежие газеты везутся поездами, идущими позади. На этом основании можно, пожалуй, заключить, что, удаляясь от оркестра со скоростью звука, мы будем все время слышать одну и ту же ноту, которую оркестр взял в начальный момент нашего движения.

Однако заключение это неверно; если вы удаляетесь со скоростью звука, то звуковые волны, оставаясь относительно вас в покое, вовсе не ударяют в вашу барабанную перепонку, а следовательно, вы не можете слышать никакого звука. Вы будете думать, что оркестр прекратил игру.

Но почему же сравнение с газетами привело к другому ответу? Да просто потому, что мы неправильно применили в данном случае рассуждение по сходству (аналогию). Пассажир, встречающий всюду одни и те же номера газет, вообразит (т. е. мог бы вообразить, если бы забыл о своем движении), что выпуск новых номеров в столице вовсе прекратился со дня его отъезда. Для него газетные издательства прекратили бы свое существование, — как прекратилось бы существование звука для движущегося слушателя.

Любопытно, что в этом вопросе могут иногда запутаться даже ученые, — хотя, в сущности, он не так уж сложен. В споре со мной — я был тогда еще школьником — один астроном не соглашался с таким решением предыдущей задачи и утверждал, что, удаляясь со скоростью звука, мы должны слышать все время один и тот же тон. Он доказывал свою правоту следующим рассуждением (привожу отрывок из его письма):

«Пусть звучит нота известной высоты. Она звучала так с давнего времени и будет звучать неопределенно долго. Наблюдатели, размещенные в пространстве, слышат ее последовательно и, допустим, неослабно. Почему же вы не могли бы ее слышать, если бы с быстротою звука или даже мысли перенеслись на место любого из этих наблюдателей?»

Точно так же доказывал он, что наблюдатель, удаляющийся от молнии со скоростью света, будет все время непрерывно видеть эту молнию:

«Представьте себе, — писал он мне, — непрерывный ряд глаз в пространстве. Каждый из них будет получать световое впечатление после предыдущего; представьте, что вы мысленно и последовательно можете побывать на месте каждого из этих глаз, — и очевидно, вы все время будете видеть молнию».

Разумеется, ни то ни другое утверждения не верны: при указанных условиях мы не услышим звука и не увидим молнии.

—

«Занимательная физика» кончена. Если она возбудила в читателе желание поближе познакомиться с необъятной областью той науки, откуда почерпнута эта пестрая горсть простейших сведений, то задача автора выполнена, цель достигнута, и с чувством удовлетворения ставит он последнюю точку после слова

КОНЕЦ.

**Сто вопросов ко второй книге «Занимательной физики»**

1. Можно ли с воздушного шара заметить, как вертится под ним земной шар?
2. Камень, выпущенный во время полета летчиком из рук, падает ли вниз отвесно?
3. Можно ли устроить так, чтобы пассажиры безопасно покидали железнодорожный поезд на полном ходу?
4. Когда ледорез дробит носом лед, равно ли его действие противодействию льда?
5. Почему взлетает ракета? Взлетела ли бы зажженная ракета в безвоздушном пространстве?
6. Существуют ли животные, движущиеся по образцу ракеты?
7. Всегда ли силы, направленные в различные стороны, не сообщают телу никакого движения?
8. Почему свод прочнее плоского потолка?
9. Как ветер движет парусную лодку?
10. Можно ли было бы, имея длинный рычаг и точку опоры, поднять земной шар?
11. Чем объясняется то, что узел крепко держит связанные им веревки?
12. Можно ли было бы пользоваться узлами, если бы не было трения?
13. Укажите выгоды и невыгоды от отсутствия трения.
14. Когда половая щетка уравновешена на спинке стула, какая ее часть тяжелее: короткая или длинная?
15. Почему не опрокидывается вертящийся волчок?
16. Когда вода не выливается из опрокинутого стакана?
17. Когда свободный шар не скатывается вниз по наклону?
18. Где сила тяжести больше: в Ленинграде или в Москве?
19. Почему не замечаем мы взаимного притяжения предметов комнатной обстановки?
20. Какой длины прыжок могли бы вы сделать на Луне?
21. На какую высоту взлетела бы на Луне пуля современной винтовки при стрельбе отвесно вверх? Начальная скорость пули 900 м/с.
22. Если просверлить земной шар по диаметру и в образовавшуюся сквозную шахту бросить гирю, то где остановилась бы она при отсутствии сопротивления воздуха?
23. Как надо прорыть туннель сквозь гору, чтобы дождевая вода его не затопляла?

24. Можно ли бросить с Земли тело так, чтобы оно нигде на земной поверхности не упало?

25. В каких водах на территории СССР не утонет даже не умеющий плавать человек?

26. Как ледокол разламывает лед?

27. Доходят ли до дна океана затонувшие корабли?

28. На каком физическом законе основан был подъем «Садко»?

29. Кем введены в русскую речь слова «газ», «материя», «атмосфера», «барометр»?

30. В чем состоит «задача о бассейнах» и правильно ли решают ее школьные учебники арифметики?

31. Можно ли устроить так, чтобы жидкость вытекала из сосуда неослабевающей струей?

32. Разорвались ли бы «магдебургские полушария», если бы их растягивали с каждой стороны не 8 лошадей, а 8 слонов, — считая, что слон впятеро сильнее лошади?

33. Чем объясняется действие пульверизатора?

34. Почему взаимно притягиваются два рядом плывущих корабля?

35. Какую роль играет при плавании рыбы ее пузырь?

36. Какие два рода течения жидкости различают в физике?

37. Почему дым из фабричной трубы выходит клубами?

38. Почему флаг на ветру волнуется?

39. Почему на песке пустыни образуются волны?

40. На сколько метров надо подняться в атмосфере, чтобы давление ее упало на 1000-ю долю?

41. Применим ли закон Мариотта к воздуху под давлением 500 атмосфер?

42. Показывает ли термометр в ветреную погоду более низкую температуру, чем показывал бы он при отсутствии ветра?

43. Почему в ветреную погоду мороз хуже переносится, чем в тихую?

44. Всегда ли в жаркую погоду ветер приносит прохладу?

45. На чем основано действие охлаждающих кувшинов?

46. Как устроить охлаждающий шкаф, не пользуясь льдом?

47. Может ли наш организм выносить жару в 100°С?

48. Почему 36-градусный зной в Ташкенте переносится легче, чем 24-градусная жара в Ленинграде?

49. Для чего служит стекло в керосиновой лампе?

50. Почему продукты горения не гасят пламени керосиновой лампы или свечи?

51. Как горело бы пламя при отсутствии силы тяжести?

52. Как нагревалась бы на примусе вода при отсутствии тяжести?

53. Почему вода гасит огонь?

54. На чем основано тушение степного пожара поджиганием травы?

55. Закипит ли чистая вода в сосуде, нагреваемом кипящей водой?

56. Замерзнет ли вода в бутылке, погруженной в смесь воды со льдом?

57. Может ли вода кипеть при комнатной температуре?

58. Как с помощью термометра определяют давление атмосферы?

59. Бывает ли горячий лед?

60. Какие магниты бывают сильнее: естественные или искусственные?

61. Какие металлы, кроме железа, притягиваются сильным магнитом?

62. Существуют ли металлы, отталкиваемые сильным магнитом?

63. Действует ли магнит на жидкости и газы?

64. Какое техническое применение имеет свойство магнита отклонять пламя?

65. Какое притяжение сильнее: железа магнитом или магнита железом?

66. Какой орган чувств воспринимает действие магнитной силы?

67. Можно ли электромагнитным подъемным краном поднимать раскаленные болванки?

68. Почему вредно для золотых часов приближение к сильному магниту? Для каких часов оно безвредно?

69. Что такое радиевые часы? Можно ли их назвать «вечным двигателем»?

70. Как на основании радиоактивного распада определяется древность минералов и возраст Земли?

71. Почему птицы безнаказанно садятся на провода высоковольтной передачи?

72. Сколько времени длится молния?

73. Под каким углом друг к другу надо поставить два зеркала, чтобы предмет дал в них семь отражений?

74. Какая разница между солнечным двигателем и солнечным нагревателем?

75. Что такое «гелиотехника»?

76. Почему у рыб хрусталик глаза круглый?

77. Можно ли, окунувшись под воду, читать там книжный шрифт?

78. Кто различает лучше предметы под водой: водолаз с шлемом на голове или человек, нырнувший без шлема?

79. Может ли двояковыпуклая линза служить уменьшительным стеклом? А двояковогнутая — увеличительным стеклом?

80. Почему дно пруда кажется глазу приподнятым?

81. Что такое «предельный угол»?

82. Что такое «полное внутреннее отражение»?

83. Полезна ли рыбам их серебристая окраска?

84. Что такое «слепое пятно» нашего глаза? Как убедиться в его существовании?

85. Что такое «угол зрения»?

86. На каком расстоянии от глаза надо держать копеечную монету, чтобы она как раз закрывала полную Луну?

87. На сколько расходятся стороны угла в 1′ в расстоянии 10 метров от вершины?

88. Диаметр Юпитера примерно в 10 раз больше диаметра Земли. На каком расстоянии от нас находится эта планета, когда диск ее наблюдается под углом в 40°?

89. Как надо понимать выражения: «микроскоп увеличивает в 300 раз», «телескоп приближает в 500 раз»?

90. Почему автомобильные колеса на кинокартине часто вертятся назад, когда автомобиль мчится вперед?

91. Можно ли устроить так, чтобы быстро вращающийся шкив остановился для нашего глаза?

92. Верно ли, что заяц, не поворачивая головы, видит предметы, находящиеся позади?

93. Верно ли, что в темноте все кошки серы?

94. Что распространяется быстрее: радиосигнал или звук в воздухе?

95. Что движется быстрее: ружейная пуля или звук выстрела?

96. Каких звуковых колебаний не воспринимает наше ухо?

97. Имеют ли беззвучные звуки техническое применение?

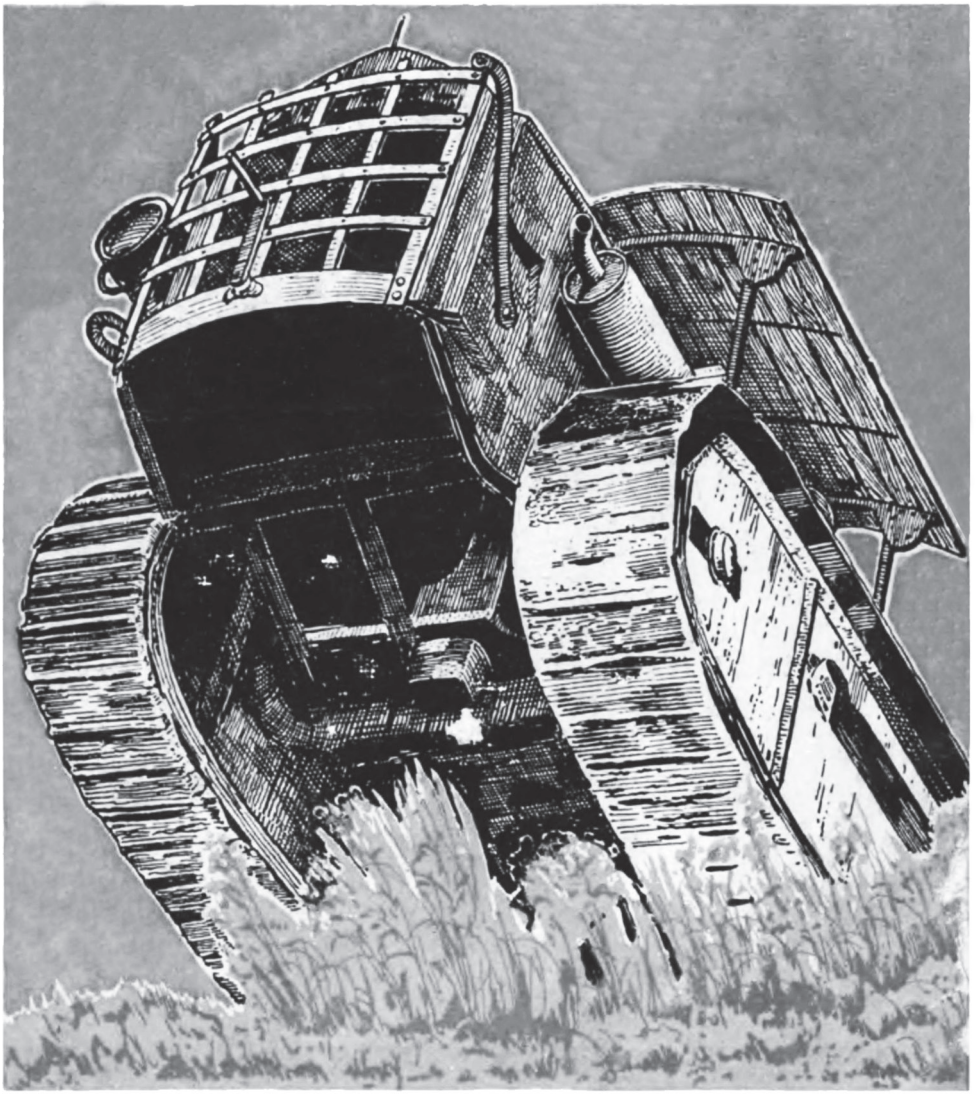
98. Что такое «звуковое облако»?

99. Как изменяется тон свистка приближающегося паровоза?

100. Что слышали бы мы, удаляясь от оркестра со скоростью звука?

Я. И. ПЕРЕЛЬМАН

# ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА



ВРЕМЯ

Иллюстрация на предыдущей странице воспроизводится по изданию:
*Перельман Я. И. Занимательная механика. — Л. : Время, 1932* (*примеч. ред.*).

## Предисловие

Две книги «Занимательной физики», которым суждено было разойтись более чем в ста тысячах экземпляров[1], сделали то, что читатели, сталкиваясь на практике с затруднительными физическими задачами, нередко обращаются за их разрешением к автору названных книг. Чрезвычайно интересно разнообразие этих вопросов: в них встречается все — от обиходных затруднений до задач большой техники и научных вопросов из смежных областей знания. Домашняя хозяйка спрашивает, полезно ли, замазывая на зиму окна, оставлять в наружной раме щели, как делают маляры. Кинофабрика, театр просят указаний о способе осуществления трюка или сценического эффекта. Врач лазарета просит по телефону немедленно разрешить такой вопрос: наложенная на рану марля пропиталась гноем, и надо отсосать гной, не делая новой перевязки; какую для этого нужно положить марлю поверх намокшей — с более крупными или более мелкими ячейками? Автор медицинской диссертации о шумах в венах нуждается в указаниях относительно движения жидкостей в трубках. Воздухоплаватель желает обсудить некоторые случаи движения дирижабля в потоке воздуха. Различные изобретатели — в том числе, конечно, и «вечного двигателя» — просят проверить правильность их основной идеи. Даже судостроительному заводу понадобились однажды услуги автора «Занимательной физики» для расчета, относящегося к спуску судна на воду.

Приведенный ряд не вымышленных, а самою жизнью поставленных вопросов убедительно доказывает поистине всеобъемлющее значение физики и теснейшее ее отношение ко всем сторонам жизни.

Если «естествознание есть грамотность мысли», то всего более справедливо это для физики, без овладения которой нельзя грамотно рассуждать ни в одной отрасли естествознания.

Распространение у нас физических знаний, к сожалению, далеко еще не отвечает исключительной важности этой науки. Особенно смутны в широких кругах представления из того отдела физики, который служит ее основой: из механики, учения о движении и силах. А «кто не знает движения, тот не понимает природы» (Аристотель).

---

[1] Текст написан в 1930 г.; см. примечание [4] на с. 8 (*примеч. ред.*).

Хотя вопросам механики отведено немало страниц в обеих книгах «Занимательной физики», я счел полезным посвятить механике отдельную книгу, написанную в той же манере.

«Занимательная механика» не спешит ознакомить читателя с последними достижениями науки, пока не выяснены первые ее основы. Она не излагает, впрочем, своего предмета с учебной систематичностью. Предполагая у читателя некоторые, хотя бы смутно усвоенные или полузабытые сведения, книга стремится освежить и уточнить их разбором ряда механических задач, любопытных в том или ином отношении. Не притязает книга и на исчерпание всех отделов механики: многие интересные вопросы не рассмотрены, иные — едва затронуты. Цель «Занимательной механики» — разбудить дремлющую мысль и привить вкус к занятию механикой; любознательный читатель сам тогда разыщет и приобретет недостающие сведения.

Вопреки установившемуся для популярных книг обычаю, в «Занимательной механике» попадаются математические выкладки. Мне известна неприязнь, которую питают многие к таким местам книг. И все же я не избегаю расчетов, так как считаю физические знания, приобретенные без расчетов, шаткими и практически бесплодными. Немыслимо получить сколько-нибудь полезные и прочные сведения из физики и особенно из механики, минуя относящиеся к ним простейшие расчеты.

В «Кодексе Юстиниана» (VI век) имеется закон «о злодеях, математиках и им подобных», в силу которого «безусловно воспрещается достойное осуждения математическое искусство». В наши дни математики не приравниваются к злодеям, но их «искусство» в популярных книгах безусловно воспрещается. Я не сторонник такой популяризации. Не для того тратим мы целые годы в школе на изучение математики, чтобы выбрасывать ее за борт, когда она понадобится. «Занимательная механика» прибегает к расчетам всюду, где необходимо внести ясность в вопрос; излишне добавлять, что математические злодеяния совершаются здесь в скромных пределах школьного курса.

Последняя глава этой книги — «Занимательная прогулка в страну Эйнштейна» — написана талантливым ленинградским математиком О. А. Вольбергом. Она представляет собою совершенно своеобразную и чрезвычайно удачную попытку общепонятного изложения сущности теории относительности. За предоставление этой превосходной статьи для «Занимательной механики» считаю себя приятно обязанным выразить здесь признательность автору.

В настоящем, третьем издании исправлены недосмотры прежних двух и прибавлено в разных местах несколько страниц текста.

*Я. П.*

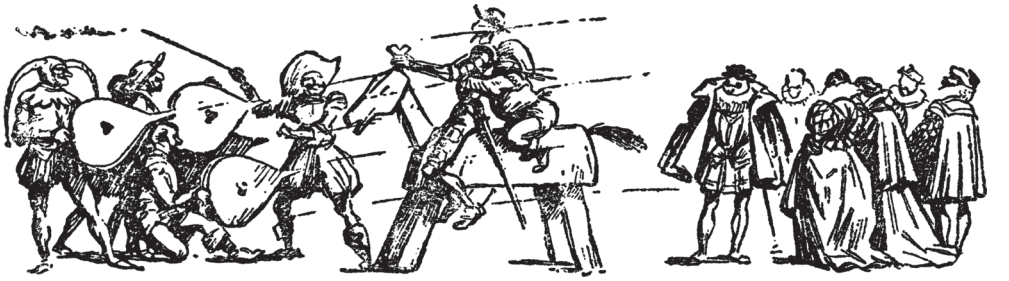


*Рис. 325. Воображаемый полет Дон Кихота и его оруженосца на деревянном коне.*

## *ГЛАВА ПЕРВАЯ*

# ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ МЕХАНИКИ

### Задача о двух яйцах

Держа в руках яйцо, вы ударяете по нему другим. Оба яйца одинаково прочны и сталкиваются одинаковыми частями. Которое из них должно разбиться: ударяемое или ударяющее?

Вопрос поставлен был несколько лет назад[1] американским журналом «Наука и изобретения». Журнал утверждал, что, согласно опыту, разбивается чаще «то яйцо, которое *двигалось*», другими словами — яйцо *ударяющее*.

«Скорлупа яйца, — пояснялось в журнале, — имеет кривую форму, причем давление, приложенное при ударе к неподвижному яйцу, действует на его скорлупу снаружи; но известно, что, подобно всякому своду, яичная скорлупа хорошо противостоит давлению извне. Иначе обстоит дело, когда усилие приложено к яйцу *движущемуся*. В этом случае движущееся содержимое яйца напирает в момент удара на скорлупу *изнутри*. Свод противостоит такому давлению гораздо слабее, чем напору снаружи, и — проламывается».

Когда та же задача была предложена мной в распространенной ленинградской газете, решения поступили крайне разнообразные.

Одни из решающих доказывали, что разбиться должно непременно *ударяющее* яйцо; другие — что именно оно-то и уцелеет. Доводы казались одинаково

[1] Текст написан в 1930 г. (*примеч. ред.*).

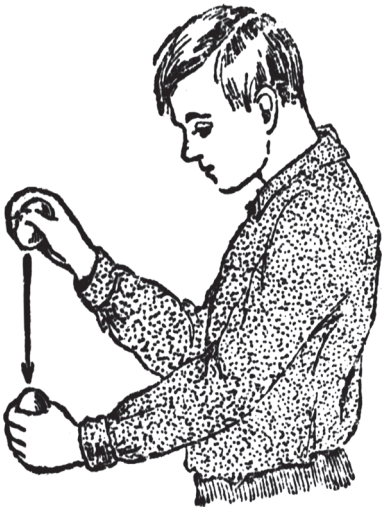


*Рис. 326. Которое яйцо сломается?*

правдоподобными, и тем не менее оба утверждения — в корне ошибочны! Установить рассуждением, которое из соударяющихся яиц должно разбиться, вообще невозможно, потому что между яйцами ударяющим и ударяемым различия не существует. Нельзя ссылаться на то, что ударяющее яйцо движется, а ударяемое неподвижно. Неподвижно — по отношению к чему? Если к земному шару, то ведь известно, что планета наша сама перемещается среди звезд, совершая десяток разнообразных движений; все эти движения «ударяемое» яйцо разделяет так же, как и «ударяющее», и никто не скажет, которое из них движется среди звезд быстрее. Чтобы предсказать судьбу яиц по признакам движения и покоя, понадобилось бы переворошить всю астрономию и определить движение каждого из соударяющихся яиц относительно неподвижных звезд. Да и это не помогло бы, потому что отдельные видимые звезды тоже движутся, и вся их совокупность, Млечный Путь, перемещается по отношению к иным звездным скоплениям.

Яичная задача, как видите, увлекла нас в бездны мироздания и все же не приблизилась к разрешению. Впрочем, нет, — приблизилась, если звездная экскурсия помогла нам понять ту важную истину, что движение тела без указания другого тела, к которому это движение относится, есть попросту бессмыслица. Одинокое тело, само по себе взятое, двигаться не может; могут перемещаться только *два тела* — взаимно сближаться или взаимно удаляться. Оба соударяющихся яйца находятся в одинаковом состоянии движения: они взаимно сближаются, — вот все, что мы можем сказать об их движении. Результат столкновения не зависит от того, какое из них пожелаем мы считать неподвижным и какое — движущимся.

Триста лет назад[1] впервые провозглашена была Галилеем относительность равномерного движения и покоя, их полная равнозначность. Этот «принцип относительности классической механики» не следует смешивать с «принципом относительности Эйнштейна», выдвинутым уже на глазах нынешнего поколения[2] и представляющим дальнейшее развитие первого принципа. Об учении Эйнштейна речь будет в последней главе нашей книги; но для его понимания необходимо хорошо уяснить себе главные следствия галилеева принципа.

---

[1] В 1632 г., в труде «Диалог о двух системах мира» (*примеч. ред.*).

[2] В 1905 г., в труде «К электродинамике движущихся тел» (*примеч. ред.*).

### Путешествие на деревянном коне

Из сейчас сказанного следует, что состояние равномерного прямолинейного движения неотличимо от состояния неподвижности при условии обратного *равномерного* и прямолинейного движения окружающей обстановки. Сказать: «тело движется с постоянной скоростью» и: «тело находится в покое, но все окружающее равномерно движется в обратную сторону» — значит утверждать одно и то же. Строго говоря, мы не должны говорить ни так, ни этак, а должны говорить, что тело и обстановка движутся одно относительно другой. Мысль эта еще и в наши дни усвоена далеко не всеми, кто имеет дело с механикой и физикой. А между тем она не чужда была уже автору «Дон Кихота», жившему три столетия назад и не читавшему Галилея. Ею проникнута одна из забавных сцен произведения Сервантеса — описание путешествия прославленного рыцаря и его оруженосца на деревянном коне.

«— Садитесь на круп лошади, — объяснили Дон Кихоту. — Требуется лишь одно: повернуть втулку, вделанную у коня на шее, и он унесет вас по воздуху туда, где ожидает вас Маламбумо. Но чтобы высота не вызвала головокружения, надо ехать с завязанными глазами.

Обоим завязали глаза, и Дон Кихот дотронулся до втулки».

Окружающие стали уверять рыцаря, что он уже несется по воздуху «быстрее стрелы».

«— Готов клясться, — заявил Дон Кихот оруженосцу, — что во всю жизнь мою не ездил я на коне с более спокойной поступью. Все идет, как должно идти, и ветер дует.

— Это верно, — сказал Санчо, — я чувствую такой свежий воздух, точно на меня дуют из тысячи мехов.

Так на самом деле и было, потому что на них дули из нескольких больших мехов».

Деревянный конь Сервантеса — прообраз многочисленных аттракционов, придуманных в наше время для развлечения публики на выставках и в парках. То и другое основано на полной невозможности отличить состояние покоя от равномерного движения.

### Здравый смысл и механика

Многие привыкли противополагать покой движению, как небо — земле и огонь — воде. Это не мешает им, впрочем, устраиваться в вагоне на ночлег, нимало не заботясь о том, стоит ли поезд или мчится. Но в теории те же люди зачастую убежденно оспаривают право считать мчащийся поезд неподвижным, а рельсы, землю под ними и всю окрестность — движущимися в противоположном направлении.

«Допускается ли такое толкование здравым смыслом машиниста? — спрашивает Эйнштейн, излагая эту точку зрения. — Машинист возразит,

что он топит и смазывает не окрестность, а паровоз; следовательно, на паровозе должен сказаться и результат его работы, т. е. движение».

Довод представляется на первый взгляд очень сильным, едва ли не решающим. Однако вообразите, что рельсовый путь проложен вдоль экватора и поезд мчится на запад, против вращения земного шара. Тогда окрестность будет бежать навстречу поезду, и топливо будет расходоваться лишь на то, чтобы мешать паровозу увлекаться назад, — вернее, чтобы помогать ему хоть немного отставать от движения окрестности на восток. Пожелай машинист удержать поезд совсем в покое (относительно Солнца), он должен был бы топить и смазывать паровоз так, как нужно для скорости две тысячи километров в час.

Чтобы убедить тех, кто еще сомневается в законности взаимной замены «покоя» и «движения», приведу слова одного из немногих *противников* учения Эйнштейна, проф. Ленарда[1]; критикуя Эйнштейна, он не посягает, однако, на теорию относительности Галилея. Вот что он пишет:

«Пока движение поезда остается вполне равномерным, нет никакой возможности определить, что именно находится в движении и что в покое: поезд или окрестность. Устройство материального мира таково, что всегда во всякий данный момент исключает возможность абсолютного решения вопроса о наличии равномерного движения или покоя и оставляет место только для изучения равномерного движения тел *относительно* друг друга, так как участие наблюдателя в равномерном движении не отражается на наблюдаемых явлениях и их законах».

## Поединок на корабле

Можно представить себе такую обстановку, к которой иные, пожалуй, затруднятся практически применить принцип относительности. Вообразите, например, на палубе движущегося судна двух стрелков, направивших друг в друга свое оружие. Поставлены ли оба противника в строго одинаковые условия? Не вправе ли стрелок, стоящий спиной к носу корабля, жаловаться на то, что пущенная им пуля летит медленнее, чем пуля противника?

Конечно, по отношению к воде моря пуля, пущенная против движения корабля, летит медленнее, чем на неподвижном судне, а пуля, направленная к носу, летит быстрее. Но это нисколько не нарушает условий поединка: пуля, направленная к корме, летит к мишени, которая *движется ей навстречу*, так что при равномерном движении судна недостаток скорости пули как раз восполняется встречной скоростью мишени; пуля же, направленная к носу, *догоняет свою мишень*, которая удаляется от пули со скоростью, равной избытку скорости пули.

---

[1] *Ленард Филипп Эдуард Антон фон* (1862–1947) — немецкий физик, лауреат Нобелевской премии 1905 г. за исследование катодных лучей; впоследствии разделил идеи национал-социализма и стал пропагандистом так называемой «арийской физики» в фашистской Германии (*примеч. ред.*).

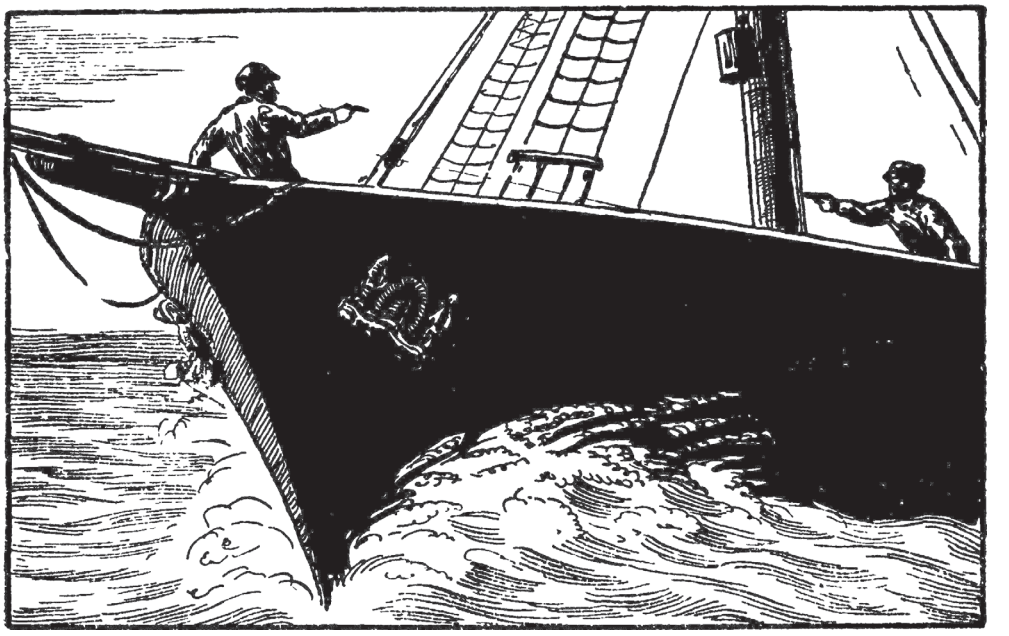


*Рис. 327. Чья пуля раньше достигнет противника?*

В конечном итоге обе пули *по отношению к своим мишеням* движутся совершенно так же, как и на корабле неподвижном.

Не мешает прибавить, что все сказанное относится только к такому судну, которое идет по прямой линии и притом с постоянной скоростью.

Здесь уместно будет привести отрывок из той книги Галилея, где был впервые высказан классический принцип относительности (книга эта, к слову сказать, едва не привела ее автора на костер инквизиции).

«Заключите себя с приятелем в просторное помещение под палубой большого корабля. Если движение корабля будет равномерным, то вы ни по одному действию не в состоянии будете судить, движется ли корабль или стоит на месте. Прыгая, вы будете покрывать по полу те же самые расстояния, как и на неподвижном корабле. Вы не сделаете вследствие быстрого движения корабля бóльших прыжков к корме, чем к носу корабля, — хотя, пока вы находитесь в воздухе, пол под вами бежит к части, противоположной прыжку. Бросая вещь товарищу, вам не нужно с большей силой кидать от кормы к носу, чем наоборот... Мухи будут летать во все стороны, не держась преимущественно той стороны, которая ближе к корме» и т. д.

Теперь понятна та форма, в которой обычно высказывается классический принцип относительности: «все движения, совершающиеся в какой-либо системе, не зависят от того, находится ли система в покое или перемещается прямолинейно и равномерно».

## Аэродинамическая труба

На практике иной раз оказывается чрезвычайно полезным заменять движение покоем и покой движением, опираясь на классический принцип относительности. Чтобы изучить, как действует на самолет или на автомобиль сопротивление воздуха, сквозь который они движутся, обычно исследуют «обращенное» явление: действие движущегося потока воздуха на покоящийся самолет. В лаборатории устанавливают широкую аэродинамическую трубу (рис. 328), устраивают в ней ток воздуха и изучают его действие на неподвижно подвешенную модель аэроплана или автомобиля. Добытые результаты с успехом прилагают к практике, хотя в действительности явление протекает как раз наоборот: воздух неподвижен, а аэроплан или автомобиль прорезают его с большой скоростью.

Читателю будет интересно узнать, что одна из крупнейших в мире аэродинамических труб устроена у нас в Москве, в Центральном аэрогидродинамическом институте (сокращенное обозначение — ЦАГИ). Она имеет восьмиугольную форму; длина ее 50 м, а поперечник в рабочей части 6 м. Благодаря таким размерам в ней умещается не уменьшенная лишь модель, а корпус настоящего аэроплана с пропеллером или целый автомобиль в натуральную величину. Более крупная аэродинамическая труба сооружена недавно во Франции: ее эллиптическое сечение имеет размеры 18 м × 16 м [1].

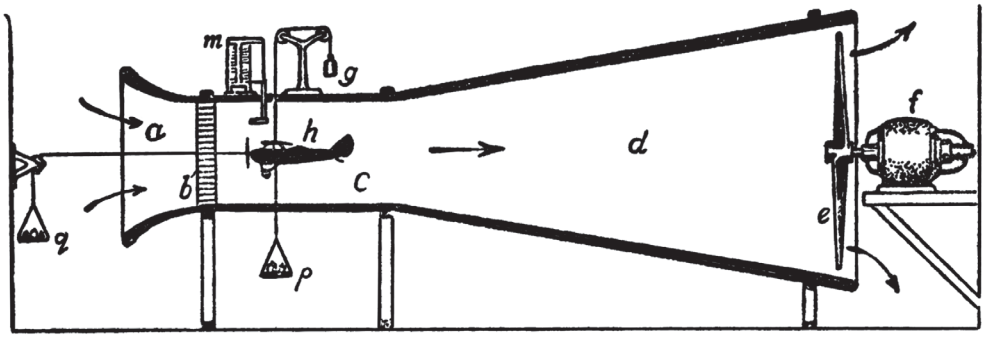



*Рис. 328. Разрез аэродинамической трубы ЦАГИ.*
*Воздух засасывается в трубку пропеллером e через решетку (f — электродвигатель).*
*Действие тока воздуха на аэроплан изучается с помощью приборов p, g, m.*
*Подвес q — так называемые аэродинамические весы —*
*уравновешивает давление воздушного потока.*

[1] Ныне крупнейшей в мире является аэродинамическая труба исследовательского центра Эймса (США) — 25 м в высоту и 50 м в ширину (*примеч. ред.*).

## На полном ходу поезда

Другой пример плодотворного применения классического принципа относительности беру из заграничной железнодорожной практики. В Англии и в Америке тендер нередко пополняется водой на полном ходу поезда. Достигается это остроумным «обращением» одного общеизвестного механического явления, а именно: если в поток воды погрузить отвесно трубку, нижний конец которой загнут против течения (рис. 329), то текущая вода проникает в эту так называемую «трубку Пито»[1] и устанавливается в ней выше уровня реки на определенную величину *H*, зависящую от скорости течения. Железнодорожные инженеры «обратили»

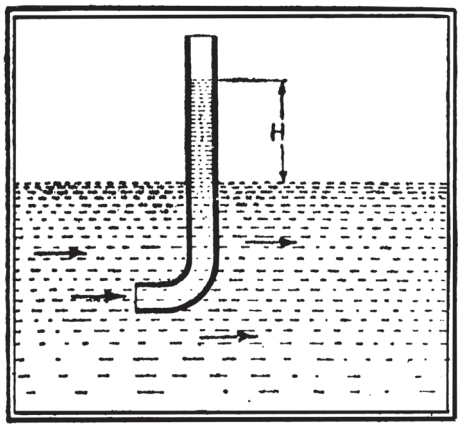



*Рис. 329. Труба Пито.*
*При погружении в текущую воду уровень в трубе поднимается выше, чем в водоеме.*

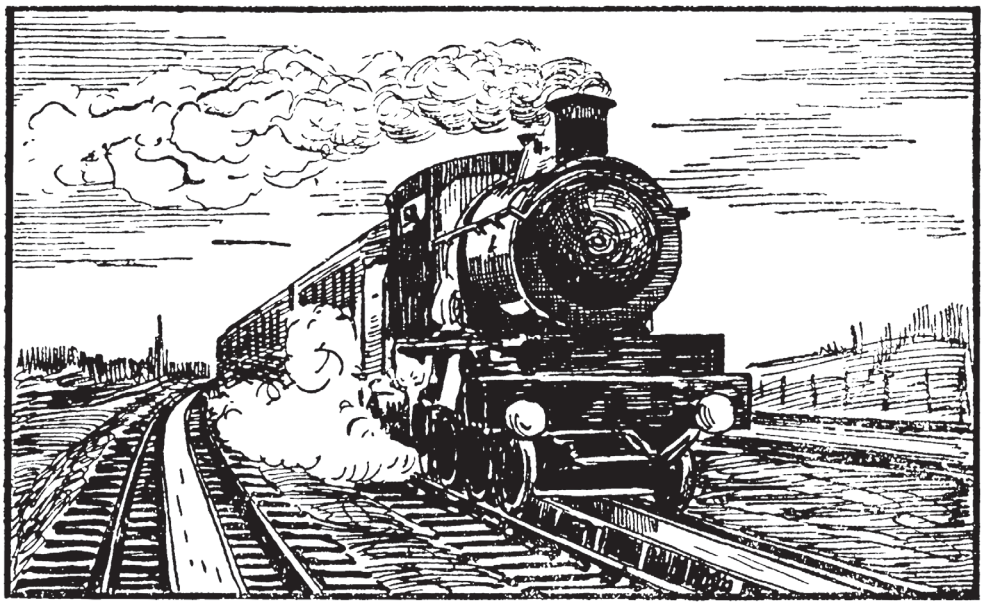


*Рис. 330. Как паровозы на полном ходу набирают воду.*
*Между рельсами устроен длинный водоем, в который погружается из тендера труба.*

[1] Названа по имени изобретателя, французского инженера-гидравлика *Анри Пито* (1695–1771) (*примеч. ред.*).

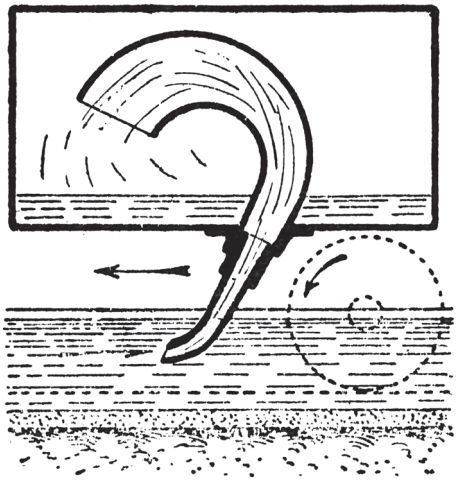


*Рис. 331. Применение трубы Пито для набора воды в тендер движущегося поезда.*

это явление: они двигают загнутую трубку в *стоячей* воде, — и вода в трубке поднимается выше уровня водоема. Движение заменяют покоем, а покой движением.

Осуществляют это так, что на станции, где тендер паровоза должен, не останавливаясь, запастись водой, устраивают между рельсами длинный водоем в виде канавы (рис. 330). С тендера спускают изогнутую трубу, обращенную отверстием в сторону движения. Вода, поднимаясь в трубе, подается в тендер быстро мчащегося поезда (рис. 331).

Как высоко может быть поднята вода этим оригинальным способом? По законам той отрасли механики, которая носит название «гидравлики» и занимается движением жидкостей, вода в трубе Пито должна подняться на такую же высоту, на какую взлетело бы вверх тело, подброшенное отвесно со скоростью течения воды; а эта высота ($H$) определяется формулой:

$$H = \frac{v^2}{2g},$$

где $v$ — скорость воды, а $g$ — ускорение силы тяжести, равное 9,8 м в секунду за секунду. В нашем случае скорость воды по отношению к трубе равна скорости поезда; взяв скромную скорость 36 км/ч, имеем $v$ = 10 м/с; следовательно, высота поднятия воды

$$H = \frac{v^2}{2\times 9{,}8} = \frac{100}{2\times 9{,}8} \approx 5 \text{ м}.$$

Ясно, что каковы бы ни были потери на трение, высота поднятия более чем достаточна для успешного наполнения тендера[1].

[1] В «Занимательной физике» (кн. 2-я) я применил тот же прием «обращения» к случаю взаимного притяжения кораблей на море (см. с. 331). Это вызвало возражение оттуда, откуда меньше всего можно было его ожидать: со стороны специалиста-физика, автора брошюры, популяризующей учение Эйнштейна. Он считает «обращение» явления в данном случае незаконным и готов подчиниться лишь свидетельству опыта: *«Если опыт даст утвердительный ответ, то я признаю вашу правоту»*. Каким темпом двигалась бы вперед наука, если бы в каждом частном случае применения общих законов необходимо было обращаться к новым опытам!

## Коперник и Птолемей

У читателя, без сомнения, уже родился вопрос: как же с точки зрения классического принципа относительности надо разрешать спор Коперника и Птолемея о движении Земли? Хотя в этом случае речь идет не о *прямолинейном* движении, и, следовательно, вопрос попадает в область учения Эйнштейна, мы все же не оставим его здесь без рассмотрения.

Итак, — что вокруг чего обращается[1]: Земля вокруг Солнца или Солнце вокруг Земли?

Такая постановка вопроса неправильна. Спрашивать, какое из двух указанных движений совершается «в действительности», — бессмысленно: тело может двигаться лишь *по отношению к другому телу*; двигаться же безотносительно — нельзя. Поэтому на поставленный вопрос надо ответить следующим образом: Земля и Солнце движутся одно относительно другого так, что при наблюдении с Земли Солнце кажется обращающимся вокруг Земли, а при наблюдении с Солнца — Земля кажется обращающейся вокруг Солнца.

Послушаем Эддингтона[2], выдающегося физика нашего времени:

«Простота планетных движений была затемнена птолемеевой схемой и стала ясной в схеме Коперника. Но для обыкновенных земных явлений положение обратное: птолемеева схема позволяет выявиться их естественной простоте. Земная, или птолемеева схема естественно приноровлена к земным явлениям, а солнечная, или копернико́ва — приноровлена к явлениям Солнечной системы; но мы не можем одну из них сделать пригодной для обеих систем, не вводя излишних усложнений».

Вы согласитесь с этим, если вспомните, что ни один астроном, не исключая и самого Коперника, не отказывался от «птолемеевского» выражения «Солнце восходит» и не заменял его коперниковским: «Земля в своем вращательном движении подставляет лучам Солнца то место, в котором я нахожусь». Для определения времени дня воззрение Птолемея *удобнее* Коперника, и мы без колебания становимся в этом случае на точку зрения древнего грека. Кто вздумал бы описывать солнечный восход в терминах учения Коперника, тот не сразу был бы понят даже самым убежденным копернико́м.

---

[1] Следует в круговом движении различать *обращение* (вокруг оси, не проходящей через движущееся тело) *от вращения* (вокруг оси, проходящей через движущееся тело). Земля совершает *обращение* вокруг Солнца и суточное *вращение* вокруг оси.

[2] *Эддингтон Артур Стэнли* (1882–1944) — английский астрофизик, внесший существенный вклад в теорию строения звезд, один из первых ученых, оценивших важность специальной и общей теории относительности (*примеч. ред.*).

Астрономы нашего времени, предвычисляя те или иные небесные явления, часто вовсе не думают о движении земного шара: им удобнее вести расчеты так, как будто все небо обращается вокруг неподвижной Земли[1].

Читатель не забыл, вероятно, — а может быть, и в самом деле успел забыть, — что поводом к так далеко отвлекшей нас беседе послужила задача об ударяющихся яйцах. Вспомнив об этом, читатель поймет, что если бы по сломанной скорлупе можно было узнавать, какое из яиц находится в «истинном» движении и какое «в абсолютном» покое, то это было бы открытием мирового значения, настоящим переворотом в механике. Американский журнал, беспечно полагавший, что им установлено различие между соударяющимися яйцами, не подозревал, что он находился в преддверии вечной славы.

### Как надо понимать закон инерции

Теперь, после того как мы так подробно побеседовали об относительности движения, необходимо сказать несколько слов о тех причинах, которые вызывают движение, — о силах. Прежде всего нужно указать на закон независимости действия сил; он формулируется так: *действие силы на тело не зависит от того, находится ли тело в покое или движется по инерции, либо под влиянием других сил*.

Это следствие так называемого «второго» из тех трех законов, которые положены Ньютоном в основу всей механики[2]. Первый — закон инерции; третий — закон противодействия.

Второму закону Ньютона будет посвящена вся следующая глава, поэтому здесь мы скажем о нем всего лишь несколько слов. Смысл этого закона состоит в том, что изменение скорости, мерой которой служит ускорение, пропорционально действующей силе и имеет одинаковое с ней направление. Этот закон можно выразить формулой

$$f = ma,$$

---

[1] Один из внимательных читателей поставил предо мной по этому поводу вопрос: *«Какую картину движения увидит наблюдатель, рассматривающий нашу планетную систему извне, с какой-нибудь отдаленной звезды? Будет ли Земля для этого наблюдателя кружиться около Солнца, или наоборот?»*

Отвечая на этот вопрос, надо прежде всего вспомнить, что абсолютно неподвижного наблюдательного пункта быть не может. Звезда, откуда смотрит наблюдатель, неподвижна относительно какого-либо другого тела. Если наблюдатель неподвижен относительно Солнца, то он увидит Землю, обращающуюся около Солнца. Если он неподвижен относительно Земли, он увидит Солнце, кружащееся около Земли. Если же он неподвижен относительно какого-либо третьего тела (например, другой звезды), то ему представятся движущимися — по тому или иному пути — и Солнце, и Земля.

[2] Точнее, *классической* механики (*примеч. ред.*).

где $f$ — сила, действующая на тело; $m$ — его масса и $a$ — ускорение тела. Из трех величин, входящих в эту формулу, труднее всего понять, что такое масса. Нередко смешивают ее с весом, но в действительности масса ничего общего с весом не имеет. Массы тел можно сравнивать по тем ускорениям, которые они получают под влиянием одной и той же силы. Как видно из только что написанной формулы, масса при этом должна быть тем больше, чем меньше ускорение, приобретенное телом под влиянием этой силы.

Закон *инерции*, хотя и противоречит привычным представлениям, наиболее понятен из всех трех[1]. И однако, иные понимают его совершенно превратно. Именно, его формулируют нередко как свойство тел «сохранять свое *состояние*, пока внешняя причина не нарушит этого состояния». Такое распространенное толкование подменяет закон инерции законом причинности, утверждающим, что ничто не происходит (т. е. никакое тело не изменяет своего состояния) без причины. Подлинный закон инерции относится не ко всякому физическому состоянию тел, а исключительно к состояниям *покоя* и *движения*. Он гласит:

*Всякое тело сохраняет свое состояние покоя или прямолинейного и равномерного движения до тех пор, пока действие сил не выведет его из такого состояния.*

Значит, каждый раз, когда тело

1) приходит в движение;

2) меняет свое прямолинейное движение на непрямолинейное или вообще движется по кривому пути;

3) прекращает, замедляет или ускоряет свое движение, — мы должны заключить, что на тело действует *сила*.

Если же ни одной из этих перемен в движении не наблюдается, то на тело никакая сила не действует, как бы стремительно оно ни двигалось. Надо твердо помнить, что тело, движущееся равномерно и прямолинейно, не находится вовсе под действием сил (или же все действующие на него силы уравновешиваются). В этом существенное отличие современных механических представлений от взглядов мыслителей древности и Средних веков (до Галилея). Здесь обыденное мышление и мышление научное резко расходятся.

Сказанное объясняет нам, между прочим, почему *трение* о неподвижное тело рассматривается в механике как *сила*, хотя никакого движения оно вызвать не может. Трение есть сила потому, что оно замедляет движение. Такие силы, которые сами не могут породить движения, а способны лишь замедлять уже возникшее движение (или уравновешивать другие силы), называются «пассивными» в отличие от сил движущих, или «активных».

---

[1] Противоречит он обыденным представлениям в той своей части, которая утверждает, что тело, движущееся равномерно и прямолинейно, не побуждается к этому никакой силой; привычный же взгляд тот, что раз тело движется, оно поддерживается в этом состоянии силой, а при отнятии силы движение должно прекратиться.

Подчеркнем же еще раз, что тела не *стремятся* оставаться в покое, а просто *остаются* в покое. Разница тут та же, что между упорным домоседом, которого трудно извлечь из квартиры, и человеком, случайно находящимся дома, но готовым по малейшему поводу покинуть квартиру. Физические тела по природе своей вовсе не «домоседы»; напротив, они в высшей степени подвижны, так как достаточно приложить к свободному телу хотя бы самую ничтожную силу, — и оно приходит в движение. Выражение «*тело стремится* сохранять покой» еще и потому неуместно, что выведенное из состояния покоя тело само собой к нему не возвращается, а, напротив, сохраняет навсегда сообщенное ему движение (при отсутствии, конечно, сил, мешающих движению).

Немалая доля тех недоразумений, которые связаны с законом инерции, обусловлена этим неосторожным словом «стремится», вкравшимся в большинство учебников физики и механики.

Не меньше трудностей для правильного понимания представляет *третий* закон Ньютона, к рассмотрению которого мы сейчас и переходим.

### Действие и противодействие

Желая открыть дверь, вы тянете ее за ручку к себе. Мышца вашей руки, сокращаясь, сближает свои концы: она с одинаковой силой влечет дверь и ваше туловище одно к другому. В этом случае до наглядности ясно, что между вашим телом и дверью действуют две силы, приложенные одна к двери, другая — к вашему телу. То же самое, разумеется, происходит и в случае, когда дверь открывается не на вас, а от вас: силы расталкивают дверь и ваше тело.

То, что мы наблюдаем здесь для силы мускульной, верно для всякой силы вообще, независимо от того, какой она природы. Каждое напряжение[1] действует в две противоположные стороны; оно имеет, выражаясь образно,

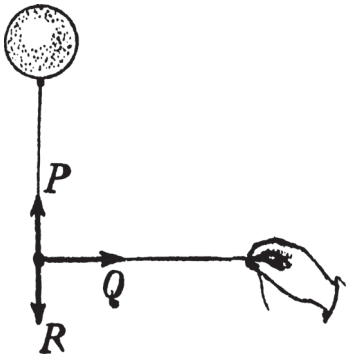
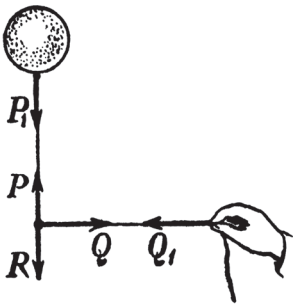



*Рис. 332. Силы (P, Q, R), действующие на грузик детского воздушного шара. Где силы противодействующие?*

[1] Т. е. усилие, воздействие (*примеч. ред.*).

два конца (две силы): один приложен к телу, на которое, как мы говорим, *сила действует*; другой приложен к телу, которое мы называем *действующим*. Сказанное принято выражать в механике коротко — слишком коротко для ясного понимания — так: *«действие равно противодействию»*.

Смысл этого закона состоит в том, что все силы природы — силы двойные. В каждом случае проявления действия силы вы должны представлять себе, что где-то в ином месте имеется другая сила, равная этой, но направленная в противоположную сторону. Эти две силы действуют непременно между двумя точками, стремясь их сблизить или растолкнуть.




Пусть вы рассматриваете (рис. 332) силы $P$, $Q$ и $R$, которые действуют на грузик, подвешенный к детскому воздушному шарику. Тяга $P$ шара, тяга $Q$ веревочки и вес $R$ грузика — силы как будто одиночные. Но это лишь отвлечение от действительности; на самом деле для каждой из трех сил имеется равная ей, но противоположная по направлению сила. А именно, сила, противоположная силе $P$ — приложена к воздушному шарику[1] (рис. 333, сила $P_1$); сила, противоположная силе $Q$ — действует на руку ($Q_1$); сила, противоположная силе $R$ — приложена в центре земного шара (сила $R_1$, рис. 333), потому что грузик не только притягивается Землей, но и сам ее притягивает.

*Рис. 333. Ответ на вопрос предыдущего рисунка: силы (P, Q, R) — силы противодействующие.*

Еще одно существенное замечание. Когда мы спрашиваем о величине натяжения веревки, концы которой растягиваются силами[2] в 1 кг, мы спрашиваем, в сущности, о цене 10-копеечной почтовой марки. Ответ содержится в самом вопросе: веревка натянута с силой 1 кг. Сказать «веревка растягивается двумя силами в 1 кг» или «веревка подвержена натяжению в 1 кг» — значит выразить буквально одну и ту же мысль. Ведь другого натяжения в 1 кг быть не может, кроме такого, которое состоит из двух сил, направленных в противоположные стороны. Забывая об этом, впадают нередко в грубые ошибки, примеры которых мы сейчас приведем.

[1] Точнее, приложена к нити, а уже через нее передается воздушному шарику (*примеч. ред.*).

[2] См. примечание на с. 36 (*примеч. ред.*).

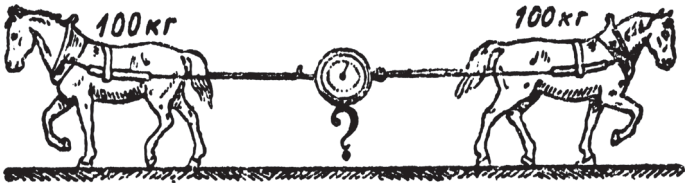



*Рис. 334. Каждая лошадь тянет с силою 100 кг. Сколько показывает пружинный безмен?*

### Задача о двух лошадях

Две лошади растягивают пружинный безмен с силою 100 кг каждая. Что показывает стрелка безмена?

Решение

Многие отвечают: 100 + 100 = 200 кг. Ответ неверен. Силы по 100 кг, с какими тянут лошади, вызывают, как мы только что видели, натяжение не в 200, а только в 100 кг.

Поэтому, между прочим, когда магдебургские полушария растягивались 8 лошадьми в одну сторону и 8 в противоположную, то не следует думать, что они растягивались силой 16 лошадей. При отсутствии противодействующих 8 лошадей остальные 8 не произвели бы на полушария ровно никакого действия. Одну восьмерку лошадей можно было бы заменить просто стеной.

### Задача о двух лодках

К пристани на озере приближаются две одинаковые лодки. Оба лодочника подтягиваются с помощью веревки. Противоположный конец веревки первой лодки привязан к тумбе на пристани; противоположный же конец

*Рис. 335. Которая из лодок причалит раньше?*

веревки второй лодки находится в руках матроса на пристани, который также тянет веревку к себе.

Все трое прилагают одинаковые усилия.

Какая лодка причалит раньше?

Решение

На первый взгляд может показаться, что причалит раньше та лодка, которую тянут двое: двойная сила порождает бóльшую скорость.

Но верно ли, что на эту лодку действует *двойная сила*? Если и лодочник и матрос оба тянут к себе веревку, то *натяжение* веревки равно силе только *одного* из них — иначе говоря, оно таково же, как и для первой лодки. Обе лодки подтягиваются с равною силою и причалят *одновременно*[1].

## Загадка пешехода и паровоза

Бывают случаи, — на практике нередкие, — когда как действующая, так и противодействующая силы приложены в разных местах *одного и того же тела*. Мускульное напряжение или давление пара в цилиндре паровоза представляют примеры таких сил, называемых «внутренними». Особенность их та, что они могут изменять взаимное расположение частей тела, насколько это допускает связь частей, но никак не могут сообщить *всем* частям тела одно общее движение. При выстреле из ружья пороховые газы, действуя в одну сторону, выбрасывают пулю вперед. В то же время давление пороховых газов, направленное в противоположную сторону, сообщает ружью движение назад. Двигать вперед и пулю и ружье давление пороховых газов, как сила внутренняя, не может.

Но если внутренние силы неспособны перемещать *все* тело, то как же движется пешеход? Как движется паровоз? Сказать, что пешеходу помогает трение ног о землю, а паровозу трение колес о рельсы, — не значит еще разрешить загадку. Трение, конечно, совершенно необходимо для движения пешехода и паровоза: известно, что нельзя ходить по очень скользкому льду

[1] С таким моим решением не согласился один из наших известных физиков, высказавший в письме ко мне соображение, которое, возможно, возникло в уме и других читателей:

*«Чтобы лодки причалили, — писал он, — надо, чтобы люди выбирали веревки. А двое, конечно, за то же время выберут веревки больше, и потому правая лодка причалит скорее».*

Этот простой довод, кажущийся на первый взгляд бесспорным, на самом деле ошибочен. Чтобы сообщить лодке двойную скорость (иначе лодка не пристанет вдвое скорее), *каждый* из двоих тянущих должен тянуть лодку *с удвоенной силой*. Только при таком условии удастся им выбрать вдвое больше веревки, чем одинокому (в противном случае — откуда возьмется у них для этого свободная веревка?). Но в условии задачи оговорено, что «все трое прилагают одинаковые усилия». Сколько бы двое ни старались, им не выбрать веревки больше, чем одинокому, раз сила натяжения веревок одинакова.

и что паровоз на скользких рельсах вращает колеса, не двигаясь с места. Но известно и то, что трение — сила *пассивная* (с. 481), неспособная сама по себе порождать движение.

Выходит, что силы, участвующие в движении пешехода и паровоза, не могут заставить их двигаться. Каким же образом движение все-таки происходит?

Загадка разрешается довольно просто. Две внутренние силы, действуя одновременно, не могут сообщить телу движения, так как действие одной силы уравновешивается действием другой. Но что будет, если некоторая третья сила уравновесит или ослабит действие одной из двух внутренних сил? Тогда ничто не помешает другой внутренней силе двигать тело. Трение и есть та третья сила, которая ослабляет действие одной из внутренних сил и тем дает другой силе возможность двигать тело.

Для большей ясности обозначим обе внутренние силы буквами $F_1$ и $F_2$, а силу трения — буквой $F_3$. Если величина и направление силы $F_3$ таковы, что она достаточно ослабляет действие силы $F_2$, то сила $F_1$ сможет привести тело в движение. Короче, движение пешехода и паровоза осуществляется потому, что из трех действующих на тело сил

$$F_1, F_2, F_3$$

силы $F_2$ и $F_3$ полностью или частью уравновешиваются, и тогда сила $F_1$ становится действующей. Инженеры, описывая движение паровоза, предпочитают говорить[1], не вполне последовательно, что уравновешиваются силы $F_1$ и $F_2$, а движет паровоз сила трения $F_3$. Практически это, впрочем, безразлично, поскольку для движения паровоза необходимо участие и силы пара, и силы трения.

### Что значит «преодолеть инерцию»?

Закончим главу рассмотрением еще одного вопроса, также зачастую порождающего превратные представления. Приходится нередко читать и слышать, что для приведения покоящегося тела в движение надо прежде всего «преодолеть инерцию» этого тела. Мы знаем, однако, что свободное тело нисколько не сопротивляется стремлению силы привести его в движение. Что же тут надо «преодолевать»?

«Преодоление инерции» — не более как условное выражение той мысли, что каждое тело для приведения себя в движение с определенной скоростью требует определенного промежутка времени. Никакая сила, даже самая большая, не может мгновенно сообщить заданную скорость никакой массе, как бы ни была ничтожна эта масса. Мысль эта замкнута в краткой формуле

$$Ft = mv,$$

[1] Возможно, так было общепринято в 1930-е гг. (*примеч. ред.*).

о которой мы будем говорить в следующей главе, но которая, надеюсь, знакома читателю из учебника физики. Ясно, что при $t = 0$ (время равно нулю) произведение $mv$ массы на скорость равно нулю, и, следовательно, скорость равна нулю, так как масса не может равняться нулю. Другими словами, если силе $F$ не дать времени для проявления ее действия, она не сообщит телу никакой скорости, никакого движения. Если масса тела велика, потребуется сравнительно большой промежуток времени, чтобы сила сообщила телу заметное движение. Нам будет казаться, что тело начинает двигаться не сразу, что оно словно противится действию силы. Отсюда и сложилось ложное представление о том, что сила, прежде чем заставить тело двигаться, должна *«преодолеть его инерцию»*, его косность (буквальный смысл слова *«инерция»*).

### Железнодорожный вагон

Один из читателей просит меня разъяснить вопрос, который, в связи с сейчас сказанным, возник, вероятно, у многих: «Почему сдвинуть железнодорожный вагон с места труднее, чем поддерживать движение вагона, уже катящегося равномерно?»

Не только труднее, прибавлю я, но и вовсе невозможно, если прилагать небольшое усилие. Чтобы поддерживать равномерное движение пустого товарного вагона по горизонтальному пути, достаточно, при хорошей смазке, усилия килограммов в 15. Между тем, такой же неподвижный вагон не удается сдвинуть с места силой, меньшей 60 килограммов.

Причина не только в том, что приходится в течение первых секунд затрачивать силу на приведение вагона в движение с заданной скоростью (затрата эта сравнительно невелика); причина кроется, главным образом, в условиях смазки стоящего вагона. В начале движения смазка еще не распределена равномерно по всему подшипнику, и оттого заставить вагон двигаться тогда очень трудно. Но едва колесо сделает первый оборот, условия смазки сразу значительно улучшаются, и поддерживать дальнейшее движение становится несравненно легче.

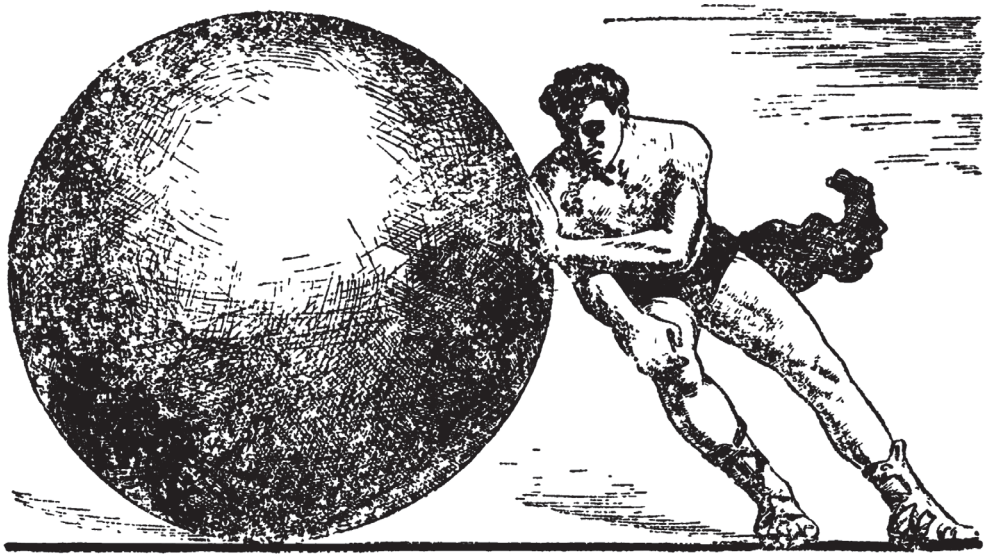


*Рис. 336. Мог ли бы человек сдвинуть земной шар? (См. с. 497.)*

## *ГЛАВА ВТОРАЯ*

# СИЛА И ДВИЖЕНИЕ

### Справочная таблица по механике

*«Никакое человеческое знание не может притязать на название истинной науки, если оно не пользуется математическими доказательствами»*, — писал Леонардо да Винчи. Это было верно уже в младенческие годы науки; еще правильнее такое утверждение для наших дней. В настоящей книге нам не раз придется обращаться к формулам из механики. Для читателей, хотя и проходивших механику, но забывших эти соотношения, дана здесь небольшая табличка-справочник, помогающая восстановить в памяти важнейшие формулы. Она составлена по образцу пифагоровой таблицы умножения: на пересечении двух граф отыскивается то, что получается от умножения величин, написанных по краям. (Обоснование этих формул читатель найдет в учебниках механики.)

Покажем на нескольких примерах, как пользоваться табличкой.

| | Скорость $v$ | Время $t$ | Масса $m$ | Ускорение $a$ | Сила $F$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Путь $S$ | — | — | — | $\frac{v^2}{2}$ (равноперем. движ.) | Работа $A=\frac{mv^2}{2}$ |
| Скорость $v$ | $2aS$ (равноперем. движ.) | Путь $S$ (равномерн. движ.) | Импульс $Ft$ | — | Мощность $W=\frac{A}{t}$ |
| Время $t$ | Путь $S$ (равномерн. движ.) | — | — | Скорость $v$ (равноперем. движ.) | Количество движения $mv$ |
| Масса $m$ | Импульс $Ft$ | — | — | Сила $F$ | — |

Умножая скорость $v$ равномерного движения на время $t$, получаем путь $S$ (формула $S = vt$).

Умножая силу $F$ на путь $S$, получаем работу $A$, которая в то же время равна и полупроизведению массы $m$ на квадрат скорости $v$:

$$A = FS = \frac{mv^2}{2}.$$ [1]

Подобно тому, как с помощью таблицы умножения можно узнавать результаты *деления*, так и из нашей таблички можно извлечь, например, следующие соотношения:

скорость $v$ равнопеременного движения, деленная на время $t$, равна ускорению $a$ (формула $a=\frac{v}{t}$).

Сила $F$, деленная на массу $m$, равна ускорению $a$; деленная же на ускорение $a$, равна массе $m$:

$$a=\frac{F}{m} \text{ и } m=\frac{F}{a}.$$

[1] Формула $A = FS$ верна лишь в том случае, когда направление силы совпадает с направлением пути. Вообще же имеет место более сложная формула $A = FS \cos \alpha$, в которой $\alpha$ обозначает угол между направлениями силы и пути.

Также и формула $A=\frac{mv^2}{2}$ верна только в простейшем случае, когда начальная скорость тела равна нулю; если же начальная скорость равна $v_0$, а конечная скорость $v$, то работа, которую нужно затратить, чтобы вызвать такое изменение скорости, выражается формулой $A=\frac{mv^2}{2}-\frac{mv_0^2}{2}$.

Пусть для решения механической задачи вам потребовалось вычислить *ускорение*. Вы составляете по табличке все формулы, содержащие ускорение, прежде всего формулы

$$aS = \frac{v^2}{2}, \quad v = at, \quad F = ma,$$

а затем и формулу

$$t^2 = \frac{2S}{a}, \quad \text{т. е. } S = \frac{at^2}{2}.$$

Среди них ищете ту, которая отвечает условиям задачи.

Если пожелаете иметь все уравнения, с помощью которых может быть определена *сила*, табличка предложит вам на выбор:

$FS = A$ (работа),
$Fv = W$ (мощность),
$Ft = mv$ (количество движения),
$F = ma$.

Не надо упускать из виду, что вес ($P$) есть тоже сила, поэтому наряду с формулой $F = ma$ в нашем распоряжении имеется и формула $P = mg$, где $g$ — ускорение силы тяжести близ земной поверхности. Точно так же из формулы $FS = A$ следует, что $Ph = A$ для тела весом $P$, поднятого на высоту $h$.

Пустые клетки таблицы показывают, что произведения соответствующих величин не имеют в механике никакого смысла.

Еще важное замечание. Формулы механики полезны только в руках того вычислителя, который твердо знает, *в каких мерах* надо выразить входящие в них величины. Если, вычисляя работу по формуле $A = FS$, вы выразите силу $F$ в килограммах, а путь $S$ — в сантиметрах, то получите величину работы в редко употребляемых единицах — в килограмм-сантиметрах и, конечно, легко можете запутаться. Чтобы получился надлежащий результат, сила должна быть выражена в *килограммах*, а путь в *метрах*; тогда работа получится в *килограммометрах*. Но вы можете выразить силу и в *динах*, а путь в *сантиметрах*, тогда результат покажет число *эргов* работы (дина — сила, равная $\frac{1}{980}$ г, т. е. приблизительно 1 мг), — *дино-сантиметров*.

Точно так же равенство $F = ma$ даст силу в динах только тогда, когда масса выражена в граммах, а ускорение в сантиметрах в секунду за секунду.

Уменью выбирать единицы мер и безошибочно определять, в каких мерах получился результат, нельзя научиться в четверть часа. Кто этим уменьем еще не обладает, тому следует во всех случаях пользоваться мерами системы «сантиметр-грамм-секунда» (CGS)[1], а полученный результат, если нужно, переводить в другие меры.

---

[1] CGS (СГС, «абсолютная физическая система единиц») — система единиц измерения, широко использовавшаяся в науке вплоть до принятия в 1960 г. Международной системы единиц (СИ); в наши дни все еще продолжает использоваться в теоретической физике и в астрофизике.

Для перевода расчетов Я. П. в более привычные меры (а это полезная практика) следует помнить, что в системе СИ работа 1 кгм = 9,8 Дж, сила 1 дин = 1 г × см/с$^2$ = $10^{-5}$ Н, а энергия (работа) 1 эрг = 1 г × см$^2$/с$^2$ = $10^{-7}$ Дж (*примеч. ред.*).

Эти практические мелочи очень существенны; незнание их зачастую приводит к самым нелепым ошибкам.

### Отдача огнестрельного оружия

В качестве примера применения нашей таблицы рассмотрим «отдачу» ружья. Пороховые газы, выбрасывающие своим напором пулю в одну сторону, отбрасывают в то же время и ружье в обратную сторону, порождая всем известную «отдачу». С какой скоростью движется отдающее ружье? Вспомним закон равенства действия и противодействия. По этому закону давление пороховых газов на ружье должно быть равно давлению пороховых газов на пулю, выбрасывающему пулю. При этом обе силы действуют одинаковое время. Заглянув в таблицу, находим, что произведение силы $F$ на время $t$ равно «количеству движения» $mv$, т. е. произведению массы $m$ на ее скорость $v$:

$$Ft = mv.$$ [1]

Так как $Ft$ для пули и для ружья одинаково, то должны быть одинаковы и количества движения. Если $m$ — масса пули, $v$ — ее скорость, $M$ — масса ружья, $w$ — его скорость, то, согласно сейчас сказанному,

$$mv = Mw,$$

откуда

$$\frac{w}{v} = \frac{m}{M}.$$

Подставим в эту пропорцию числовые значения ее членов. Масса пули военной винтовки — 9,6 г, скорость ее при вылете — 800 м/с; масса винтовки — 4500 г. Значит,

$$\frac{w}{880} = \frac{9{,}6}{4500}.$$

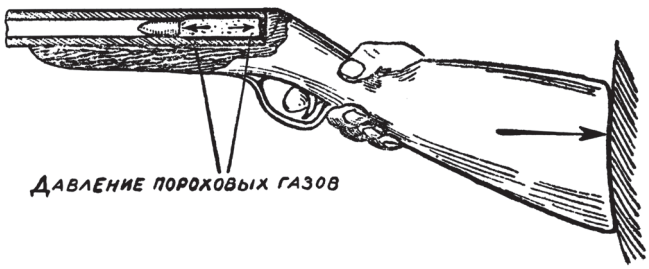



*Рис. 337. Почему ружье при выстреле отдает?*

[1] Равенство справедливо для случая, когда тело начинает движение из состояния покоя; в общем же случае импульс силы $Ft = mv - mv_0$, где $F$ — постоянная сила, а $v_0$ — начальная скорость тела (*примеч. ред.*).

Следовательно, скорость ружья $w = 1{,}9$ м/с. Нетрудно вычислить, что отдающее ружье несет с собою в 470 раз меньшую «живую силу» ($\frac{mw^2}{2}$), нежели пуля; это значит, что разрушительная энергия ружья при отдаче в 470 раз меньше, нежели пули, хотя — заметим это! — количество движения для обоих тел одинаково. Неумелого стрелка отдача может все же опрокинуть и даже поранить.

Для нашей полевой скорострельной пушки[1], весящей 2000 кг и выбрасывающей 6-килограммовые снаряды со скоростью 600 м/с, скорость отдачи примерно такая же, как и у винтовки — 1,9 м/с. Но при значительной массе орудия энергия этого движения в 450 раз больше, чем для винтовки, и почти равна энергии ружейной пули в момент ее вылета. Старинные пушки откатывались отдачей с места назад. В современных орудиях скользит назад только ствол, лафет же остается неподвижным, удерживаемый упором (сошником) на конце хобота. Морские орудия (не вся орудийная установка) при выстреле откатываются назад, но, благодаря особому приспособлению, сами после отката возвращаются на прежнее место.

Читатель заметил, вероятно, что в наших примерах тела, наделенные равными *количествами движения*, обладают далеко не одинаковой кинетической *энергией*. В этом, разумеется, нет ничего неожиданного: из равенства

$$mv = Mw$$

вовсе не следует, что

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{Mw^2}{2}.$$

Второе равенство верно лишь в том случае, когда $v = w$ (в этом легко убедиться, разделив второе равенство на первое). Между тем среди людей, не изучавших механику систематически, весьма распространено неправильное убеждение, будто равенство количеств движения (а значит, и равенство импульсов) обусловливает собой равенство кинетической энергии. Многие изобретатели-самоучки, как я заметил, исходят из того, что равным импульсам соответствуют равные количества *работы*. Это ведет, конечно, к плачевным неудачам[2] и лишний раз доказывает необходимость для изобретателя хорошо усвоить основы теоретической механики.

---

[1] Судя по всему, Я. П. имеет в виду 76-мм полевую скорострельную пушку образца 1902 г.; впрочем, возможно, речь идет и о ее последующей модернизации — о 76-мм дивизионной пушке образца 1902/30 гг., снятой с производства в год написания этой книги (1937) (*примеч. ред.*).

[2] Например, к попыткам создать вечный двигатель, то есть машину, совершающую работу без соответствующей затраты энергии (*примеч. ред.*).

### Знание обиходное и научное

При изучении механики поражает то, что во многих весьма простых случаях наука эта резко расходится с обиходными представлениями. Вот показательный пример. Как должно двигаться тело, на которое неизменно действует одна и та же сила? «Здравый смысл» подсказывает, что такое тело должно двигаться все время с одинаковой скоростью, т. е. равномерно. И наоборот, если тело движется равномерно, то это в обиходе считается признаком того, что на тело действует все время одинаковая сила. Движение телеги, паровоза и т. п. как будто подтверждает это.

Механика говорит, однако, совершенно другое. Она учит, что постоянная сила порождает движение не равномерное, а *ускоренное*, — так как к скорости, ранее накопленной, сила непрерывно добавляет новую скорость. При равномерном же движении тело *вовсе не находится под действием силы*, — иначе оно двигалось бы неравномерно (см. с. 481).

Неужели же обиходные наблюдения так грубо ошибочны?

Нет, они не вполне ошибочны, но относятся к весьма ограниченному кругу явлений. Обиходные наблюдения делаются над телами, перемещающимися *в условиях трения и сопротивления среды*. Законы же механики имеют в виду тела, движущиеся *свободно*. Чтобы тело, движущееся с *трением*, обладало постоянной скоростью, к нему действительно надо приложить постоянную силу. Но сила тратится здесь не на то, чтобы двигать тело, а лишь на то, чтобы преодолевать трение, т. е. создать для тела условия свободного движения. Вполне возможны поэтому случаи, когда тело, движущееся с трением *равномерно*, находится под действием *постоянной* силы.

Мы видим, в чем грешит обиходная механика: ее утверждения почерпнуты из *недостаточного* материала. Научные обобщения имеют более широкую базу. Законы научной механики выведены из движения не только телег и паровозов, но также планет и комет. Чтобы делать правильные обобщения, надо расширить поле наблюдений и очистить факты от случайных обстоятельств. Только так добытое знание раскрывает глубокие корни явлений и может быть плодотворно применено на практике.

В дальнейшем мы рассмотрим ряд явлений, где отчетливо выступает связь между величиной *силы*, двигающей свободное тело, и величиной приобретаемого им *ускорения*, — связь, которая устанавливается уже упоминавшимся

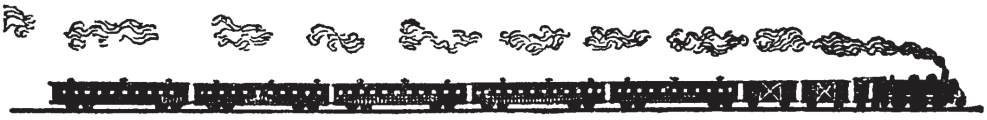


*Рис. 338. При равномерном движении поезда сила тяги преодолевает сопротивления движению.*

вторым законом Ньютона. Это важное соотношение, к сожалению, смутно усваивается при школьном прохождении механики. Примеры взяты в обстановке фантастической, но сущность явления выступает от этого еще отчетливее.

## Пушка на Луне

### Задача

Артиллерийское орудие сообщает снаряду на Земле начальную скорость 900 м/с. Перенесите его мысленно на Луну, где все тела становятся в шесть раз легче. С какой скоростью снаряд покинет там это орудие? (Различие, обусловленное отсутствием на Луне атмосферы, оставим без внимания.)

### Решение

На вопрос этой задачи часто отвечают, что так как сила взрыва на Земле и на Луне одинакова, а действовать на Луне приходится ей на вшестеро более легкий снаряд, то сообщенная скорость должна быть там в шесть раз больше, чем на Земле: 900 × 6 = 5400 м/с. Снаряд вылетит на Луне со скоростью 5,4 км/с.

Подобный ответ при кажущемся его правдоподобии совершенно неверен.

Между силой, ускорением и весом вовсе не существует той связи, из какой исходит приведенное рассуждение. Формула механики, являющаяся математическим выражением второго закона Ньютона, связывает силу и ускорение с *массой*, а не с *весом*: $F = ma$. Но масса снаряда нисколько на Луне не изменилась: она там та же, что и на Земле; значит, и ускорение, сообщаемое снаряду силой взрыва, должно быть на Луне такое же, как и на Земле: а при одинаковых ускорениях и времени — одинаковы и скорости (согласно формуле $v = at$)[1].

Итак, пушка на Луне выбросила бы снаряд точно с такой же начальной скоростью, как и на Земле. Другое дело, как *далеко* или как *высоко* залетел бы на Луне этот снаряд. В этом случае ослабление тяжести имеет уже существенное значение.

Например, высота отвесного подъема снаряда, покинувшего на Луне пушку со скоростью 900 м/с, определится из формулы

$$aS = \frac{v^2}{2},$$

которую мы находим в справочной табличке (с. 489). Так как ускорение силы тяжести на Луне в шесть раз меньше, чем на Земле, т. е.

$$a = \frac{g}{6},$$ то формула получает вид:

$$\frac{gS}{6} = \frac{v^2}{2}.$$

[1] Точнее, при одинаковых ускорениях и путях — согласно формуле $v = \sqrt{2aS}$, где $S$ — путь снаряда внутри дула орудия (*примеч. ред.*).

Отсюда пройденный снарядом отвесный путь

$$S = 6 \times \frac{v^2}{2g}.$$

На Земле же (при отсутствии атмосферы):

$$S = \frac{v^2}{2g}.$$

Значит, на Луне пушка закинула бы ядро в шесть раз выше, чем на Земле (сопротивление воздуха мы не принимали во внимание), несмотря на то, что начальная скорость снаряда в обоих случаях одинакова.

### Наган на дне океана

Для этой задачи взята также необычная обстановка — дно океана. Глубочайшее место океана, какое удалось промерить, находится близ Антильских островов[1]: 11 000 м.

Вообразите, что на этой глубине очутился наган и что заряд его не промок. Курок спущен, порох воспламенился. Вылетит ли пуля?

Вот сведения о нагане, необходимые для решения задачи: длина ствола 22 см; скорость пули при выходе из дула — 270 м/с; калибр (диаметр канала) — 7 мм; вес пули — 7 г.

Итак, выстрелит ли наган на дне океана?

Решение

Задача сводится к решению вопроса: какое давление на пулю больше — пороховых газов изнутри или воды океана снаружи? Последнее рассчитать несложно: каждые 10 м водяного столба давят с силой одной атмосферы, т. е. 1 кг на 1 см$^2$. Следовательно, 11 000 м водяного столба окажут давление в 1100 атмосфер, или больше тонны на 1 см$^2$.

Теперь определим давление пороховых газов. Прежде всего вычислим силу, движущую пулю. Для этого найдем *среднее* ускорение движения пули в стволе (принимая это движение за равномерно ускоренное). Отыскиваем в табличке соотношение

$$v^2 = 2aS,$$

где $v$ — скорость пули у дульного обреза; $a$ — искомое ускорение; $S$ — длина пути, пройденного пулей под непосредственным давлением газов, иными словами — длина ствола. Подставив $v$ = 270 м/с = 27 000 см/с, $S$ = 22 см, имеем

$$27\,000^2 = 2a \times 22,$$

ускорение $a$ = 16 500 000 см/с$^2$ = 165 км/с$^2$.

---

[1] По современным данным, самое глубокое место Мирового океана — Марианская впадина (она же Марианский желоб): 10 994 ± 40 м (*примеч. ред.*).

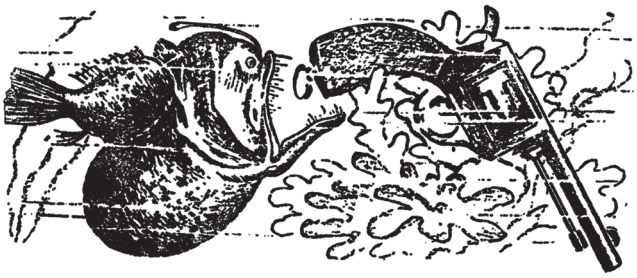


*Рис. 339. Выстрелит ли наган на дне океана?*

Огромная величина ускорения (среднего) — 165 км/с$^2$ — не должна нас удивлять: ведь пуля проходит путь по каналу нагана в ничтожный промежуток времени, который тоже поучительно вычислить. Расчет выполняем по формуле $v = at$:

$$27\,000 = 16\,500\,000\,t,$$

откуда время

$$t = \frac{27}{16\,500} = \text{около } \frac{1}{600}\text{ с.}$$

Мы видим, что за 600-ю долю секунды скорость пули должна возрасти от нуля до 270 м/с. Ясно, что за целую секунду прибавка скорости, так стремительно нарастающей, должна быть огромна.

Но вернемся к расчету давления. Узнав величину ускорения пули (масса которой 7 г), мы легко вычислим действующую на нее силу, применив формулу $F = ma$:

$$7 \times 16\,500\,000 = 115\,500\,000 \text{ дин.}$$

В килограмме круглым счетом миллион дин (дина — около миллиграмма); значит, на пулю действует сила в 115 кг. Чтобы вычислить давление в килограммах на 1 см$^2$, надо знать, по какой площади эта сила распределяется. Площадь равна поперечному сечению канала револьвера (диаметр канала 7 мм = 0,7 см):

$$¼ \times 3{,}14 \times 0{,}72 = 0{,}38 \text{ см}^2.$$

Значит, на 1 см$^2$ приходится давление в 115 : 0,38 = около 300 кг.

Итак, пуля в момент выстрела выталкивается давлением в 300 атмосфер против давления океанских вод, превышающего тысячу атмосфер. Ясно, что пуля не двинется с места. Порох вспыхнет, но не вытолкнет пули. Пуля нагана, пробивающая на воздухе (с 35 шагов) четыре-пять дюймовых досок кряду, здесь бессильна «пробить» воду.

## Сдвинуть земной шар

Даже среди людей, изучавших механику, распространено убеждение, что малой силой нельзя сдвинуть свободное тело, если оно обладает весьма большой массой. Это одно из заблуждений «здравого смысла». Механика утверждает совершенно иное: всякая сила, даже самая незначительная, должна сообщить движение каждому телу, даже чудовищно грузному, если тело это *свободно*. Мы не раз пользовались уже формулой, в которой выражена эта мысль:

$$F = ma, \text{ откуда } a = \frac{F}{m}.$$

Последнее выражение говорит нам, что ускорение может быть равно нулю только в том случае, когда сила $F$ равна нулю. Поэтому *всякая сила должна заставить двигаться любое свободное тело*.

В окружающих нас условиях мы не всегда видим подтверждение этого закона. Причина — трение, вообще сопротивление движению. Другими словами, причина та, что перед нами очень редко бывает тело *свободное*: движение почти всех наблюдаемых нами тел не свободно. Чтобы в условиях трения заставить тело двигаться, необходимо приложить силу, которая больше силы трения. Дубовый шкаф на сухом дубовом полу только в том случае придет в движение под напором наших рук, если мы разовьем силу не меньше ⅓ веса шкафа, — потому что сила трения дуба по дубу (насухо) составляет 34% веса тела. Но если бы никакого трения не было, то даже ребенок заставил бы двигаться тяжелый шкаф прикосновением пальца.

К тем немногим телам природы, которые совершенно свободны, т. е. движутся, не испытывая ни трения, ни сопротивления среды, принадлежат небесные тела — Солнце, Луна, планеты, в их числе и наша Земля. Значит ли это, что человек мог бы сдвинуть с места земной шар силой своих мускулов? Безусловно так: напирая на земной шар, вы приведете его в движение!

Но вот вопрос: какова окажется *скорость* этого движения? Мы знаем, что ускорение, приобретаемое телом под действием данной силы, тем меньше, чем больше масса тела. Если деревянному крокетному шару мы силой своих рук можем сообщить ускорение в несколько десятков метров в секунду за секунду, то земной шар, масса которого неизмеримо больше, получит от такой же силы неизмеримо меньшее ускорение. Мы говорим: «неизмеримо больше», «неизмеримо меньше», конечно, не в буквальном смысле. Измерить массу земного шара возможно[1], а следовательно, возможно определить и его ускорение при заданных условиях. Сделаем это.

---

[1] См. об этом в моей «Занимательной астрономии» статью «Как взвесили Землю».

Пусть сила, с какой человек напирает на земной шар, равна 10 кг, т. е. около 10 000 000 дин. Мы рискуем запутаться в выкладках, если не прибегнем здесь к сокращенному обозначению больших чисел: 10 000 000 = $10^7$. Масса земного шара[1] равна $6 \times 10^{27}$ г. Поэтому величина искомого ускорения

$$a = \frac{F}{m} = \frac{10^7}{6 \times 10^{27}} = \frac{1}{6 \times 10^{20}} \text{ см/с}^2.$$

Такова величина ускорения, приобретаемого в этом случае земным шаром. На сколько же сдвинется планета в столь медленно ускоряющемся движении? Это зависит от *продолжительности* движения. И без расчета ясно, что за какой-нибудь час или сутки перемещение будет слишком ничтожно. Возьмем крупный интервал — год, т. е. круглым счетом 32 миллиона секунд ($32 \times 10^6$). Путь $S$, проходимый в $t$ секунд при ускорении $a$, равен (см. справочную табличку с. 489)

$$S = \frac{at^2}{2}.$$

В данном случае

$$S = \frac{1}{6 \times 10^{20}} \times \frac{(32 \times 10^6)^2}{2} = \frac{1}{12 \times 10^6} \text{ см}.$$

Перемещение равно примерно миллионной доле сантиметра. Такого перемещения нельзя усмотреть в самый сильный микроскоп. Возьмем еще больший промежуток времени: пусть человек напирает на земной шар всю жизнь, скажем, 70 лет. Тогда величина перемещения увеличится в $70^2$, т. е. круглым счетом в 5000 раз, и станет равной

$$\frac{5 \times 10^3}{12 \times 10^5} \text{ см} = 0{,}04 \text{ мм}.$$

Это — приблизительно толщина человеческого волоса.

Результат поразительный: силой своих мышц человек может в течение жизни сдвинуть земной шар на толщину волоса! Как хотите, это все же значительное действие для такого пигмея, как человек.

Самое удивительное то, что расчет наш ничуть не фантастичен. Мы действительно сдвигаем земной шар силой наших мускулов! Так, например, подпрыгивая, мы надавливаем ногами на Землю и заставляем ее подаваться — пусть на ничтожную величину — под действием этой силы. Мы совершаем подобные подвиги на каждом шагу — буквально на каждом шагу, потому что при ходьбе неизбежно отталкиваем ногой нашу планету. Ежесекундно заставляем мы земной шар делать сверхмикроскопические перемещения, прибавляя их к тем астрономическим движениям, которыми он обладает[2].

---

[1] Точное современное значение — $5{,}9726 \times 10^{27}$ г (*примеч. ред.*).

[2] Надо, впрочем, иметь в виду, что наши усилия не целиком расходуются на сообщение Земле движения: часть силы тратится на изменение ее формы.

## Ложный путь изобретательства

В поисках новых технических возможностей изобретатель должен неизменно держать свою мысль под контролем строгих законов механики, если не хочет вступить на путь бесплодного фантазерства. Не следует думать, что единственный общий принцип, которого не должна нарушать изобретательская мысль, есть закон сохранения энергии. Существует и другое важное положение, пренебрежение которым нередко заводит изобретателей в тупик и заставляет их бесплодно растрачивать свои силы. Это — закон движения центра тяжести. Рассматривая предлагаемые изобретателями проекты новых летательных аппаратов, я не раз убеждался, что закон этот мало известен широким кругам.

Упомянутый закон утверждает, что движение центра тяжести тела (или системы тел) не может быть изменено действием одних лишь внутренних сил. Если летящая бомба разрывается, то, пока образовавшиеся осколки не достигли земли, общий центр их тяжести продолжает двигаться по тому же пути, по какому двигался центр тяжести целой бомбы[1]. В частном случае, если центр тяжести тела был первоначально в покое (т. е. если тело было неподвижно), то никакие внутренние силы не могут переместить центра тяжести.

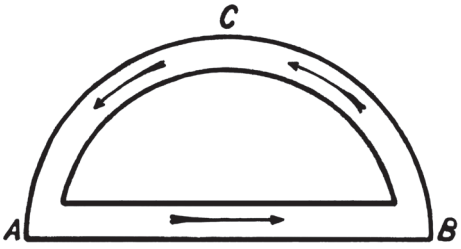



*Рис. 340. Проект летательного аппарата нового типа.*

К какого рода заблуждениям приводит изобретателей пренебрежение рассматриваемым законом, показывает следующий поучительный пример — проект летательной машины совершенно нового типа. Представим себе, — говорит изобретатель, — замкнутую трубу (рис. 340), состоящую из двух частей: горизонтальной прямой *AB* и дугообразной части *ACB* — над ней. В трубах имеется жидкость, которая непрерывно течет в одном направлении (течение поддерживается вращением винтов, размещенных в трубах). Течение жидкости в дугообразной части *ACB* трубы сопровождается центробежным давлением на наружную стенку. Получается некоторое усилие *P* (рис. 341), направленное вверх, — усилие,

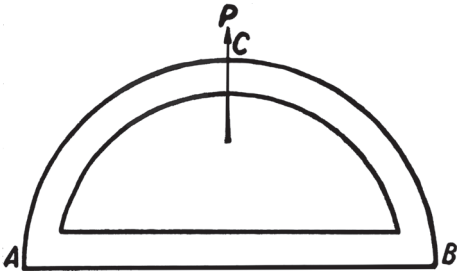



*Рис. 341. Сила P должна увлекать аппарат вверх.*

[1] Если пренебречь сопротивлением воздуха (*примеч. ред.*).

которому никакая другая сила не противодействует, так как движение жидкости по прямому пути *AB* не сопровождается центробежным давлением. Изобретатель делает отсюда тот вывод, что при достаточной скорости течения сила *P* должна увлечь весь аппарат вверх.

Верна ли мысль изобретателя? Даже не входя в подробности механизма, можно заранее утверждать, что аппарат не сдвинется с места. В самом деле, так как действующие здесь силы — внутренние, то переместить центр тяжести всей системы (т. е. трубы вместе с наполняющей ее водой и механизмом, поддерживающим течение) они не могут. Машина, следовательно, не может получить общего поступательного движения. В рассуждении изобретателя кроется какая-то ошибка, какое-то существенное упущение.

Нетрудно указать, в чем именно заключается ошибка. Автор проекта не принял во внимание, что центробежное давление должно возникать не только в кривой части *ACB* пути жидкости, но и в точках *A* и *B* поворота течения (рис. 342). Хотя кривой путь там и не длинен, зато повороты очень круты (радиус кривизны мал). А известно, что чем круче поворот (чем меньше радиус кривизны), тем центробежный эффект сильнее. Вследствие этого на поворотах должны действовать еще две силы *Q* и *R*, направленные наружу; равнодействующая этих сил направлена *вниз* и уравновешивает силу *P*. Изобретатель проглядел эти силы. Но и не зная о них, он мог бы понять непригодность своего проекта, если бы ему был известен закон движения центра тяжести.

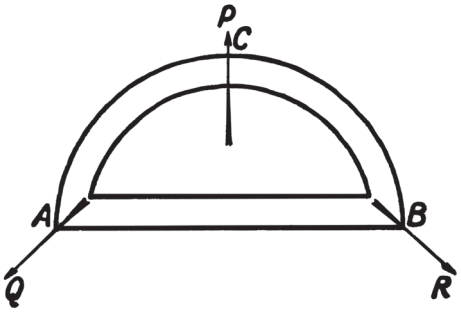



*Рис. 342. Почему аппарат не взлетает?*

Правильно писал еще в середине XVI в. великий Леонардо да Винчи, что законы механики «держат в узде инженеров и изобретателей для того, чтобы они не обещали себе или другим невозможные вещи».

### Где центр тяжести летящей ракеты?

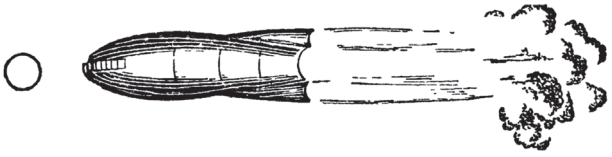
Может показаться, что молодое и многообещающее детище новейшей техники — ракетный двигатель — нарушает закон движения центра тяжести. Звездоплаватели хотят заставить ракету долететь до Луны[1] — долететь действием одних только внутренних сил. Но ведь ясно, что ракета унесет с собой на Луну свой центр тяжести. Что же станется в таком случае с нашим законом? Центр тяжести ракеты до ее пуска был на Земле, теперь он очутился на Луне. Более явного нарушения закона и быть не может!

[1] Текст написан в 1933 г. (*примеч. ред.*).

Что можно возразить против такого довода? То, что он основан на недоразумении. Если бы газы, вытекающие из ракеты, не встречали земной поверхности, было бы ясно, что ракета вовсе не уносит с собой на Луну свой центр тяжести. Летит на Луну только *часть* ракеты: остальная же часть — продукты горения — движется в противоположном направлении; поэтому центр тяжести[1] всей системы остается там, где он был до старта ракеты.

Теперь примем во внимание то обстоятельство, что вытекающие газы движутся не беспрепятственно, а ударяются о Землю. Тем самым в систему ракеты включается весь земной шар, и речь должна идти о сохранении центра тяжести огромной системы Земля — ракета. Вследствие удара газовой струи о Землю (или об ее атмосферу) наша планета несколько смещается, центр тяжести ее отодвигается в сторону, противоположную движению ракеты. Масса земного шара настолько велика по сравнению с массой ракеты, что самого ничтожного, практически неуловимого его перемещения оказывается достаточно для уравновешения того смещения центра тяжести системы Земля — ракета, которое обусловлено перелетом ракеты на расстояние Луны. Передвижение земного шара меньше расстояния до Луны во столько же раз, во сколько раз масса Земли больше массы ракеты (т. е. в сотни квинтиллионов раз!).

Мы видим, что даже и в такой исключительной обстановке закон движения центра тяжести остается в полной силе.



[1] Строго говоря, не центр тяжести, а *центр масс* системы; впрочем, в данном случае они совпадают (*примеч. ред.*).

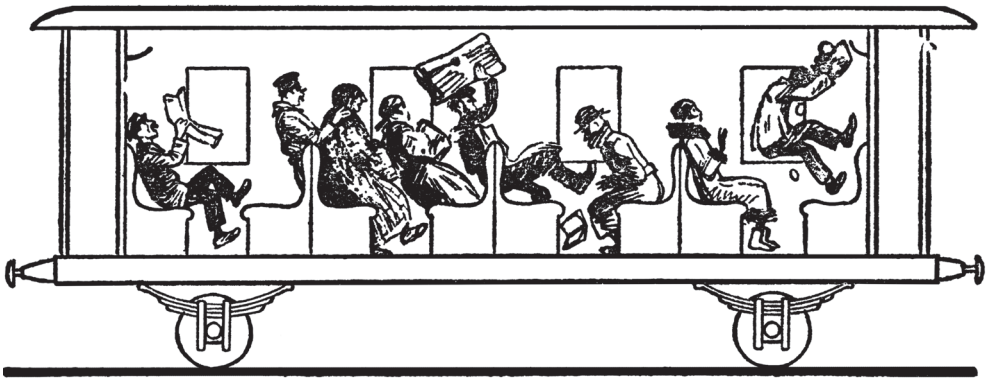


*Рис. 343. Что происходит в вагоне, резко тронувшемся с места. Пассажирам кажется, что вагон наклонился.*

## *ГЛАВА ТРЕТЬЯ*

# ТЯЖЕСТЬ

### Свидетельства отвеса и маятника

Отвес и маятник — без сомнения простейшие (по крайней мере в идее) из всех приборов, какими пользуется наука. Тем удивительнее, что столь примитивными орудиями добыты поистине сказочные достижения: человеку удалось благодаря им проникнуть мысленно в недра Земли, узнать, что делается в десятках километров под нашими ногами. Мы вполне оценим этот подвиг науки, если вспомним, что глубочайшая буровая скважина мира не длиннее 3¼ км[1], т. е. далеко не достигает тех глубин, о которых дают нам показания находящиеся на поверхности земли отвес и маятник.

Механический принцип, лежащий в основе такого применения отвеса, нетрудно понять. Если бы земной шар был совершенно однороден, направление отвеса в любом пункте можно было бы определить расчетом. Неравномерное распределение масс близ поверхности или в глубине Земли изменяет это теоретическое направление. Близость горы, например, заставляет отвес несколько отклоняться в ее сторону, — тем значительнее, чем ближе находится гора и чем больше ее масса. Возле обсерватории в Симеизе отвес испытывает заметное отклоняющее действие соседней стены Крымских гор; угол отклонения достигает полминуты. Еще сильнее отклоняют к себе отвес Кавказские горы: во Владикавказе на 37 секунд дуги, в Батуме — на 39 секунд. Наоборот, пустота в толще Земли оказывает на отвес как бы отталкивающее действие:

[1] См. примечание на с. 296 (*примеч. ред.*).

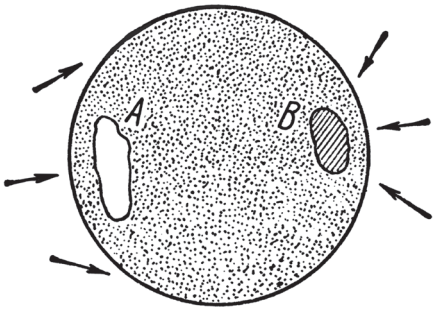



*Рис. 344. Пустоты (А) и уплотнения (В) в толще земного шара отклоняют отвес (по А. В. Клоссовскому[1]).*

он оттягивается в противоположную сторону окружающими массами. (При этом величина кажущегося отталкивания равна тому притяжению, которое должна была бы производить на отвес масса вещества, если бы полость была заполнена им.) Отвес отталкивается не только полостями, но — соответственно слабее — также и скоплениями веществ, менее плотных, чем основная толща. Вот почему в Москве, вдали от всяких гор, отвес все же отклоняется к северу на 10 секунд дуги. Как видим, отвес может служить чувствительным инструментом, помогающим судить о строении земных недр.

Еще чувствительнее в этом отношении маятник. Этот прибор обладает следующим свойством: если размах его качаний не превосходит нескольких градусов, то *продолжительность* одного качания не зависит от величины размаха; и большие и малые качания длятся одинаково. Продолжительность качания зависит совсем от других обстоятельств: от *длины* маятника и от *ускорения силы тяжести* в этом месте земного шара. Формула, связывающая

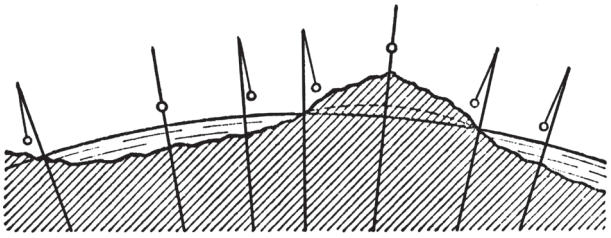
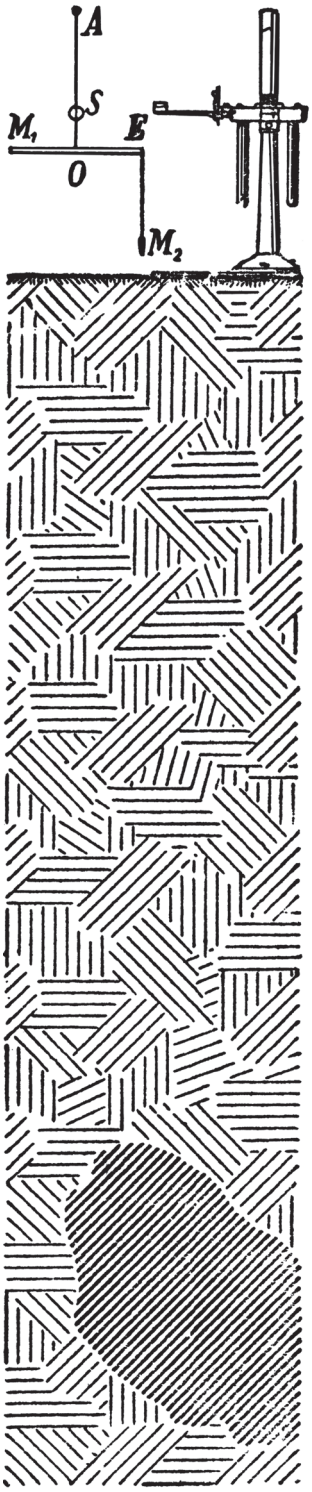


*Рис. 345. Профиль земной поверхности и направления отвесов (схема — по А. В. Клоссовскому).*

[1] *Клоссовский Александр Викентьевич* (1846–1917) — русский метеоролог, один из организаторов сети метеорологических станций на юго-западе России, создатель одной из первых школ метеорологов (*примеч. ред.*).




продолжительность $T$ одного полного (туда и назад) качания с длиною $l$ маятника и с ускорением $g$ силы тяжести, такова:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

При этом, если длина $l$ маятника берется в метрах, то и ускорение $g$ силы тяжести следует брать в метрах в секунду за секунду.

Если для исследования строения толщи Земли пользоваться «секундным» маятником, т. е. делающим одно (в одну сторону) колебание в секунду, то должно быть:

$$\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 1 \quad \text{и} \quad l = \frac{g}{\pi^2}.$$

Ясно, что всякое изменение силы тяжести должно отразиться на длине такого маятника: его придется либо удлинить, либо укоротить, чтобы он в точности отбивал секунды. Таким путем удается улавливать изменения силы тяжести в 0,0001 ее величины.

Не буду описывать техники выполнения подобных исследований с отвесом и маятником (она гораздо сложнее, чем можно думать). Укажу лишь на некоторые наиболее интересные результаты.

Казалось бы, близ берегов океана отвес должен отклоняться всегда в сторону материка, как отклоняется он по направлению к горным массивам. Опыт не оправдывает этого ожидания. Маятник же свидетельствует, что на океане и на его островах напряжение силы тяжести сильнее, чем близ берегов, а возле берегов — больше, чем вдали от них, на материке. О чем это говорит? О том, очевидно, что толща Земли под материками составлена из более легких веществ, чем под дном океанов. Из таких физических фактов геологи черпают ценные указания для суждения о породах, слагающих кору нашей планеты.

*Рис. 346. Вверху направо — вариометр. Вверху налево — схема устройства прибора.*

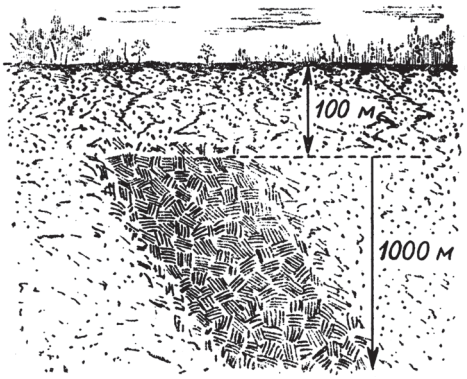



*Рис. 347. Причина курской аномалии:*
*шток железной руды мощностью около тысячи метров на глубине ста метров.*

Незаменимые услуги оказал подобный способ исследования при выявлении причин так называемой Курской магнитной аномалии. Приведу несколько строк отчета одного из ее исследователей[1].

«...Можно с полной определенностью утверждать о наличии под земною поверхностью значительных притягивающих масс, причем граница этих масс с западной стороны ... устанавливается с совершенной отчетливостью. Вместе с тем представляется вероятным, что эти массы простираются преимущественно в восточном направлении, имея восточный скат более пологим, чем западный».

Известно, какое важное промышленное значение придается тем огромным источникам железа, которые обнаружены в районе Курской аномалии. Запасы железной руды исчисляются здесь десятками миллиардов тонн, составляя половину мирового запаса. Приведу также некоторые результаты исследования

[1] Исследования в районе Курской аномалии производились не с отвесом, а с особыми крутильными весами (так называемым «вариометром»). Нить прибора закручивается под действием притяжения подземных масс. Точность показаний этого удивительного прибора равна одной триллионной ($10^{-12}$) доле грамма! Притяжение больших гор вариометр «чувствует» на расстоянии 300 км. Вот краткое описание прибора (из статьи проф. П. М. Никифорова о Курской аномалии):

«Главную часть прибора составляют крутильные весы, изображенные схематически на рис. 346. Коромысло $M_1E$ из тонкой алюминиевой трубки имеет длину около 40 см: к одному концу коромысла прикреплен золотой груз $M_1$ цилиндрической формы (30 г), к другому подвешивается на проволоке $EM_2$ золотой подвесок $M_2$ (30 г). Коромысло подвешено на весьма тонкой платиново-иридиевой нити $AO$ длиною 60–70 см. Для защиты от конвекционных токов воздуха крутильные весы окружаются оболочкой с тройными металлическими стенками. В приборе имеются две пары крутильных весов, повернутых на 180° относительно друг друга. $S$ — плоское зеркало».

аномалий (отклонений от нормы) силы тяжести на восточных склонах Урала (выполнено в 1930 г. ленинградскими астрономами):

«Около Златоуста мы имеем наибольший максимум в силе тяжести, соответствующий подъему кристаллического массива Уральского хребта.

Второй максимум к востоку от Козырево характеризует приближение к поверхности земли погруженного хребта.

Третий максимум к востоку от Мишкино вновь дает указание о приближении древних пород к земной поверхности.

И наконец, четвертый максимум к западу от Петропавловска вновь указывает на приближение тяжелых пород» (Б. В. Нумеров[1]).

Перед нами два из многочисленных примеров того, как физика создает основу для научных построений и практических применений в других, казалось бы, далеких от нее областях.

### Маятник в воде

Задача

Вообразите, что маятник стенных часов качается в воде. Чечевица его имеет «обтекаемую» форму, которая сводит почти к нулю сопротивление воды ее движению. Какова окажется продолжительность качания такого маятника: больше, чем вне воды, или меньше? Проще говоря: будет ли маятник качаться в воде быстрее, чем в воздухе, или медленнее?

Решение

Так как маятник качается в несопротивляющейся среде, то, казалось бы, нет причины, которая могла бы изменить скорость его качания. Между тем опыт показывает, что маятник в таких условиях качается *медленнее*.

Это загадочное на первый взгляд явление объясняется выталкивающим действием воды на погруженные в нее тела. Оно как бы уменьшает вес маятника, не изменяя его массы. Значит, маятник в воде находится совершенно в таких же условиях, как если бы он был перенесен на другую планету, где ускорение силы тяжести слабее. Из формулы, приведенной в предыдущей статье, $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, следует, что с уменьшением ускорения силы тяжести $g$ время колебания $T$ должно возрасти: маятник будет колебаться медленнее.

[1] *Нумеров Борис Васильевич* (1891–1941) — советский астроном, автор научных работ по астрометрии, небесной механике, геофизике, а также метода численного решения дифференциальных уравнений; руководил гравиметрическими наблюдениями во многих районах СССР (*примеч. ред.*).

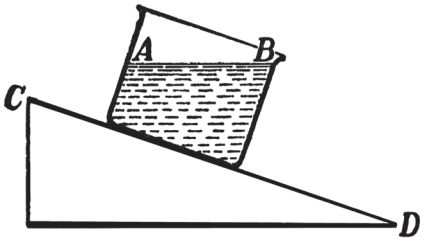



*Рис. 348. Сосуд с водой скользит под уклон. Как расположится уровень воды?*

### На наклонной плоскости

Задача

Сосуд с водой стоит на наклонной плоскости (рис. 348). Пока он неподвижен, уровень *AB* воды в нем, конечно, горизонтален. Но вот сосуд начинает скользить по хорошо смазанной плоскости *CD*. Останется ли уровень воды в сосуде горизонтальным, пока сосуд скользит по плоскости?

Решение

Опыт показывает, что в сосуде, движущемся *без трения* по наклонной плоскости, уровень воды устанавливается параллельно этой плоскости. Объясним почему.

Вес *P* каждой частицы (рис. 349) можно представить себе разложенным на две составляющие силы: *Q* и *R*. Сила *R* увлекает частицы воды и сосуда в движение вдоль наклонной плоскости *CD*; при этом частицы воды будут оказывать на стенки сосуда такое же давление, как и в случае покоя (вследствие одинаковости скоростей движения). Сила же *Q* придавливает частицы воды ко дну сосуда. Действие всех отдельных сил *Q* на воду будет такое же, как и действие силы тяжести на частицы всякой покоящейся жидкости:

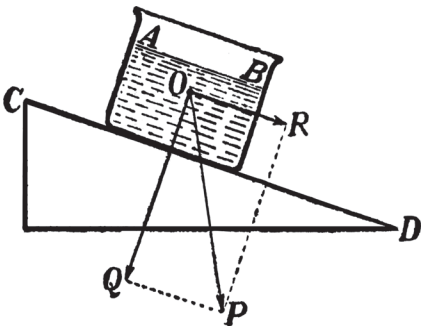



*Рис. 349. Решение задачи рис. 348.*

уровень воды установится перпендикулярно к направлению силы $Q$, т. е. параллельно длине наклонной плоскости.

А как установится уровень воды в баке, который (например, вследствие трения) скользит вниз по уклону *равномерным* движением?

Легко видеть, что в таком баке уровень должен стоять не наклонно, а *горизонтально*. Это следует уже из того, что равномерное движение не может внести в ход механических явлений никаких изменений по сравнению с состоянием покоя (классический принцип относительности).

Но следует ли это также из приведенного ранее объяснения? Конечно. Ведь в случае *равномерного* движения сосуда по наклонной плоскости частицы стенок сосуда не получают никакого ускорения; частицы же жидкости в сосуде, находясь под действием силы $R$, будут силой $R$ придавливаться к передней стенке сосуда. Следовательно, каждая частица воды будет находиться под действием двух придавливающих сил $R$ и $Q$, равнодействующая которых и есть вес $P$ частицы, направленный вертикально. Вот почему уровень воды должен в этом случае установиться горизонтально. Только в самом начале движения, когда сосуд, до получения постоянной скорости, еще движется *ускоренно*[1], уровень воды принимает на мгновение наклонное положение.

### Когда горизонтальная линия не горизонтальна?

Если бы в сосуде или в баке, скользящем вниз *без трения*, находился вместо воды человек с плотничьим уровнем, он наблюдал бы странные явления. Тело его прижималось бы к наклонному дну сосуда совершенно так же, как в случае покоя прижимается к горизонтальному дну (только с меньшей силой). Значит, для такого человека наклонная плоскость дна сосуда становится словно горизонтальной. Соответственно этому, те направления, которые он до начала движения считал горизонтальными, принимают для него наклонное положение. Перед ним была бы необычайная картина: дома, деревья стояли бы косо, поверхность пруда расстилалась бы наклонно, весь ландшафт повернулся бы «набекрень». Если бы удивленный «пассажир» не поверил своим глазам и приложил ко дну бака уровень, инструмент показал бы ему, что оно горизонтально. Словом, для такого человека горизонтальное направление не было бы горизонтально в обычном смысле слова.

Надо заметить, что вообще всякий раз, когда мы не сознаем уклонения нашего собственного тела от отвесного положения, мы приписываем наклон окружающим предметам. Пьяный, шатаясь, воображает, что все кругом него покачивается. Помните у Некрасова:

---

[1] Надо помнить, что тело не может прийти в равномерное движение мгновенно: переходя от покоя к равномерному движению, тело не может миновать состояния *ускоренного* движения, — состояния хотя бы весьма кратковременного.

Крестьянам показалося,
Как вышли на пригорочек,
Что все село шатается,
Что даже церковь старую
С высокой колокольнею
Шатнуло раз-другой...

Горизонтальный пол может утратить для вас свое горизонтальное положение даже и в том случае, когда вы движетесь не по наклону, а по строго горизонтальному пути. Это бывает, например, при подходе поезда к станции или при отходе от нее, — вообще в таких частях пути, где вагон идет *замедленно* или *ускоренно*. Вот как описывает ощущения, испытываемые при этом пассажиром, французский физик Ш. Гильом:

«Когда поезд начинает замедлять свой ход, мы можем сделать удивительное наблюдение: нам покажется, что пол понижается в направлении движения поезда; мы будем думать, что идем вниз, когда шагаем вдоль вагона в направлении движения, и всходим вверх, когда идем в обратном направлении. А при отправлении поезда со станции пол как бы наклоняется в сторону, противоположную движению.

Мы можем устроить опыт, — пишет он далее, — выясняющий причину кажущегося отклонения плоскости пола от горизонтального положения. Для этого достаточно иметь в вагоне чашку с вязкой жидкостью, например глицерином: во время ускорений движения поверхность жидкости принимает наклонное положение. Вам не раз случалось, без сомнения, наблюдать нечто подобное на водосточных желобах вагонов: когда поезд в дождь подходит к станции, вода из желобов на вагонных крышах стекает вперед, а при отходе поезда — назад. Происходит это оттого, что поверхность воды поднимается у края, противоположного направлению, в каком совершается ускорение хода».

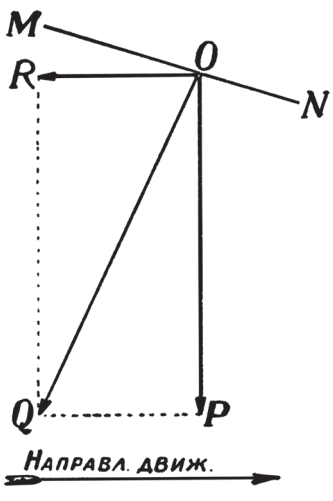



*Рис. 350. Какие силы действуют на предметы в вагоне трогающегося поезда?*

Разберемся в причине этих любопытных явлений; причем будем рассматривать их не с точки зрения покоящегося наблюдателя, находящегося вне вагона, а с точки зрения такого наблюдателя, который, помещаясь внутри вагона, сам участвует в ускоренном движении и, следовательно, относит все наблюдаемые явления к себе, словно считая себя неподвижным. Когда вагон движется ускоренно, а мы считаем себя покоящимися, то напор задней стенки вагона на наше тело (или увлекающее действие сидения) воспринимается нами так, словно мы сами напираем на стенку (или увлекаем сиденье) с равной силой. Мы подвержены тогда действию двух сил: силы *R*, *направленной обратно*

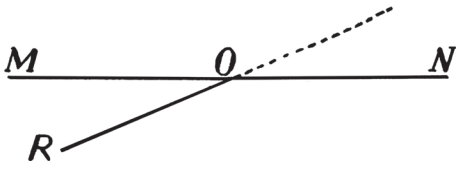



*Рис. 351. Почему пол трогающегося вагона кажется наклонным?*

*движению вагона*, и силы веса *P*, *прижимающей нас к полу*. Равнодействующая *Q* изобразит то направление, которое мы в таком состоянии будем считать отвесным. Направление *MN*, перпендикулярное к новому отвесу, станет для нас горизонтальным. Следовательно, прежнее горизонтальное направление *OR* будет казаться поднимающимся в сторону движения поезда и имеющим уклон в обратном направлении (рис. 351).

Что произойдет при таких условиях с жидкостью в тарелке? Для этого представим себе, что новое «горизонтальное» направление не совпадает с уровнем жидкости, а следует (рис. 352) по линии *MN*. Это наглядно видно на рисунке, где стрелка указывает направление движения вагона. Теперь ясно, почему вода должна вылиться через задний край тарелки (или дождевого желоба).

Картину всех явлений, происходящих в вагоне в момент отправления, легко представить себе, если вообразить, что вагон наклонился соответственно новому положению «горизонтальной» линии (см. заставку этой главы). Вы поймете, почему стоящие в вагоне люди должны при этом упасть назад. Этот всем известный факт обычно объясняют тем, что ноги увлекаются полом вагона в движение, в то время как туловище и голова еще находятся в покое.

Сходного объяснения придерживался и Галилей, как видно из следующего отрывка:

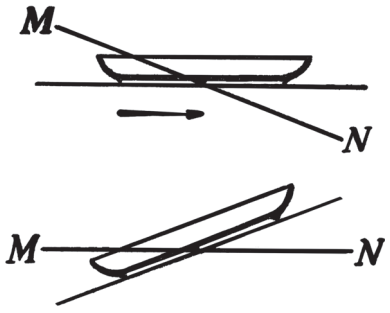



*Рис. 352. Почему в трогающемся вагоне жидкость переливается через задний край блюдца?*

«Пусть сосуд с водою имеет поступательное, но неравномерное движение, меняющее скорость и то ускоренное, то замедленное. Вот какие будут последствия неравномерности. Вода не вынуждена разделять движения сосуда. При уменьшении скорости сосуда она сохраняет приобретенное стремление и притечет к переднему концу, где и образуется поднятие. Если, напротив того, скорость сосуда увеличивается, вода сохранит более медленное движение, отстанет и при заднем конце заметно поднимется».

Такое объяснение в общем не хуже согласуется с фактами, чем приведенное ранее. Для науки представляет ценность то объяснение, которое не только согласуется с фактами, но и дает возможность учитывать их *количественно*. В данном случае мы должны предпочесть поэтому объяснение, которое было изложено раньше, — именно, что пол под ногами перестает быть горизонтальным. Оно дает возможность учесть явление количественно, чего нельзя сделать, придерживаясь обычной точки зрения. Если, например, ускорение поезда при отходе со станции равно 1 метру в секунду за секунду, то угол $QOP$ (рис. 350) между новым и старым отвесным направлением легко вычислить из треугольника $QOP$, где $QP : OP = 1 : 9{,}8 =$ около 0,1:

$$\operatorname{tg} QOP = 0{,}1; \quad \angle QOP \approx 6^\circ.$$

Значит, отвес, подвешенный в вагоне, должен в момент отхода отклониться на 6°. Пол под ногами словно наклонится на 6°, и, идя вдоль вагона, мы будем испытывать такое же ощущение, как и при ходьбе по дороге с уклоном в 6°. Обычный способ рассмотрения этих явлений не помог бы нам установить такие подробности.

Читатель заметил, без сомнения, что расхождение двух объяснений обусловлено лишь различием точек зрения: обыденное объяснение относит явления к неподвижному наблюдателю вне вагона, второе же объяснение относит те же явления к наблюдателю, самому участвующему в ускоренном движении.

### Магнитная гора

В Калифорнии, близ города[1] Голливуда, знаменитого центра кинематографической промышленности, есть гора, о которой местные автомобилисты (т. е. добрых три четверти населения) утверждают, что она обладает магнитными свойствами. Дело в том, что на небольшом участке дороги, длиною 60 м, наблюдаются у подножия этой горы необыкновенные явления. Участок этот идет наклонно. Если у автомобиля, едущего вниз по наклону, выключить мотор, то машина катится назад, т. е. *вверх по уклону*, подчиняясь магнитному притяжению горы.

Это поразительное свойство горы считалось установленным настолько достоверно, что в соответствующем месте дороги красуется даже доска с описанием феномена.

[1] Ныне район Лос-Анджелеса (*примеч. ред.*).

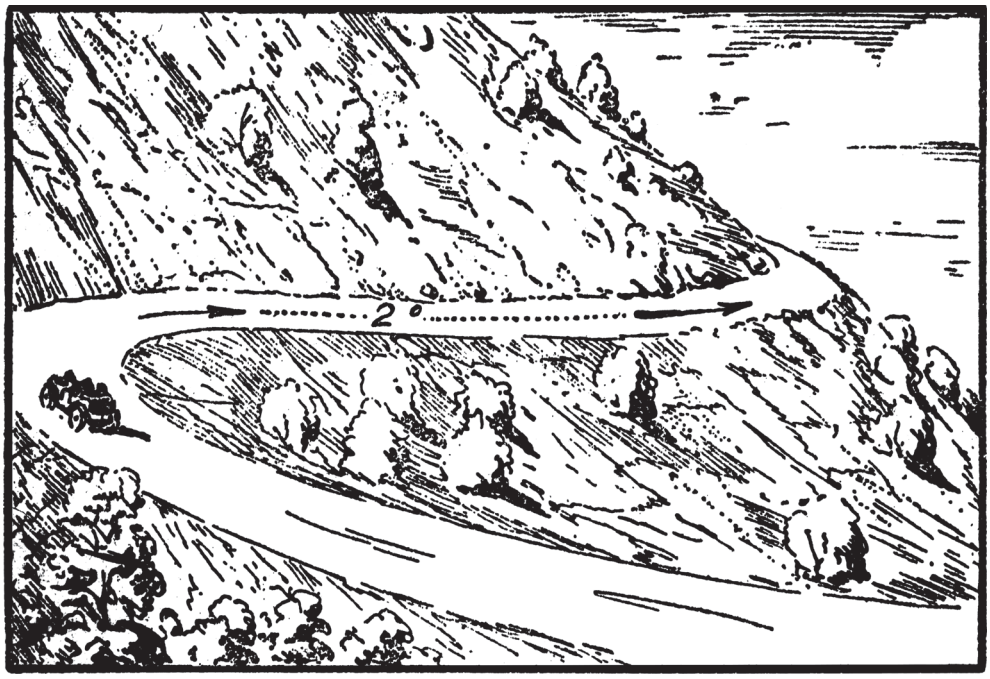



*Рис. 353. Мнимая магнитная гора в Калифорнии.*

Нашлись, однако, люди, которым показалось сомнительным, чтобы гора могла притягивать автомобили. Для проверки произвели нивелировку участка дороги под горой. Результат получился неожиданный: то, что все принимали за подъем, оказалось *спуском* с уклоном в 2°. Такой уклон может заставить автомобиль катиться без мотора на очень хорошем шоссе.

В горных местностях подобные обманы зрения довольно обычны и порождают немало легендарных рассказов.

### Реки, текущие в гору

Сходной иллюзией зрения объясняются и рассказы путешественников о реках, вода которых течет вверх по уклону. Привожу выписку об этом из книги немецкого физиолога проф. Бернштейна «Внешние чувства»:

«Во многих случаях мы склонны ошибаться при суждении о том, горизонтально ли данное направление, наклонено ли оно вверх или вниз. Идя, например, по слабо наклоненной дороге и видя в некотором расстоянии другую дорогу, встречающуюся с первой, мы представляем себе подъем второй дороги более крутым, чем на самом деле. С удивлением убеждаемся мы затем, что вторая дорога вовсе не так крута, как мы ожидали».

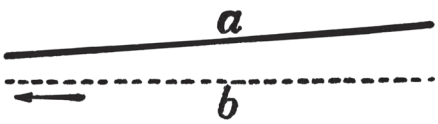



*Рис. 354. Слабо наклонная дорога a вдоль ручья b.*

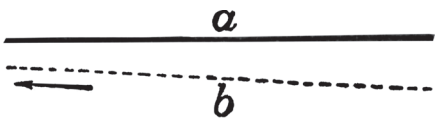



*Рис. 355. Пешеходу на a кажется, что ручей b течет вверх.*

Объясняется эта иллюзия тем, что дорогу, по которой мы идем, мы принимаем за основную плоскость, к которой относим наклон других направлений. Мы бессознательно отождествляем ее с горизонтальной плоскостью — и тогда естественно представляем себе преувеличенным наклон другого пути.

Этому способствует то, что мышечное наше чувство совсем не улавливает при ходьбе наклонов в 2–3 градуса. На улицах Москвы, Киева и других холмистых городов часто приходится наблюдать иллюзию, о которой говорит немецкий ученый. Еще любопытнее тот обман зрения, которому случается поддаваться в неровных местностях: ручей кажется нам текущим в гору!

«При спуске по слабо наклонной дороге, идущей вдоль ручья (рис. 354), который имеет еще меньшее падение, т. е. течет почти горизонтально, — нам часто кажется, что ручей течет вверх по уклону (рис. 355). В этом случае мы тоже считаем направление дороги горизонтальным, так как привыкли принимать ту плоскость, на которой мы стоим, за основу для суждения о наклоне других плоскостей» (Бернштейн).

### Задача о железном пруте

Железный прут просверлен строго посередине. Через отверстие проходит тонкая прочная спица, вокруг которой, как вокруг горизонтальной оси, прут может вращаться (рис. 356). В каком положении остановится прут, если его закружить?

Часто отвечают, что прут остановится в горизонтальном положении, «единственном, при котором он сохраняет равновесие». С трудом верят, что прут, подпертый в центре тяжести, должен сохранять равновесие в *любом* положении.

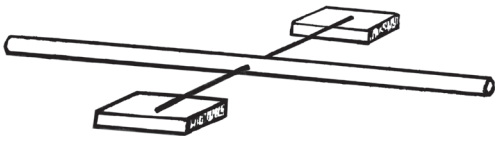


*Рис. 356. Прут уравновешен на оси. Если его закружить, в каком положении он остановится?*

*Рис. 357. Палка, подвешенная за середину: положение равновесия.*

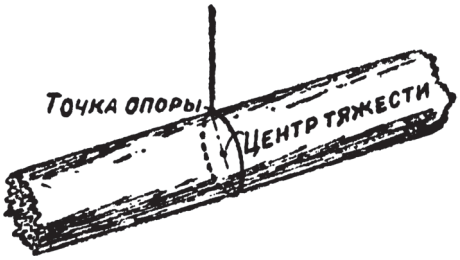
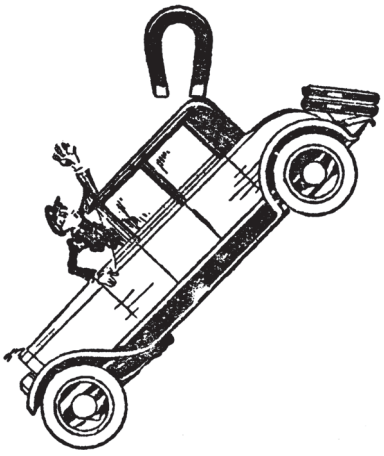



*Рис. 358. Та же палка, выведенная из равновесия.*

Почему же правильное решение столь простой задачи представляется многим невероятным? Потому, что обычно имеют перед глазами опыт с палкой, подвешенной за середину: такая палка устанавливается горизонтально. Отсюда делается поспешный вывод, что подпертый на оси прут тоже должен сохранять равновесие только в горизонтальном положении.

Однако подвешенная палка и подпертый прут находятся не в одинаковых условиях. Просверленный прут, опирающийся на ось, подперт строго в центре тяжести, а потому находится в так называемом безразличном равновесии. Палка же, подвешенная на нити, имеет точку привеса не в центре тяжести, а *выше* его (рис. 357). Тело, так подвешенное, будет находиться в покое только тогда, когда его центр тяжести лежит на одной отвесной линии с точкой привеса, т. е. при горизонтальном положении палки; при наклонении центр тяжести отходит от отвесной линии (рис. 358). Эта привычная картина и мешает многим согласиться с тем, что прут на горизонтальной оси может удержаться в равновесии в наклонном положении.



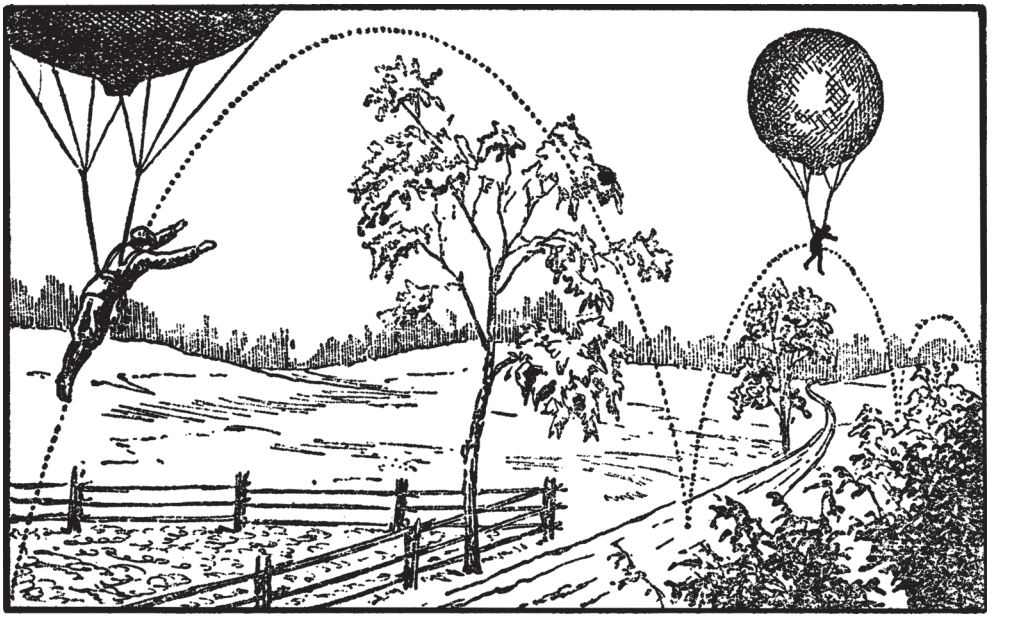


*Рис. 359. Прыжки с воздушным шаром.*

## *ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ*

## ПАДЕНИЕ И БРОСАНИЕ

### Семимильные сапоги

Сказочные сапоги эти реально осуществляются теперь в своеобразной форме: в виде дорожного чемодана средних размеров, содержащего в себе оболочку маленького аэростата и прибор для добывания водорода. В любой момент спортсмен извлекает из чемодана оболочку, надувает ее водородом и делается обладателем воздушного шара 5 м в диаметре. Подвязав себя к этому шару, человек может совершать огромные прыжки в высоту и в длину. Опасность быть совсем увлеченным ввысь не угрожает такому аэронавту, потому что подъемная сила шара все же немного меньше веса человека.

При старте первого советского стратостата «СССР»[1], поставившего мировой рекорд высоты, такие шары («прыгуны») оказали существенную услугу команде: они помогли освободить запутавшиеся веревки стратостата.

---

[1] Я. П. имеет в виду стратосферный аэростат «СССР-1», совершивший 30 сентября 1933 г. рекордный подъем на высоту 19 км (*примеч. ред.*).

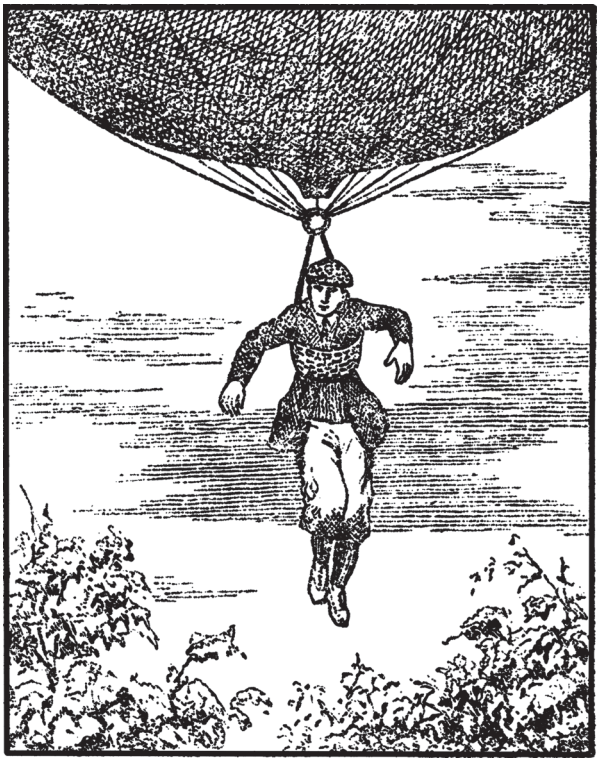


*Рис. 360. Спортсмен, подвязанный к шару.*

Интересно рассчитать, какой высоты прыжки может совершать спортсмен, снабженный подобным шаром-прыгуном.

Пусть вес человека только на 1 кг превышает подъемную силу шара. Другими словами, человек, снабженный шаром, словно весит 1 кг, — в 60 раз меньше нормального. Сможет ли он делать и прыжки в 60 раз бóльшие?

Посмотрим.

Человек, привязанный к аэростату, увлекается вниз вместе с шаром силой в 1000 г или около 1 000 000 дин. Вес самого шара-прыгуна, как легко рассчитать, равен около 20 кг. Значит, сила в 1 000 000 дин действует на массу в 20 + 60 = 80 кг. Ускорение $a$, приобретаемое массой в 80 кг от силы в 1 000 000 дин, равно:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{1\,000\,000}{80\,000} = \text{около } 12 \text{ см/с}^2.$$

Человек при нормальных условиях может подпрыгнуть с места на высоту не выше 1 м. Соответствующую начальную скорость $v$ получаем из формулы $v^2 = 2gh$:

$$v^2 = 2 \times 980 \times 100 \text{ см}^2/\text{с}^2,$$

*Рис. 361. Шар-прыгун в сложенном виде умещается в чемодане.*

откуда

$$v = \text{около } 440 \text{ см/с}.$$

Подвязанный к шару человек при прыжке сообщает свому телу во столько раз меньшую скорость, во сколько раз масса человека вместе с шаром больше массы человека самого по себе. (Это следует из формулы $Ft = mv$; сила $F$ и продолжительность $t$ ее действия в обоих случаях одинаковы; значит, одинаковы и количества движения $mv$; отсюда ясно, что скорость изменяется обратно пропорционально массе.) Итак, начальная скорость при прыжке с шаром равна:

$$440 \times \frac{60}{80} = 330 \text{ см/с}.$$

Теперь легко уже вычислить высоту $h$ прыжка по формуле $v^2 = 2ah$:

$$330^2 = 2 \times 12 \times h,$$

откуда

$$h \approx 4500 \text{ см} = 45 \text{ м}.$$

Итак, сделав наибольшее усилие, которое при обычных условиях подняло бы тело спортсмена на 1 м, человек с шаром подпрыгнет на высоту 45 м.

Интересно вычислить продолжительность подобных прыжков. Прыжок вверх на 45 м при ускорении в 12 см/с$^2$ должен длиться (формула $h=\frac{at^2}{2}$)

$$t=\sqrt{\frac{2h}{a}}=\sqrt{\frac{9000}{12}}\approx 27 \text{ с.}$$

Чтобы прыгнуть вверх и вернуться, надо затратить 54 с.

Такие медлительные, плавные прыжки обусловлены, конечно, незначительностью ускорения. Подобные ощущения при подпрыгивании мы могли бы без аэростата пережить только на каком-нибудь крошечном астероиде, где ускорение тяжести значительно (в 60 раз) слабее, чем на нашей планете.

Любопытно выполнить еще один расчет — определить *длину* наибольшего прыжка. Чтобы сделать прыжок в длину, спортсмен должен дать себе толчок под некоторым углом к горизонту. Пусть он сообщает при этом своему телу скорость $v$ (черт. 362). Разложим ее на две составляющие: вертикальную $v_1$ и горизонтальную $v_2$. Они соответственно равны:

$$v_1 = v \sin \alpha;$$
$$v_2 = v \cos \alpha.$$

Скорость $v_1$ истощится через $t$ секунд, причем

$$v_1 = at,$$

откуда

$$t=\frac{v_1}{a}.$$

Значит, продолжительность подъема тела вместе со спуском равна:

$$2t=\frac{2v\sin\alpha}{a}.$$

Скорость $v_2$ будет относить тело равномерно в горизонтальном направлении в течение всего промежутка времени, пока оно будет двигаться вверх и вниз. За этот промежуток времени тело перенесется на расстояние

$$S=2v_2t=2v\cos\alpha\times\frac{v\sin\alpha}{a}=\frac{2v^2}{a}\sin\alpha\cos\alpha=\frac{v^2\sin 2\alpha}{a}.$$

Это и есть длина прыжка.

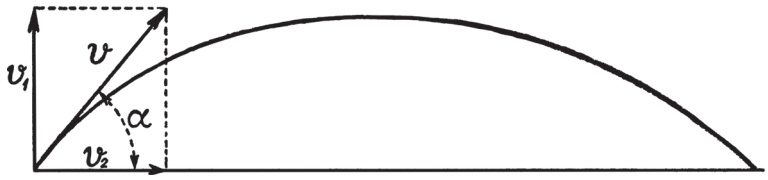



*Рис. 362. Как летит тело, брошенное под углом к горизонту.*

Наибольшей величины достигнет она при $\sin 2\alpha = 1$, так как синус не может быть больше единицы. Отсюда $2\alpha = 90°$ и $\alpha = 45°$. Значит, при отсутствии сопротивления атмосферы спортсмен сделает самый длинный прыжок тогда, когда оттолкнется от Земли под углом к ней, равным половине прямого. Величину этого наибольшего прыжка узнаем, если в формулу

$$S = \frac{v^2 \sin 2\alpha}{a}$$

подставим $v = 330$ см/с, $\sin 2\alpha = 1$; $a = 12$ см/с$^2$.

Получим

$$S = \frac{330^2}{12} \approx 90 \text{ м}.$$

Прыжки вертикальные — около 45 м и под углом в 45° на расстояние 90 м — дают возможность прыгать через многоэтажные дома[1].

Вы можете проделать в миниатюре подобные опыты, если к детскому воздушному шарику подвяжете бумажного спортсмена, вес которого немного превышает подъемную силу шара. При легком толчке фигурка будет высоко подпрыгивать и затем опускаться вниз. Однако в этом случае сопротивление воздуха, несмотря на малую скорость, будет играть более заметную роль, чем при прыжках настоящего спортсмена.

### Человек-бомба

«Человек-бомба» — поучительный номер цирковой программы, показывавшийся в последнее время во многих городах Европы; в 1934 г. он демонстрировался в московском цирке, затем в ленинградском. Состоит он в том, что артист помещается в канале пушки, выбрасывается оттуда выстрелом, описывает высокую дугу в воздухе и падает на сетку в 30 м от орудия (рис. 363). Аналогичный номер мы все видели в известном кинофильме «Цирк», в котором артистка совершает полет из пушки под купол цирка.

Слова: пушка и выстрел — нам следовало бы поставить в кавычках, потому что это не настоящая пушка и не настоящий выстрел. Хотя из жерла орудия и вырывается клуб дыма, но артист выбрасывается не силой порохового взрыва. Дым устраивается лишь для эффекта, чтобы поразить зрителей. На деле же движущей силой является пружина, одновременно со спуском которой появляется бутафорский дым: создается иллюзия, что человек-бомба выстреливается пороховым зарядом.

---

[1] Полезно запомнить, что вообще наибольшая дальность падения тела, брошенного под углом (в 45°) к отвесной линии, равна двойной высоте отвесного подъема при той же начальной скорости.

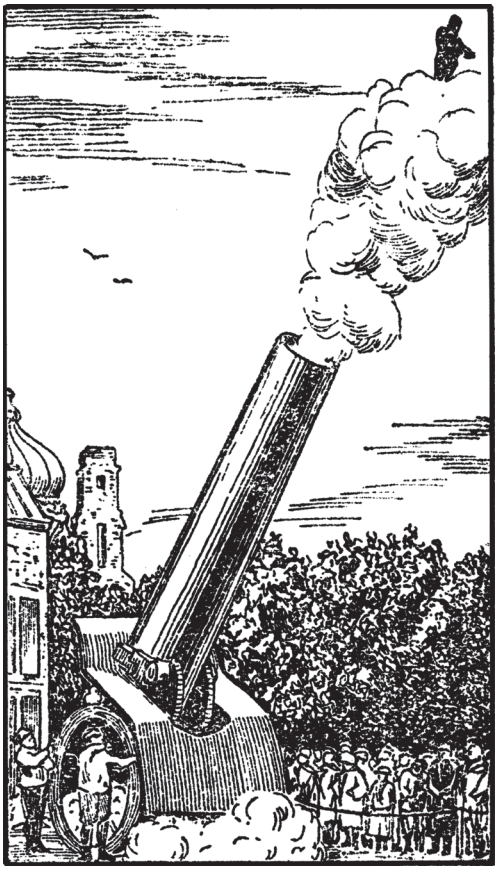


*Рис. 363. Человек-бомба.*

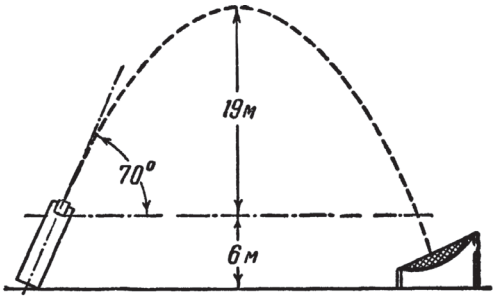



*Рис. 364. Полет человека-бомбы.*

На рис. 364 изображена схема описываемого циркового номера. Вот числовые данные о номере, выполняемом искуснейшим из «людей-бомб», артистом Лейнертом, который подвизался в цирках СССР:

Наклон пушки ..... 70°
Наибольшая высота полета .. 19 м
Длина ствола пушки ..... 6 »

Для механики представляют большой интерес те совершенно исключительные условия, в которых оказывается организм артиста при выполнении этого номера. В момент выстрела тело его подвергается давлению, ощущаемому как усиленная тяжесть. Затем, во время свободного полета, артист, подобно всякому свободно брошенному телу, ничего ни весит[1]. Наконец, в момент падения на сетку артист снова подвергается действию усиленной тяжести. Названный выше артист переносил все это без вреда для здоровья. Интересно в точности установить эти условия, так как будущие моряки Вселенной, которые отважатся отправиться на ракетном корабле в мировое пространство, должны будут пережить подобные же ощущения.

В *первой* фазе движения артиста, которая протекает еще внутри пушки, нас интересует величина искусственной тяжести. Мы узнаем ее, если вычислим *ускорение тела* в канале пушки. Для этого необходимо знать проходимый телом путь, т. е. длину пушки, а также скорость, приобретаемую в конце этого пути. Первый

[1] См. мои книги «Занимательная физика», кн. 2-я, с. 305, а также «Межпланетные путешествия», изд. 9-е, 1934 г.

известен — 6 м. Скорость же можно вычислить, зная, что это та скорость, с какой надо подбросить свободное тело, чтобы оно взлетело на высоту 19 м.

В предыдущей статье мы вывели формулу

$$t = \frac{v \sin \alpha}{a},$$

где $t$ — продолжительность подъема вверх, $v$ — начальная скорость, $\alpha$ — угол, под которым брошено тело, $a$ — ускорение. Кроме того, известна высота $h$ подъема вверх.

Так как

$$h = \frac{gt^2}{2} = \frac{g}{2} \times \frac{v^2 \sin^2 \alpha}{g^2} = \frac{v^2 \sin^2 \alpha}{2g},$$

то можно вычислить скорость $v$:

$$v = \frac{\sqrt{2gh}}{\sin \alpha}.$$

Значение букв, входящих в формулу, нам понятно: g = 9,8 м/с$^2$, $\alpha = 70°$. Что касается высоты подъема $h$, то, как видно из черт. 364, мы должны принять ее равной 25 – 6 = 19 м. Итак, искомая скорость

$$v = \frac{\sqrt{19{,}6 \times 19}}{0{,}94} \approx 20{,}6 \text{ м/с}.$$

С такой скоростью тело артиста покидает пушку, и, следовательно, такую скорость имеет оно у жерла орудия. Пользуясь формулой $v^2 = 2aS$, имеем:

$$a = \frac{v^2}{2S} = \frac{20{,}6^2}{12} \approx 35 \text{ м/с}^2.$$

Мы узнали, что ускорение, с каким движется тело артиста в стволе орудия, равно 35 м/с$^2$, т. е. в 3½ раза больше обычного ускорения силы тяжести. Поэтому артист будет в момент выстрела чувствовать себя в 4½ раза тяжелее обычного: к нормальному его весу прибавился 3½-кратный искусственный вес[1].

Сколько времени длится ощущение усиленного веса? Из формулы

$$S = \frac{at^2}{2} = \frac{at \times t}{2} = \frac{vt}{2}$$

имеем:

$$6 = \frac{20{,}6 \times t}{2},$$

откуда

$$t = \frac{12}{20{,}6} \approx 0{,}6 \text{ с}.$$

[1] Это не строго верно, потому что искусственная тяжесть действует под углом 20° к отвесу, нормальная же направлена отвесно. Однако разница невелика.

Значит, артист более полусекунды будет ощущать, что он весит не 70 кг, а около 300 кг.

Перейдем теперь ко *второй* фазе циркового номера — к свободному полету артиста в воздухе. Здесь нас интересует продолжительность полета; сколько времени артист не ощущает никакого веса?

В предыдущей статье мы установили (с. 518), что продолжительность подобного полета равна:

$$\frac{2v\sin\alpha}{a}.$$

Подставив известные нам значения букв, узнаем, что искомая продолжительность равна:

$$\frac{2\times 20{,}6\times \sin 70^\circ}{9{,}8} \approx 3{,}9 \text{ с.}$$

Состояние полной невесомости длится около 4 секунд.

В *третьей* фазе полета определим, как и в первой, величину искусственной тяжести и продолжительность этого состояния. Если бы сетка находилась на уровне жерла пушки, артист достиг бы ее с такой же скоростью, с какой начал свой полет. Но сетка поставлена несколько ниже, и оттого скорость артиста будет больше; однако разница весьма мала, и, чтобы не усложнять расчетов, мы ею пренебрежем. Принимаем, следовательно, что артист достиг сетки со скоростью 20,6 м/с. Измерено, что, упав на сетку, артист вдавливает ее на 1,5 м. Значит, скорость 20,6 м/с превращается в нуль на пути 1,5 м. По формуле $v^2 = 2aS$ имеем:

$$20{,}6^2 = 2a \times 1{,}5,$$

откуда ускорение

$$a = \frac{20{,}6^2}{2\times 1{,}5} \approx 141 \text{ м/с}^2.$$

Мы узнали, что, вдавливая сетку, артист подвергается ускорению в 141 м/с$^2$ — в 14 раз большему, чем нормальное ускорение тяжести. В течение этого времени он чувствовал себя в 15 раз тяжелее нормального своего веса! Это необычайное состояние длилось, однако, всего

$$\frac{2\times 1{,}5}{20{,}6} = \text{около } \frac{1}{7} \text{ с.}$$

Даже привычный организм циркача не мог бы безнаказанно перенести 15-кратное усиление тяжести, если бы это не длилось столь ничтожное время. Ведь человек 70 кг весом приобретает вес целой тонны! Длительное действие такой нагрузки должно было бы раздавить человека, во всяком случае лишить его возможности дышать, т. к. мускулы не смогут «поднять» столь тяжелую грудную клетку.

## Рекорд бросания мяча

Задача

На областной колхозно-совхозной спартакиаде в Харькове в 1934 г. физкультурница Синицкая в бросании мяча двумя руками установила новый всесоюзный рекорд: 73 м 92 см.

Как далеко должен закинуть мяч физкультурник в Ленинграде, чтобы побить этот рекорд?

Решение

Казалось бы, ответ простой: надо закинуть мяч хотя бы на 1 см дальше. Как ни странно это покажется иным спортсменам, такой ответ *неверен*. Если бы кто-нибудь закинул мяч в Ленинграде на дистанцию даже на 5 см короче, он — при правильной оценке — должен быть признан побившим рекорд Синицкой.

Наш читатель, вероятно, догадывается, в чем дело. Дальность бросания зависит от ускорения силы тяжести, а тяжесть в Ленинграде сильнее, чем в Харькове. Сравнивать достижения в обоих пунктах, не учитывая различия в напряжении силы тяжести — неправильно: в Харькове физкультурник поставлен природой в более благоприятные условия, чем в Ленинграде.

Остановимся на теории. При отсутствии сопротивления воздуха тело, брошенное под углом $\alpha$ к горизонту со скоростью $v$, падает на расстоянии

$$S=\frac{v^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

Величина $g$ ускорения силы тяжести в различных пунктах различна, и в частности, например, равна на широте

Архангельска (64°30') ..... 982 см/с$^2$
Ленинграда (60°) ..... 981,9 »
Харькова (50°) ..... 981,1 »
Каира (30°) ..... 979,3 »

Из приведенной формулы для дальности бросания видно, что при равных прочих условиях дистанция обратно пропорциональна величине $g$. Несложный расчет показывает, что усилие рук, бросающее в Харькове мяч на 73 м 92 см, уносит тот же мяч в других местах на следующие расстояния:

в Архангельске ..... 73 м 85 см
в Ленинграде ..... 73 » 86 »
в Каире ..... 74 » 5 »

Итак, чтобы побить в Ленинграде рекорд харьковской физкультурницы, закинувшей мяч на 73 м 92 см, достаточно превзойти дистанцию 73 м 86 см. Каирский спортсмен, повторивший харьковский рекорд, на самом деле отстал бы

от него на 12 см, а архангельский физкультурник, бросивший мяч на дистанцию 7-ю сантиметрами меньшую, нежели Синицкая, в действительности побил бы поставленный ею рекорд.

### По хрупкому мосту

Озадачивающий случай описывает Жюль Верн в романе «В 80 дней вокруг света». Висячий железнодорожный мост в Скалистых горах (Америка) грозил обрушиться из-за поврежденных ферм. Тем не менее бравый машинист, «истый янки», решил вести по нему пассажирский поезд.

«— Но мост может обрушиться!

— Это не имеет значения; пустив поезд на всех парах, мы имеем шанс проехать.

Поезд пошел вперед с невероятной скоростью. Поршни делали 20 ходов в секунду. Оси дымились. Поезд словно не касался рельсов. Вес был уничтожен скоростью... Мост был пройден. Поезд перепрыгнул через него с одного берега на другой. Но едва успел он переехать реку, как мост с грохотом обрушился в воду».

Правдоподобна ли эта история? Можно ли «уничтожить вес скоростью»? Мы знаем, что железнодорожное полотно при быстром ходе поезда страдает больше, чем при медленном; на слабых участках пути предписывается поэтому идти тихим ходом. В данном же случае спасение было именно в быстром ходе. Возможно ли это?

Оказывается, описанный случай не лишен правдоподобия. При известных условиях поезд мог избегнуть крушения, несмотря на то, что мост под ним разрушается. Все дело в том, что поезд пронесся через мост в чрезвычайно малый промежуток времени. В столь краткий миг мост просто *не успел* обрушиться... Вот примерный расчет. Ведущее колесо пассажирского паровоза имеет диаметр 1,3 м. «Двадцать ходов поршня в секунду» дают 10 полных оборотов ведущего колеса, т. е. 10 раз по 3,14 × 1,3. Это составляет 41 м; такова секундная скорость. Горный поток был, вероятно, не широк; длина моста могла быть, скажем, метров 10. Значит, при своей чудовищной скорости поезд пронесся по нему в ¼ секунды. Если бы даже мост начал разрушаться с первого мгновения, то передняя его часть за ¼ секунды успела опуститься на

$$\frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2}\times 9{,}8\times\frac{1}{16} = \text{около } 0{,}3 \text{ м},$$

т. е. на 30 см. Мост оборвался не на обоих концах сразу, а сначала на том конце, на который въехал паровоз. Пока эта часть моста начинала свое падение, опускаясь на первые сантиметры, противоположный конец еще сохранял связь с берегом, так что поезд (весьма короткий) мог, пожалуй, успеть проскользнуть на противоположный берег, прежде чем разрушение дошло до этого конца. В таком смысле и надо понимать образное выражение романиста: «вес был уничтожен скоростью».

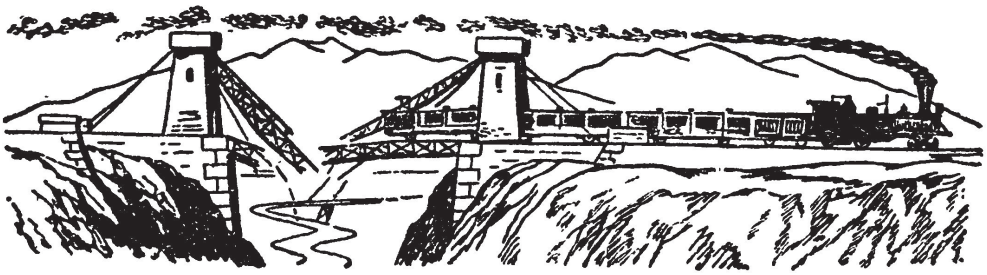


*Рис. 365. Эпизод с мостом в романе Жюля Верна.*

Неправдоподобие эпизода состоит в другом: в «20 ходах поршня в секунду», порождающих 150-километровую часовую скорость. Такой скорости паровоз того времени развить не мог.

Надо заметить, что нечто сходное с подвигом американского машиниста проделывают иногда конькобежцы: они рискуют быстро проскальзывать по тонкому льду, который наверное проломился бы под ними при медленном движении.

## Три пути

Задача

На отвесной стене начерчен круг (рис. 366), диаметр которого равен 1 м. От верхней его точки вдоль хорд *AB* и *AC* идут желобки. Из точки *A* одновременно пущены три дробинки: одна свободно падает вниз, две другие скользят (не катаясь) по гладким желобкам. Какая из трех дробинок раньше достигнет окружности?

Решение

Так как путь по желобку *AC* самый короткий, то можно подумать, что, скользя по нему, дробинка достигнет окружности раньше других. Второе место в состязании должна, по-видимому, занять дробинка, скользящая вдоль *AB*; и, наконец, последней достигнет окружности дробинка, падающая отвесно.

Опыт обнаруживает ошибочность этих заключений; все дробинки достигают окружности *одновременно*!

Причина в том, что дробинки движутся с различной скоростью: быстрее всех движется свободно падающая, а из двух скользящих по желобам быстрее та, путь которой наклонен круче.

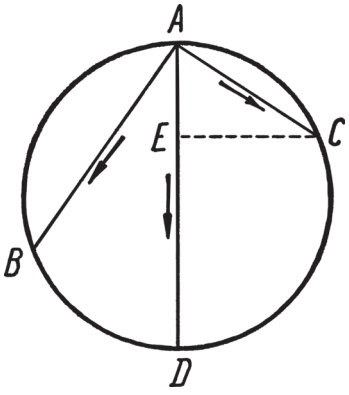



*Рис. 366. Задача о трех дробинках.*

По более длинным путям дробинки, как видим, движутся быстрее, и можно доказать, что выигрыш от большой скорости как раз покрывает потерю от длинного пути.

В самом деле, продолжительность $t$ падения по отвесной линии $AD$ (если отвлечься от сопротивления воздуха) определяется по формуле:

$$AD = \frac{gt^2}{2},$$

откуда

$$t = \sqrt{\frac{2AD}{g}}.$$

Продолжительность $t_1$ движения по хорде — например по $AC$ — равна:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2AC}{a}},$$

где $a$ — ускорение движения по наклонной линии $AC$. Но легко установить, что

$$\frac{a}{g} = \frac{AE}{AC} \quad \text{и} \quad a = \frac{AE \times g}{AC}.$$

Рис. 366 показывает, что

$$\frac{AE}{AC} = \frac{AC}{AD}$$

и, следовательно,

$$a = \frac{AC}{AD} \times g.$$

Значит,

$$t_1 = \sqrt{\frac{2 \times AC}{a}} = \sqrt{\frac{2 \times AC \times AD}{AC \times g}} = \sqrt{\frac{2AD}{g}} = t.$$

Итак, $t = t_1$, т. е. продолжительность движения по хорде и по диаметру одинакова. Это относится, конечно, не только к $AC$, но и ко всякой вообще хорде, проведенной из точки $A$.

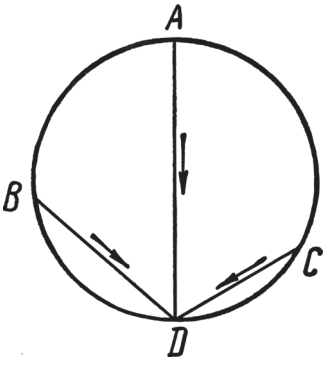



*Рис. 367. Задача Галилея.*

Ту же задачу можно поставить и в иной форме. Три тела движутся силой тяжести по линиям $AD$, $BD$ и $CD$, лежащим в отвесном круге (рис. 367). Движение началось одновременно в точках $A$, $B$ и $C$. Какое тело раньше достигнет точки $D$?

Читатель не затруднится теперь доказать самостоятельно, что тела должны достичь точки $D$ одновременно.

Рассмотренная задача была поставлена и разрешена Галилеем в книге «Беседы о двух новых отраслях науки» (есть русский перевод), где впервые изложены открытые им законы падения тел.

Там находим доказательство теоремы, формулированной Галилеем так:

«Если из высшей точки круга, построенного над горизонтом, проведены различные наклонные плоскости, доведенные до окружности, то времена падения по ним одинаковы».

### Задача о четырех камнях

С вершины башни брошены с одинаковой скоростью четыре камня: один — отвесно вверх, второй — отвесно вниз, третий — горизонтально вправо, четвертый — горизонтально влево.

Какую форму имеет тот четырехугольник, в вершинах которого будут находиться камни во время падения? Сопротивления воздуха в расчет не принимать.

Решение

Большинство приступает к решению этой задачи с мыслью, что падающие камни должны расположиться в вершинах четырехугольника, форма которого напоминает фигуру бумажного змея. Рассуждают так: камень, брошенный вверх, удаляется от исходной точки медленнее, чем брошенный вниз; брошенные же в стороны летят по кривым линиям с некоторой промежуточной скоростью. Забывают при этом подумать о том, с какой скоростью опускается центральная точка искомой фигуры.

Легче получить правильное решение, рассуждая иначе. Именно, сделаем сначала допущение, что тяжести нет вовсе. В таком случае, конечно, четыре брошенных камня располагались бы в каждый момент на вершинах квадрата. Но что изменится, если мы введем в действие тяжесть? В несопротивляющейся среде все тела падают с одинаковой скоростью. Поэтому наши четыре камня под действием силы тяжести опустятся на одно и то же расстояние, т. е. квадрат перенесется параллельно самому себе и сохранит фигуру квадрата.

Итак, брошенные камни расположатся в вершинах квадрата.

К сейчас рассмотренной задаче примыкает

### Задача о двух камнях

С вершины башни брошены два камня со скоростью трех метров в секунду: один — отвесно вверх, другой — отвесно вниз. С какой скоростью они удаляются один от другого? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Решение

Рассуждая, как в предыдущем случае, мы легко придем к правильному выводу: камни удаляются один от другого со скоростью 3 + 3, т. е. 6 метров в секунду. Скорость *падения* здесь, как ни странно, никакого значения не имеет: ответ одинаков для любого небесного тела — для Земли, Луны, Юпитера и т. п.

### Игра в мяч

Задача

Игрок бросает мяч своему партнеру, находясь в 28 м от него. Мяч летит четыре секунды. Какой наибольшей высоты достиг мяч?

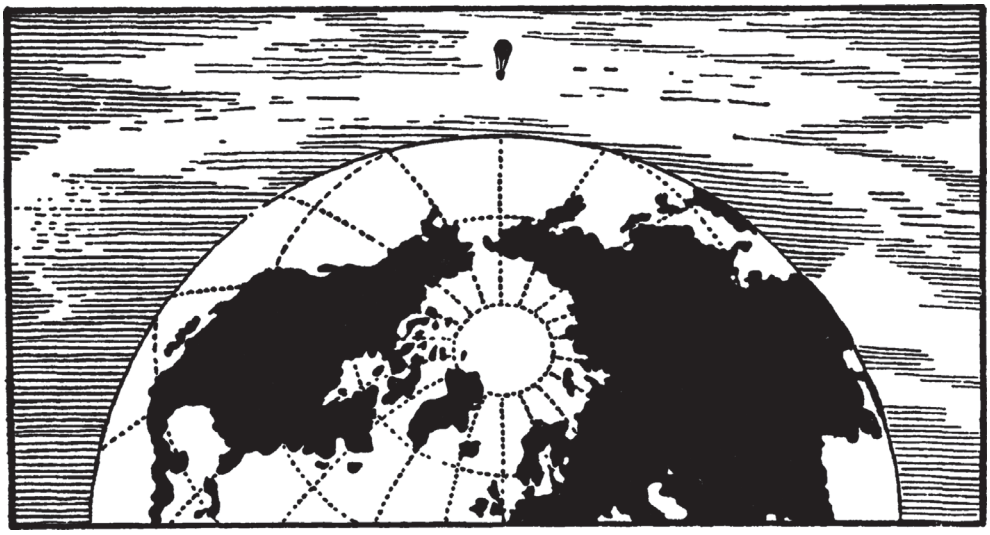
Решение

Мяч двигался 4 секунды, совершая одновременно перемещение в горизонтальном и в отвесном направлениях. Значит, на подъем и обратное падение он употребил 4 секунды, — из них 2 секунды на подъем и 2 на падение (в учебниках механики доказывается, что продолжительность подъема равна продолжительности падения). Следовательно, мяч опустился на расстояние

$$S = \frac{gt^2}{2} = \frac{9{,}8 \times 2^2}{2} = 19{,}6 \text{ м}.$$

Итак, наибольшая высота подъема мяча была около 20 м. Расстояние между игроками (28 м) — данное, которым нам не пришлось воспользоваться.

При столь умеренных скоростях можно пренебрегать сопротивлением воздуха.



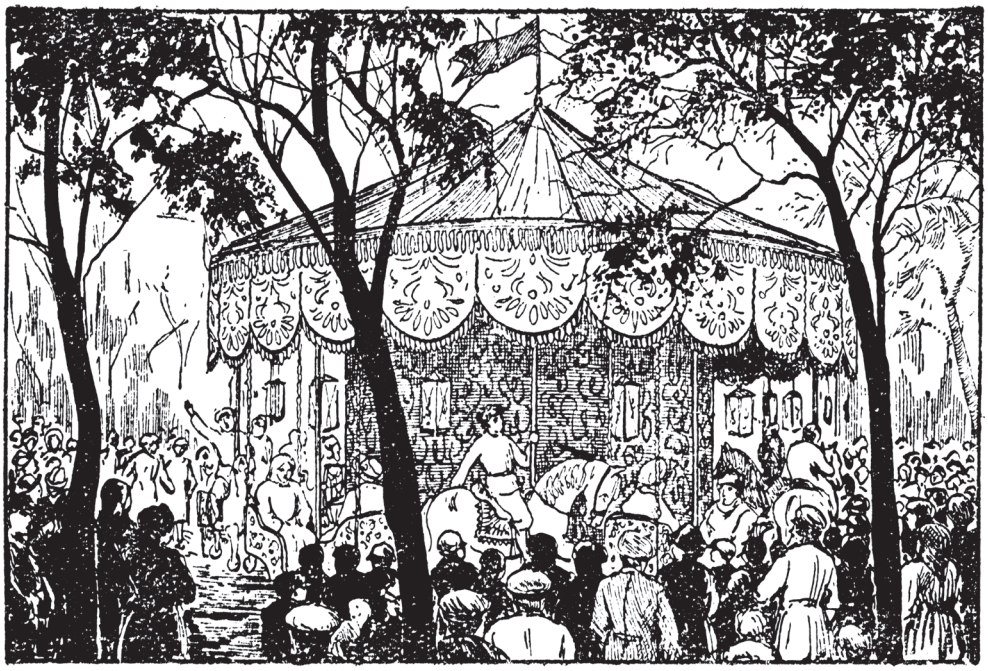


*Рис. 368. Карусель.*

## *ГЛАВА ПЯТАЯ*

## КРУГОВОЕ ДВИЖЕНИЕ

### Простой способ прибавиться в весе

Мы часто желаем своим больным знакомым «прибавиться в весе». Если бы речь шла только об этом, то добиться увеличения веса можно очень скоро без усиленного питания и заботы о своем здоровье: достаточно только сесть в карусель. Катающиеся на карусели обычно и не подозревают, что, сидя в возке, они буквально прибавляются в весе. Несложный расчет покажет нам величину прибавки.

Пусть (рис. 369) *MN* — та ось, вокруг которой обращаются возки карусели. Когда карусель вращается, возок, подвешенный к ней, стремясь вместе с пассажиром двигаться по инерции в направлении касательной и, следовательно, удалиться от оси, занимает наклонное положение, показанное на рис. 369. Вес *P* пассажира разлагается при этом на две силы: одна, сила *R*, направлена горизонтально в сторону оси и является той центростремительной силой, которая поддерживает круговое движение; другая — сила *Q* — направлена вдоль веревки и придавливает пассажира к возку;

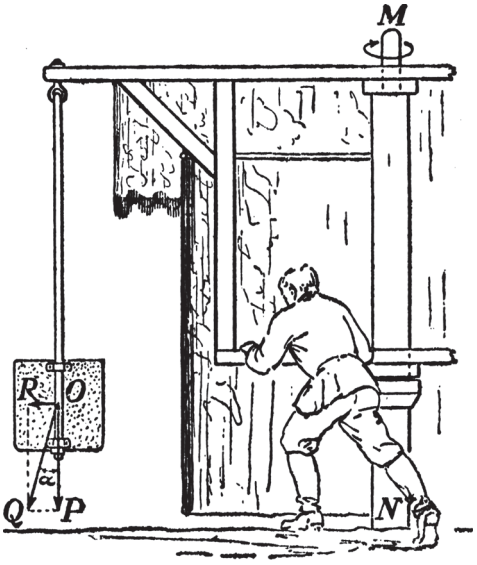



*Рис. 369. Живой двигатель карусели. Показаны силы, действующие на возок.*

она ощущается пассажиром как вес. Новый вес, мы видим, больше нормального $P$ и равен $\frac{P}{\cos\alpha}$. Чтобы найти величину угла $\alpha$ между $P$ и $Q$, надо знать величину силы $R$. Сила эта центростремительная; следовательно, порождаемое ею ускорение

$$a=\frac{v^2}{r},$$

где $v$ — окружная секундная скорость возка[1], а $r$ — радиус кругового движения, т. е. расстояние центра тяжести возка от оси $MN$. Пусть это расстояние 6 м, а число оборотов карусели — 4 в минуту; значит, в секунду возок описывает 1/15 полного круга. Отсюда его окружная скорость:

$$v=\frac{1}{15}\times 2\times 3{,}14\times 6\approx 2{,}5 \text{ м/с}.$$

Теперь находим величину ускорения, порождаемого силой $R$:

$$a=\frac{v^2}{r}=\frac{250^2}{600}\approx 104 \text{ см/с}^2.$$

Так как силы пропорциональны ускорениям, то

$$\operatorname{tg}\alpha=\frac{104}{980}\approx 0{,}1;\quad \alpha\approx 7^\circ.$$

Мы установили раньше, что «новый вес» $Q=\frac{P}{\cos\alpha}$. Значит,

$$Q=\frac{P}{\cos 7^\circ}=\frac{P}{0{,}994}=1{,}006\,P.$$

[1] Точнее, скорость центра тяжести возка (*примеч. ред.*).

Если больной при обычных условиях весил 60 кг, то сейчас он прибавится в весе примерно на 360 г. К сожалению, такая прибавка нисколько не улучшает здоровья; кружась на карусели, никто не чувствует себя здоровее, чем на «неподвижной» земле.

Если на обыкновенной, сравнительно медленно вращающейся карусели прибавка веса мало ощутительна, то на быстроходных центробежных приборах малого радиуса она доводится в некоторых случаях до огромной величины. В одной американской лаборатории употребляется прибор подобного рода — так называемая «ультрацентрифуга», вращающаяся часть которой делает 80 000 оборотов в минуту. С помощью этого прибора достигается возрастание веса в *четверть миллиона раз*! Каждая мельчайшая капелька жидкости, исследуемой на этом приборе, при нормальном весе в 1 миллиграмм превращается в тяжелое тело весом в четверть килограмма.

Теперь вы, вероятно, будете осторожнее и станете высказывать знакомым пожелание прибавиться *не в весе, а в массе*.

## Небезопасный аттракцион

Ко мне явились однажды за советом по поводу проекта нового аттракциона в одном из парков Москвы. Проект представлял нечто вроде «гигантских шагов», но к концам канатов (или штанг) предполагалось прикрепить аэропланы. При быстром вращении канаты должны откинуться и поднять вверх аэропланы с сидящими в них пассажирами. Устроители желали придать карусели такое число оборотов, чтобы канаты или штанги протянулись совершенно горизонтально.

Пришлось разочаровать их указанием, что здоровье пассажиров лишь до тех пор будет в безопасности, пока канат имеет довольно заметный наклон. Величину предельного отклонения каната от вертикали легко вычислить, исходя из того, что организм человека может переносить безвредно лишь трехкратное увеличение тяжести.

Здесь нам пригодится рис. 369, которым мы пользовались в предыдущей статье. Мы желаем, чтобы искусственная тяжесть $Q$ превосходила естественный вес $P$ не более чем в 3 раза, т. е. чтобы лишь в предельном случае

$$\frac{Q}{P}=3,$$

но

$$\frac{Q}{P}=\frac{1}{\cos\alpha};$$

следовательно,

$$\frac{1}{\cos\alpha}=3 \quad \text{и} \quad \cos\alpha=\frac{1}{3}\approx 0{,}33,$$

откуда

$$\alpha = \text{около } 71°.$$

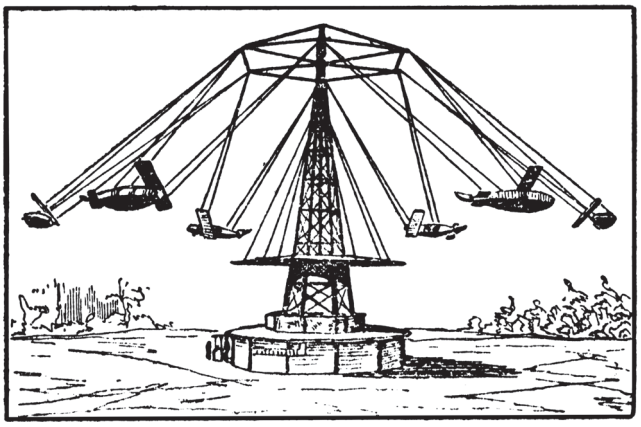


*Рис. 370. Американская карусель с аэропланами.*

Итак, канат не должен отклоняться от отвесного положения более чем на 71° и, значит, не может приближаться к горизонтальному положению ближе чем на 19°.

Рис. 370 изображает, как осуществлен такого типа аттракцион в одном из городов Америки. Вы видите, что наклон канатов далеко не достигает здесь предельного.

### На железнодорожном закруглении

«Сидя в вагоне железной дороги, который двигался по кривой, — рассказывает физик Э. Мах[1], — я заметил вдруг, что деревья, дома, фабричные трубы близ дороги приняли наклонное положение».

Подобные явления часто наблюдаются пассажирами скорых поездов на Западе, где 100 км/ч — не редкость.

Нельзя усматривать причину в том, что наружные рельсы на закруглениях укладываются выше внутренних и что, следовательно, вагон идет по дуге закругления в несколько косом положении. Если высунуться из окна и рассматривать окрестности не в наклонной рамке, — иллюзия остается.

После сказанного в предыдущих статьях едва ли нужно подробно объяснять истинную причину этого явления. Читатель уже догадался, вероятно, что отвес, висящий в вагоне, должен принять наклонное положение в тот момент, когда поезд огибает кривую. Эта новая вертикальная линия заменяет

[1] *Мах Эрнст* (1838–1916) — австрийский физик, механик и философ, совершивший ряд важных физических открытий в оптике, акустике, аэродинамике и др. (*примеч. ред.*).

для пассажира прежнюю; оттого-то все, что имеет направление прежнего отвеса, становится для него косым[1].

Новое направление отвесной линии легко определяется из рис. 371. На нем буквой *P* обозначена сила тяжести, буквой *R* — сила центростремительная. Составляющая *Q* будет заменять для пассажира силу тяжести; все тела в вагоне будут падать в этом направлении. Величина угла α отклонения от отвесного направления определяется из уравнения

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{R}{P}.$$

А так как сила *R* пропорциональна $\frac{v^2}{r}$, где *v* — скорость поезда, а *r* — радиус дуги закругления, сила же *P* пропорциональна ускорению тяжести *g*, то

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{v^2}{r} : g = \frac{v^2}{rg}.$$

Пусть скорость поезда 18 м/с (65 км/ч), а радиус закругления — 600 м. Тогда

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{18^2}{600 \times 9{,}8} \approx 0{,}055,$$

откуда

α = около 3°.

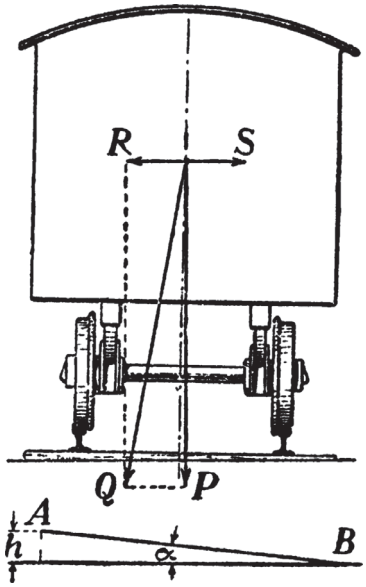



*Рис. 371. Вагон идет по закруглению. Какие на него действуют силы? Внизу — поперечный наклон полотна дороги.*

Это мнимо-отвесное[2] направление мы неизбежно будем считать за отвесное, действительно же отвесные предметы покажутся нам наклоненными на 3°. При поездке на горной Сен-Готардской дороге с многочисленными кривыми участками пассажиры видят порой окружающие отвесные предметы покосившимися градусов на 10.

Чтобы вагон на закруглении держался устойчиво, наружный рельс кривого пути возвышают над внутренним на величину, соответствующую новому положению горизонтальной линии. Например, для сейчас рассмотренного закругления наружный рельс *A* (рис. 371) должен быть приподнят на такую величину *h*, чтобы

$$\frac{h}{AB} = \sin\alpha.$$

---

[1] Так как вследствие вращения Земли точки земной поверхности движутся по дугам, то и на «твердой земле» отвес не направлен строго к центру нашей планеты, а отклоняется от этого направления на небольшой угол (на широте Ленинграда — 4', на 45-й параллели — на наибольшую величину, 6'; на полюсе же и на экваторе вовсе не отклоняется).

[2] Вернее — «временно-отвесное» для данного наблюдателя.

$AB$ — ширина колеи — равна около 1,5 м; $\sin \alpha = \sin 3° = 0{,}052$. Значит,

$$h = AB \sin \alpha = 1500 \times 0{,}052 \approx 80 \text{ мм}.$$

Наружный рельс должен быть уложен на 80 мм выше внутреннего. Легко понять, что это возвышение отвечает лишь определенной скорости, но изменять его соответственно скорости поезда нельзя; при устройстве закруглений имеют поэтому в виду некоторую преобладающую скорость движения.

### Дорога не для пешеходов

Стоя у кривой части железнодорожного пути, мы едва ли заметили бы, что наружный рельс уложен здесь немного выше внутреннего. Другое дело — дорожка для велосипедов на велодроме: закругления в этих случаях имеют гораздо меньший радиус, скорость же довольно велика, так что угол наклона получается весьма значительный. При скорости, например, 72 км/ч (20 м/с) и радиусе 100 м угол наклона определяется из уравнения

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v^2}{rg} = \frac{400}{100 \times 9{,}8} \approx 0{,}4,$$

откуда

$$\alpha \approx 22°.$$

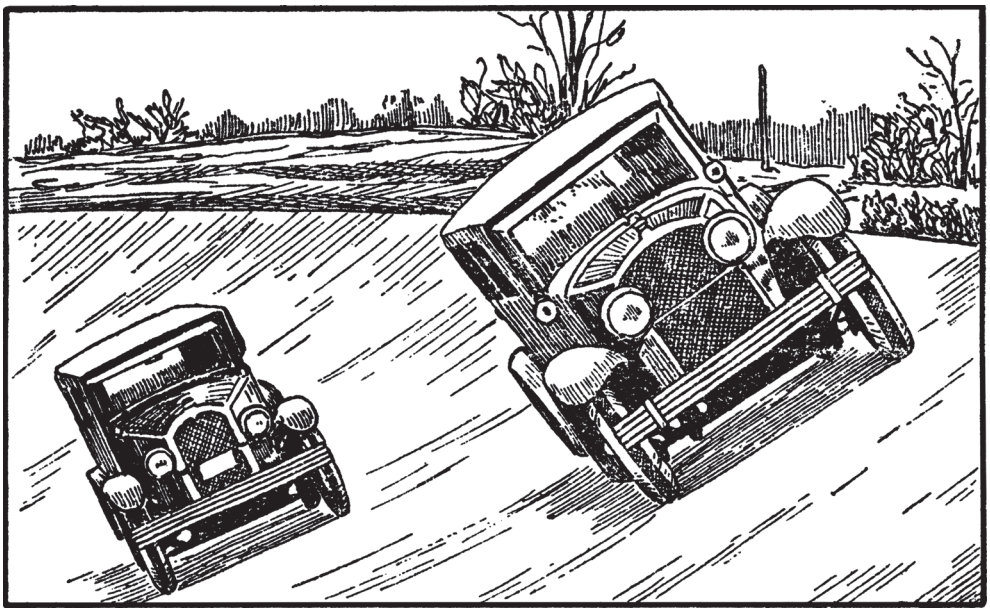


*Рис. 372. Автомобиль на закруглении.*

На подобной дороге пешеходу, разумеется, не удержаться. Между тем велосипедист только на такой дороге и чувствует себя вполне устойчиво. Любопытный парадокс тяжести! Так же устраиваются специальные дороги для состязания автомобилей.

В цирках приходится видеть нередко трюки еще более парадоксальные на взгляд, хотя также вполне согласные с законами механики. Велосипедист в цирке кружится в воронке («корзине»), радиус которой 5 и менее метров; при скорости 10 м/с наклон стенок воронки должен быть очень крут:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{10^2}{5\times 9{,}8} \approx 2{,}04,$$

откуда $\alpha \approx 63°$.

Зрителям кажется, что только необычайные ловкость и искусство помогают артисту удерживаться в таких явно неестественных условиях, между тем как в действительности для данной скорости это — самое устойчивое положение[1].

### Земля набекрень

Кому приходилось видеть, как круто наклоняется набок самолет, описывая горизонтальную петлю (делая «вираж»), у того естественно возникает мысль о серьезных предосторожностях, которые летчик должен принимать, чтобы не выпасть из аппарата. На деле, однако, летчик даже не ощущает, что машина его делает крен — для него она держится в воздухе горизонтально. Зато он ощущает нечто другое: во-первых, испытывает усиленную тяжесть, во-вторых — видит, как наклоняется вся обозреваемая местность.

Сделаем примерный расчет того, на какой угол может для летчика при вираже наклониться горизонтальная поверхность и какой величины может достигать для него усиленная тяжесть.

Возьмем числовые данные из действительности: летчик со скоростью 216 км/ч (60 м/с) описывает винтовую линию диаметром 140 м (рис. 373). Угол $\alpha$ наклона находим из уравнения

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{v^2}{rg} = \frac{60^2}{70\times 9{,}8} \approx 5{,}2,$$

откуда $\alpha \approx 79°$. Теоретически земля должна для такого летчика стать не только «набекрень», но и почти «дыбом», отклоняясь всего на 11° от отвеса.

(На практике, вследствие, вероятно, физиологических причин, в подобных случаях земля кажется повернутой не на 79°, а на 69°, — см. рис. 374.)

---

[1] О велосипедных трюках см. также «Занимательную физику», кн. 2, с. 284.

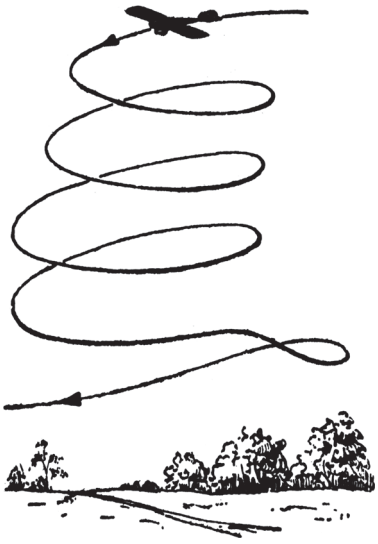


*Рис. 373. Летчик описывает винтовую линию.*

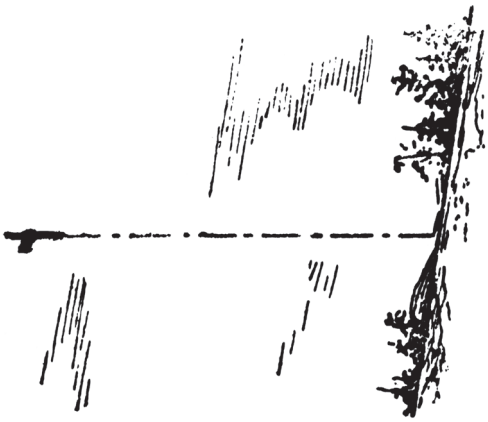


*Рис. 374. Что кажется летчику рис. 373.*

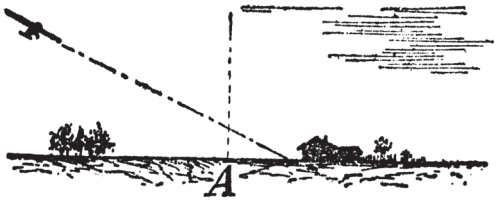



*Рис. 375. Летчик летит по кривой большого радиуса (520 м) со скоростью 190 км/ч.*

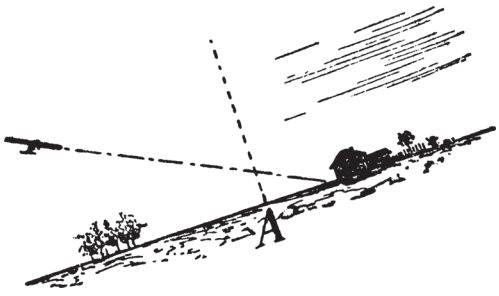



*Рис. 376. Что кажется летчику рис. 375.*

Что касается усиленной тяжести, то отношение ее к естественной равно (рис. 371) обратной величине косинуса угла между их направлениями. Тангенс того же угла равен

$$\frac{v^2}{r} : g = 5{,}2.$$

По таблицам находим соответствующий косинус (0,19) и его обратную величину — 5,3.

Значит, летчик, делая такой вираж, прижимается к сидению в 6 раз сильнее, чем на прямом пути, т. е. чувствует себя примерно вшестеро тяжелее.

Искусственное увеличение веса может быть роковым для летчика. Известен случай, когда летчик, делая со своим аппаратом так называемый «штопор» (падение по винтовой кривой малого радиуса), не только не мог подняться с места, но бессилен был даже сделать движение рукой.

Расчет показывает, что тело его стало тяжелее в 8 раз! Лишь с величайшим напряжением сил удалось ему спастись от гибели[1].

### Почему реки извиваются?

Давно известна склонность рек извиваться подобно ползущей змее. Не следует думать, что извивание всегда обусловлено рельефом почвы. Местность может быть совершенно ровная, и все-таки ручей извивается. Это представляется довольно загадочным: казалось бы, в такой местности естественнее ручью избрать прямое направление.

Ближайшее рассмотрение обнаруживает, однако, неожиданную вещь: прямое направление даже для ручья, текущего по ровной местности, есть наименее устойчивое, а потому и наименее вероятное. Сохранить прямолинейность река может только при идеальных условиях, которые в действительности никогда не осуществляются.

Вообразим ручей, протекающий в *приблизительно* однородном грунте строго прямолинейно. Покажем, что такое течение долго сохраняться не будет. От случайных причин, — например, от неоднородности грунта, — течение ручья в каком-нибудь месте чуть искривилось. Что будет дальше? Выровняет ли река свое течение сама? Нет, искривление будет расти. В месте искривления (рис. 377) вода, двигаясь криволинейно, будет вследствие центробежного эффекта напирать на вогнутый берег *A*, подмывать его и в то же время отступать от выпуклого берега *B*. Для выпрямления же ручья нужно как раз обратное: подмывание *выпуклого* берега и отступание от *вогнутого*. Вогнутость станет от подмывания увеличиваться, кривизна излучины — возрастать, а вместе с тем будет увеличиваться и центробежная сила, которая, в свою очередь, усилит подмывание вогнутого берега. Достаточно, как видите, образоваться хотя бы самому незначительному изгибу, — и он будет расти неудержимо.

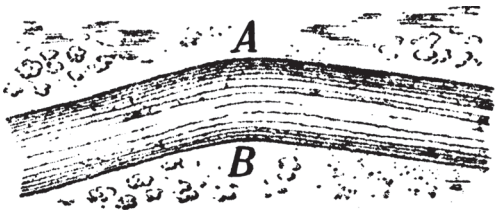



*Рис. 377. Малейший изгиб ручья неудержимо растет.*

[1] *Длительная* перегрузка, соответствующая пределу физиологических возможностей человека, лежит в пределах 8–10 *g*. *Кратковременная* перегрузка (в течение 3–5 секунд), которую человек выдерживает без потери сознания, — около 15 *g* (*примеч. ред.*).

Мало того, уровень реки у вогнутого берега, к которому вода придавливается, стоит выше, чем у выпуклого (после указанного в предыдущих статьях читатель понимает, конечно, почему); поэтому у дна реки возникает течение воды в поперечном направлении — от вогнутого берега к выпуклому, а вверху, разумеется, обратно: от выпуклого к вогнутому. Поперечное течение переносит продукты разрушения вогнутого берега к выпуклому; там они и оседают. По этой причине выпуклый берег становится покатым (еще более выпуклым), а вогнутый — крутым.

Так как случайные обстоятельства, вызывающие легкий первоначальный изгиб ручья, почти неизбежны, то неизбежно и образование излучин, непрестанно растущих и придающих реке спустя достаточный промежуток времени ее характерную извилистость. Эти извивы носят название «меандров», от реки Меандр (в западной части Малой Азии), змеевидное течение которой поразило древних и сделало название этой реки нарицательным.

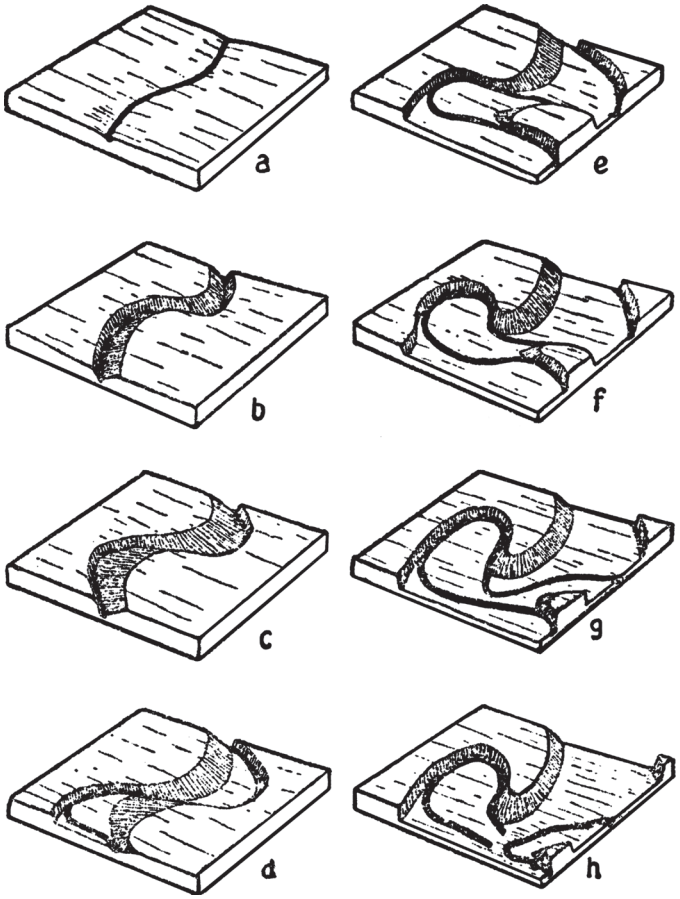
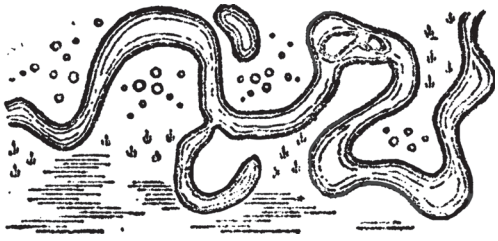



*Рис. 378. Как постепенно увеличивается само собою искривление речного ложа.*

Интересно проследить за дальнейшей судьбой речных извивов. Последовательные изменения вида речного русла упрощенно показаны на рис. 378, *a–h*. На рис. 378, *a* перед вами чуть изогнутая речка, на следующем 378, *b* — течение успело уже подточить вогнутый берег и несколько отступило от покатого выпуклого. На рис. 378, *c* русло реки еще больше расширилось, а на рис. 378, *d* превратилось уже в широкую долину, в которой ложе реки занимает только некоторую часть. На рис. 378 *e*, *f* и *g* развитие речной долины пошло еще дальше; на рис. 378, *g* изгиб речного ложа так велик, что образует почти петлю. Наконец, на рис. 378, *h* вы видите, как река пробивает себе путь в месте сближения частей извилистого ложа и меняет там свое русло, оставляя в вогнутой части промытой долины так называемую «старицу», или «староречье» — стоячую воду в покинутой части русла.

Читатель сам догадается, почему река в выработанной ею плоской долине не течет посередине или вдоль одного края, а перекидывается все время с одного края к другому — от вогнутого к ближайшему выпуклому[1].

Так управляет механика геологическими судьбами рек. Нарисованная нами картина развертывается, конечно, на протяжении огромных промежутков времени, измеряемых тысячелетиями. Однако явление, во многих подробностях сходное с этим, вы можете видеть в миниатюрном масштабе каждую весну, наблюдая за теми крошечными ручейками, которые промывает талая вода в затвердевшем снеге.



[1] Мы совершенно не касались здесь действия вращательного движения Земли, сказывающегося в том, что реки северного полушария усиленно размывают свой правый берег, а южного полушария — левый. Об этом см. мою «Занимательную астрономию», 1937, гл. I.

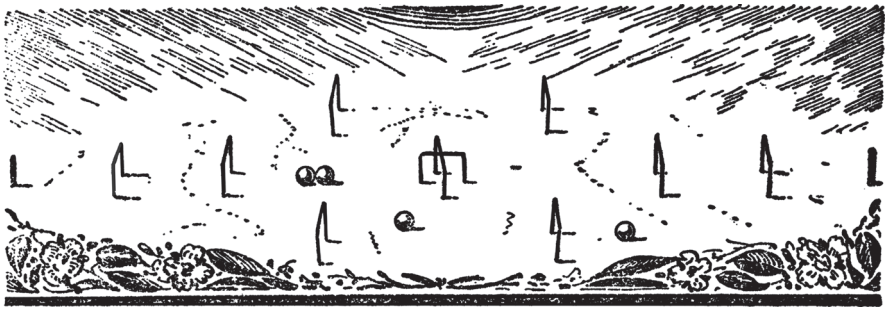


*Рис. 379. Крокетная площадка.*

## *ГЛАВА ШЕСТАЯ*

## УДАР

### В поисках самого понятного

Тот отдел механики, где говорится об ударе тел, не пользуется обычно любовью учащихся. Он усваивается медленно, а забывается быстро, оставляя по себе недобрую память, как о клубке громоздких формул. А между тем он заслуживает большого внимания. Ведь соударение тел еще не так давно — лет 50 назад[1] — считалось единственно понятным явлением из всех физических, происходящих в мире; вернее, его признавали единственным явлением, не требующим объяснения, так как ударом двух тел стремились объяснить возникновение всех прочих явлений природы.

Еще Кювье[2], знаменитый натуралист XIX века, писал: «Удалившись от удара, мы не можем составить ясной идеи об отношениях между причиной и действием». Явление считалось объясненным лишь тогда, когда удавалось свести его причину к соударению молекул.

Правда, стремление объяснить мир, исходя из этого начала, не увенчалось успехом: обширный ряд явлений — электрические, оптические, тяготение — не поддается такому объяснению. Тем не менее и теперь еще удар тел играет важную роль в объяснении явлений природы. Вспомним кинетическую теорию газов, рассматривающую обширный круг явлений как беспорядочное движение множества непрестанно соударяющихся молекул. Помимо того мы встречаемся с ударом тел на каждом шагу в повседневной жизни. Обойтись без знания этого отдела механики невозможно.

---

[1] Т. е. в последней четверти XIX в. (*примеч. ред.*).

[2] *Кювье Жорж Леопольд* (1769–1832) — французский естествоиспытатель, основатель сравнительной анатомии и палеонтологии (*примеч. ред.*).

## Механика удара

Знать механику удара тел — значит уметь предвидеть, какова будет скорость соударяющихся тел после их столкновения. Эта окончательная скорость зависит от того, сталкиваются ли тела неупругие (не отскакивающие) или же упругие.

В случае тел *неупругих* оба столкнувшихся тела приобретают после удара одинаковую скорость; величина ее получается из их масс и первоначальных скоростей по правилу смешения.

Когда смешивают 3 кг кофе по 8 руб. с 2 кг кофе по 10 руб., то цена смеси равна:

$$\frac{3\times 8+2\times 10}{3+2}=8{,}8 \text{ руб.}$$

Точно так же, когда неупругое тело, обладающее массой 3 кг и скоростью 8 см/с, сталкивается с другим неупругим телом, масса которого 2 кг и скорость 10 см/с, настигающим его, то окончательная скорость $x$ каждого тела:

$$x=\frac{3\times 8+2\times 10}{3+2}=8{,}8 \text{ см/с.}$$

В общем виде — при соударении неупругих тел, массы которых $m_1$ и $m_2$, скорости $v_1$ и $v_2$, их окончательная скорость $x$ после удара равна

$$x=\frac{m_1v_1+m_2v_2}{m_1+m_2}.$$

Если направление скорости $v_1$ мы считаем положительным, то знак плюс перед скоростью $x$ означает, что тела после удара движутся в направлении скорости $v_1$; знак минус указывает противоположное направление.

Вот все, что надо помнить об ударе тел неупругих. Удар *упругих* тел протекает сложнее: такие тела при ударе не только сжимаются в месте соприкосновения (как и тела неупругие), но и расширяются вслед за этим, восстанавливая свою первоначальную форму. И в этой второй фазе тело настигающее теряет из своей скорости еще столько же, сколько потеряло оно в первую фазу, а тело настигаемое приобретает в скорости еще столько же, сколько приобрело оно в первую фазу. Двойная потеря скорости для более быстрого тела и двойной выигрыш ее для менее быстрого — вот собственно все об *упругом* ударе, что надо держать в памяти. Остальное сводится к чисто математическим выкладкам. Пусть скорость более быстрого тела $v_1$, другого $v_2$, а массы их $m_1$ и $m_2$. Если бы тела были *неупруги*, то после удара каждое из них двигалось бы со скоростью

$$x=\frac{m_1v_1+m_2v_2}{m_1+m_2}.$$

Потеря скорости для первого тела равна была бы $v_1 - x$; выигрыш скорости для второго $x$ — $v_2$. В случае же тел упругих потеря и выигрыш, мы знаем, удваиваются, т. е. равны $2(v_1 - x)$ и $2(x - v_2)$. Значит, окончательные скорости $y$ и $z$ после *упругого* удара таковы:

$$y = v_1 - 2(v_1 - x) = 2x - v_1,$$
$$z = v_2 + 2(x - v_2) = 2x - v_2.$$

Остается только подставить в эти выражения вместо **x** его значение (см. выше).

Мы рассмотрели два крайних случая удара: тел *вполне* неупругих и тел *вполне* упругих. Возможен еще промежуточный случай: когда сталкивающиеся тела *не вполне* упруги, т. е. после первой фазы удара восстанавливают свою форму не полностью. К этому случаю мы еще вернемся; пока достаточно знать то, что сейчас было изложено.

Картину упругого удара мы могли бы охватить следующим кратким правилом: тела расходятся после столкновения с той же скоростью, с какой сближались до удара. Это вытекает из довольно простых соображений. Скорость сближения тел до удара равна

$$v_1 - v_2.$$

Скорость их расхождения после удара равна

$$z - y.$$

Подставив вместо $z$ и $y$ их выражения, получаем:

$$z - y = 2x - v_2 - (2x - v_1) = v_1 - v_2.$$

Свойство это важно не только потому, что дает наглядную картину упругого удара, но и в другом отношении. При выводе формулы мы говорили о телах «ударяемом» и «ударяющем», «настигаемом» и «настигающем», относя движение их, конечно, только к некоторому третьему телу, не участвующему в их движениях. Но в первой главе нашей книги (вспомните задачу о двух яйцах) было уже разъяснено, что между телами ударяющим и ударяемым никакой разницы нет: роли их можно обменять, ничего не изменяя в картине явления. Справедливо ли это и в рассматриваемом случае? Не дадут ли полученные ранее формулы иные результаты, если роли тел изменятся?

Легко видеть, что от такой перемены результат вычисления по формулам нисколько не изменится. Ведь при той и другой точках зрения *разность* скоростей тел до удара должна оставаться неизменной. Следовательно, не изменится и скорость расхождения тел после удара ($z - y = v_1 - v_2$). Иными словами, картина окончательного движения тел остается та же.

Вот несколько интересных числовых данных, относящихся к удару абсолютно упругих шаров. Два стальных шара, каждый диаметром около 7,5 см (т. е. примерно величиной с бильярдные), сталкиваясь со скоростью 1 м/с, сдавливаются с силой 1500 кг, а при скорости 2 м/с — с силой 3500 кг.

Радиус того кружка, по которому шары при этом ударе соприкасаются, в первом случае 1,2 мм, во втором — 1,6 мм. Продолжительность удара в обоих случаях — около 1/5000 секунды. Кратковременностью удара объясняется то, что материал шаров не разрушается при столь значительном давлении (15–20 тонн на см$^2$).

Впрочем, так мала продолжительность удара только при небольших размерах шаров. Расчет показывает, что для стальных шаров планетных размеров (радиус = 10 000 км), соударяющихся со скоростью 1 см/с, время удара должно равняться 40 часам. Круг соприкосновения имеет при этом радиус 12,5 км, а сила взаимного сдавливания — около 400 триллионов тонн!

## Изучите свой мяч

Те формулы удара тел, с которыми мы познакомились на предыдущих страницах, непосредственно на практике мало применимы. Число тел, причисляемых к «вполне неупругим» или к «вполне упругим», весьма ограниченно. Преобладающее большинство тел не принадлежит ни к тем, ни к другим; они «не вполне упруги». Возьмем мячик. Не страшась насмешки старинного баснописца, спросим себя: мячик вещь какая? Вполне упругая или не вполне упругая с точки зрения механики?

Имеется простой способ испытать мяч на упругость: уронить с некоторой высоты на твердую площадку. Вполне упругий мяч должен подскочить на ту же высоту.

Это вытекает из формулы упругого удара:

$$y = 2x - v_1 = \frac{2(m_1 v_1 + m_2 v_2)}{m_1 + m_2} - v_1 .$$

Прилагая ее к случаю мяча, ударяющегося в неподвижную площадку, мы можем массу $m_2$ площадки считать бесконечно большой, скорость же ее равна нулю: $m_2 = \infty$, $v_2 = 0$. До подстановки этих значений в предыдущую формулу преобразуем ее, разделив числитель и знаменатель дроби на $m_2$:

$$y = \frac{2\left(\frac{m_1}{m_2} v_1 + v_2\right)}{\frac{m_1}{m_2} + 1} - v_1 .$$

После подстановки получаем:

$$y = \frac{2\left(\frac{m_1}{\infty} v_1 + 0\right)}{\frac{m_1}{\infty} + 1} - v_1 .$$

Так как $\frac{m_1}{\infty}=0$, то дробь становится равной нулю и формула получает вид:

$$y = - v_1.$$

То есть мяч должен отскочить от площадки с той же скоростью, с какой достиг ее. Но, падая с высоты $H$, тело приобретает скорость

$$\sqrt{2gH}, \text{ откуда } H=\frac{v^2}{2g}.$$

Подброшенное же отвесно со скоростью $v$, тело достигает высоты

$$h=\frac{v^2}{2g}.$$

Значит, $h = H$: мяч должен подскочить до того уровня, с какого он упал.

Шар неупругий не подскакивает совсем (легко убедиться соответственной подстановкой в формулу)[1].

Как же должен вести себя мяч *не вполне* упругий? Чтобы уяснить это, вникнем в картину упругого удара. Мяч достигает площадки; в точке соприкосновения он вдавливается, и вдавливающая сила уменьшает его скорость. До сих пор мяч ведет себя так, как вело бы себя и неупругое тело; значит, его скорость в этот момент равна $x$, а потеря скорости $v_1 - x$. Но вдавленное место начинает сразу же вновь выпячиваться; при этом мяч, конечно, напирает на площадку, мешающую ему выпячиваться; возникает опять сила, действующая на мяч и уменьшающая его скорость. Если шар при этом вполне восстанавливает свою прежнюю форму, т. е. проходит в обратном порядке те же этапы изменения формы, которые прошел он при сжатии, то новая *потеря* скорости должна равняться прежней, или $v_1 - x$, а следовательно, в общем скорость вполне упругого мяча должна уменьшиться на

$$2 (v_1 - x) \text{ и равняться}$$
$$v_1 - 2 (v_1 - x) = 2x - v_1.$$

Когда мы говорим, что мяч «не вполне упруг», то мы, собственно, хотим сказать, что он не вполне восстанавливает свою форму после ее изменения под действием внешней силы. При восстановлении его формы действует сила, меньшая той, которая эту форму изменила, а соответственно этому потеря скорости за период восстановления *меньше* первоначальной; она равна не $v_1 - x$, а составляет некоторую долю ее, которую обозначим правильной дробью $e$ («коэффициент восстановления»). Итак, потеря скорости при упругом ударе в первом периоде равна $v_1 - x$, во втором равна $e (v_1 - x)$. Общая потеря равна

$$(1 + e) (v_1 - x), \text{ а скорость } y, \text{ остающаяся после удара, равна}$$
$$y = v_1 - (1 + e) (v_1 - \mathrm{x}) = (1 + e) x - ev_1.$$

[1] Это также ясно из чисто физических соображений — шар *неупругий* (*примеч. ред.*).

Скорость же $z$ ударяемого тела (в данном случае площадки), которое отталкивается мячом по закону противодействия, должна равняться, как легко вычислить,

$$z = (1 + e)\, x - ev_2.$$

Разность $z - y$ обеих скоростей равна $ev_1 - ev_2 = e\,(v_1 - v_2)$, откуда находим, что «коэффициент восстановления»

$$e = \frac{z - y}{v_1 - v_2}.$$

Для мяча, ударяющегося о неподвижную площадку, $z = (1 + e)\, x - ev_2 = 0$, $v_2 = 0$. Следовательно,

$$e = \frac{y}{v_1}.$$

Но $y$ — скорость подскакивающего шара — равна $\sqrt{2gh}$, где $h$ — высота, на которую он подскакивает, $v_1 = \sqrt{2gH}$, где $H$ — высота, с которой мяч упал. Значит,

$$e = \sqrt{\frac{2gh}{2gH}} = \sqrt{\frac{h}{H}}.$$

Итак, мы нашли способ определять «коэффициент восстановления» ($e$) мяча, характеризующий степень отступления его свойств от вполне упругих: надо измерить высоту, с которой его роняют, и высоту, на которую он

*Рис. 380. Хороший мяч для тенниса должен подпрыгнуть примерно на 140 см, если его уронить с высоты 250 см.*

подскакивает; квадратный корень из отношения этих величин и будет искомый коэффициент.

По спортивным правилам, хороший теннисный мяч должен при падении с высоты 250 см подскакивать на высоту 127–152 см. Значит, коэффициент восстановления для теннисного мяча должен заключаться в пределах

$$\text{от } \sqrt{\frac{127}{250}} \text{ до } \sqrt{\frac{152}{250}},$$

т. е. от 0,71 до 0,78.

Остановимся на средней величине 0,75, т. е., выражаясь вольно, возьмем мяч «упругий на 75%» и проделаем некоторые интересные для спортсменов расчеты.

Первая задача: насколько подскочит мяч во второй, в третий и последующие разы, если его уронить с высоты $H$?

В первый раз мяч подскочит, мы знаем, на высоту, определяемую из формулы

$$e = \sqrt{\frac{h}{H}}.$$

Для $e = 0{,}75$ и $H = 250$ см имеем:

$$\sqrt{\frac{h}{250}} = 0{,}75,$$

откуда $h \approx 140$ см.

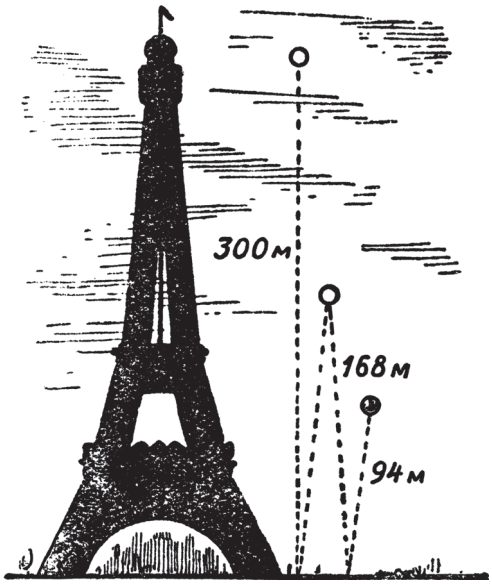



*Рис. 381. Как высоко подпрыгнул бы мяч, уроненный с Эйфелевой башни.*

Во второй раз, т. е. после падения с высоты $h = 140$ см, мяч подскочит на высоту $h_1$, причем

$$0{,}75 = \sqrt{\frac{h_1}{140}},$$

откуда $h_1 \approx 79$ см.

Высоту $h_2$ третьего подъема мяча найдем из уравнения

$$0{,}75 = \sqrt{\frac{h_2}{79}},$$

откуда $h_2 \approx 44$ см.

Дальнейшие расчеты ведутся таким же путем.

Уроненный с высоты Эйфелевой башни ($H = 300$ м) такой мяч подскочил бы в первый раз на 168 м, во второй — на 94 м и т. д., если не принимать в расчет сопротивления воздуха, которое в этом случае должно быть велико (из-за значительной скорости).

Вторая задача: сколько всего времени мяч, уроненный с высоты $H$, будет подскакивать?

Мы знаем, что

$$H = \frac{gT^2}{2}; \quad h = \frac{gt^2}{2}; \quad h_1 = \frac{gt_1^{\,2}}{2} \quad \text{и т. д.}$$

И следовательно,

$$T = \sqrt{\frac{2H}{g}}; \quad t = \sqrt{\frac{2h}{g}}; \quad t_1 = \sqrt{\frac{2h_1}{g}} \quad \text{и т. д.}$$

Продолжительность подскакивания равна

$$T + 2t + 2t_1 + 2t_2 + \quad \text{и т. д.},$$

т. е.

$$\sqrt{\frac{2H}{g}} + 2\sqrt{\frac{2h}{g}} + 2\sqrt{\frac{2h_1}{g}} + \quad \text{и т. д.}$$

После некоторых преобразований, которые читатель-математик легко проделает самостоятельно, получаем для искомой суммы выражение:

$$\sqrt{\frac{2H}{g}}\left(\frac{2}{1-e} - 1\right).$$

Подставляя $H = 250$ см, $g = 980$ см/с$^2$, $e = 0{,}75$, имеем общую продолжительность подскакивания равной 5 с: мяч будет подскакивать в течение 5 секунд.

Если бы его уронить с высоты Эйфелевой башни, подскакивание длилось бы (при отсутствии сопротивления атмосферы) около минуты, точнее — 54 с, если только мяч уцелеет при ударе.

При падении мяча с высоты нескольких метров скорости не велики, а потому влияние сопротивления воздуха незначительно. Был сделан такой опыт: мяч, коэффициент восстановления которого 0,76, уронили с высоты 250 см. При отсутствии атмосферы он должен был бы подскочить во второй раз на 84 см; в действительности же он подскочил на 83 см; как видим, сопротивление воздуха почти не сказалось.

### На крокетной площадке

Крокетный шар налетает на неподвижный, нанося ему удар, который в механике называется «прямым» и «центральным». Что произойдет с обоими шарами после удара?

Оба крокетных шара имеют равную массу. Если бы они были *вполне неупруги*, то скорости их после удара были бы одинаковы; они равнялись бы половине скорости ударяющего шара. Это вытекает из формулы

$$x = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2},$$

в которой $m_1 = m_2$ и $v_2 = 0$.

Напротив, если бы шары были вполне упруги, то простое вычисление (выполнение которого предоставляем читателю) показало бы, что они *обменялись бы скоростями*: налетевший шар остановился бы после удара на месте, а шар, прежде неподвижный, двигался бы в направлении удара со скоростью ударившего шара. Так и происходит при ударе бильярдных шаров (из слоновой кости).

Но крокетные шары не принадлежат ни к тому, ни к другому роду тел: они *не вполне упруги*. Поэтому результат удара не похож на сейчас указанные. Оба шара продолжают после удара двигаться, но не с одинаковой скоростью: ударивший шар отстает от крокированного. Обратимся за подробностями к формулам удара тел.

Пусть «коэффициент восстановления» (как его определить, читателю известно из предыдущего) равен $e$. В предыдущей статье мы нашли для скоростей $y$ и $z$ обоих шаров после удара следующие выражения:

$$y = (1 + e)\, x - ev_1, \quad z = (1 + e)\, x - ev_2.$$

Здесь, как и в прежних формулах,

$$x = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}.$$

В случае крокетных шаров $m_1 = m_2$ и $v_2 = 0$. Подставив, имеем:

$$x = \frac{v_1}{2}; \quad y = \frac{v_1}{2}(1 - e); \quad z = \frac{v_1}{2}(1 + e).$$

Кроме того, легко убедиться, что

$$y + z = v_1; \quad z - y = ev_1.$$

Теперь мы можем в точности предсказать судьбу ударяющихся крокетных шаров: скорость ударившего шара распределяется между обоими шарами так, что крокированный шар движется быстрее ударившего на долю $e$ первоначальной скорости ударившего шара.

Возьмем пример. Пусть $e = 0{,}75$. В таком случае ударенный шар получит ⅞ первоначальной скорости крокировавшего шара, а этот последний будет двигаться за ним, сохранив только ⅛ первоначальной скорости.

### «От скорости сила»

Под таким заглавием в «Первой книге для чтения» Л. Н. Толстого был помещен следующий рассказ:

«Один раз машина (поезд) ехала очень скоро по железной дороге. А на самой дороге, на переезде, стояла лошадь с тяжелым возом. Мужик гнал лошадь через дорогу, лошадь не могла сдвинуть воза, потому что колесо соскочило. Кондуктор закричал машинисту: „Держи“ — но машинист не послушался. Он смекнул, что мужик не может ни согнать лошадь с телегой, ни своротить ее, и что машину сразу остановить нельзя. Он не стал останавливать, а самым скорым ходом пустил машину и во весь дух налетел на телегу. Мужик отбежал от телеги, а машина, как щепку, сбросила с дороги телегу и лошадь, а сама не тряхнулась, пробежала дальше. Тогда машинист сказал кондуктору: „Теперь мы только убили одну лошадь и сломали телегу; а если бы я тебя послушал, мы сами бы убились и перебили бы всех пассажиров. На скором ходу мы сбросили телегу и не слыхали толчка, а на тихом ходу нас бы выбросило из рельсов“».

Можно ли это происшествие объяснить с точки зрения механики? Мы имеем здесь случай удара не вполне упругих тел, причем тело ударяемое (телега) было до удара неподвижно. Обозначив массу и скорость поезда через $m_1$ и $v_1$, массу и скорость телеги через $m_2$ и $v_2$ $(= 0)$, применяем уже известные нам формулы:

$$y = (1 + e)\,x - ev_1, \quad z = (1 + e)\,x - ev_2,$$

$$x = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}.$$

Разделив в последнем выражении числитель и знаменатель дроби на $m_1$, получим:

$$x = \frac{v_1 + \dfrac{m_2}{m_1} v_2}{1 + \dfrac{m_2}{m_1}}.$$

Но отношение $\dfrac{m_2}{m_1}$ массы телеги к массе поезда ничтожно; приравнивая его нулю, имеем

$$x \approx v_1.$$

Значит, поезд после столкновения будет продолжать путь с прежней скоростью; пассажиры не ощутят никакого толчка (изменения скорости).

А что будет с телегой? Ее скорость после удара, $z = (1 + e)\, x = (1 + e)\, v_1$, превышает скорость поезда на $ev_1$. Чем больше была скорость $v_1$ поезда до удара, тем быстрее будет телега после удара удаляться от мчащегося поезда. Это в данном случае имеет существенное значение; для избежания катастрофы необходимо преодолеть *трение* телеги; при недостаточной энергии удара она могла бы служить серьезной помехой, оставаясь на рельсах.

Итак, разгоняя поезд, машинист поступил правильно: благодаря этому поезд, не претерпев сам сотрясения, устранил телегу со своего пути. Нужно заметить, что рассказ Толстого относился к сравнительно тихоходным поездам его времени.

## Человек-наковальня

Этот цирковой номер производит сильное впечатление даже на подготовленного зрителя. Артист ложится на землю; на грудь его ставят тяжелую наковальню, и двое силачей со всего размаха ударяют по ней увесистыми молотами. Невольно удивляешься, как может живой человек выдерживать без вреда для себя такое сотрясение?

*Законы удара* упругих тел говорят нам, однако, что чем наковальня тяжелее по сравнению с молотом, тем меньшую скорость получает она при ударе, т. е. тем сотрясения менее ощутительны.

Вспомним формулу для скорости ударяемого тела при упругом ударе

$$z = 2x - v_2 = \frac{2(m_1 v_1 + m_2 v_2)}{m_1 + m_2} - v_2 .$$

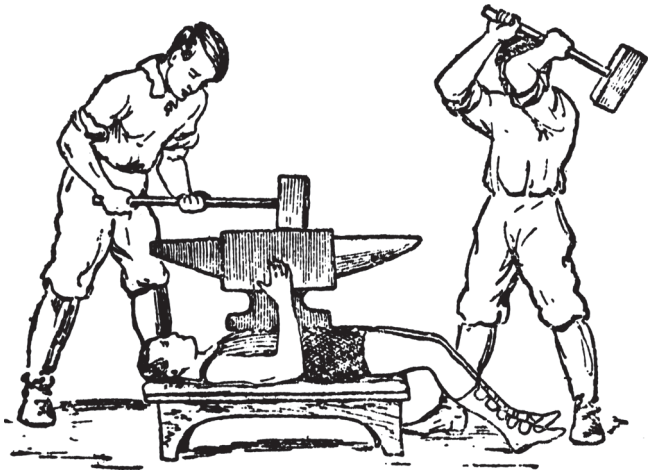


*Рис. 382. Человек-наковальня.*

Здесь $m_1$ — масса молота, $m_2$ — масса наковальни, $v_1$ и $v_2$ — их скорости до удара. Мы знаем прежде всего, что $v_2 = 0$, так как наковальня до удара была неподвижна. Значит, формула наша получает вид:

$$z = \frac{2m_1v_1}{m_1 + m_2} = \frac{2v_1 \times \frac{m_1}{m_2}}{\frac{m_1}{m_2} + 1}$$

(мы разделили числитель и знаменатель на $m_2$). Если масса $m_2$ наковальни весьма значительна по сравнению с массой $m_1$ молота, то дробь $\frac{m_1}{m_2}$ очень мала, и ею можно в знаменателе пренебречь. Тогда скорость наковальни после удара

$$z = 2v_1 \times \frac{m_1}{m_2},$$

т. е. составляет ничтожную часть скорости $v_1$ молота[1].

Для наковальни, которая тяжелее молота, скажем, в 100 раз, скорость в 50 раз меньше скорости молота:

$$z = 2v_1 \times \frac{1}{100} = \frac{1}{50}v_1.$$

Кузнецы хорошо знают из практики, что удар легкого молота не передается в глубину. Теперь понятно, почему артисту, лежащему под наковальней,

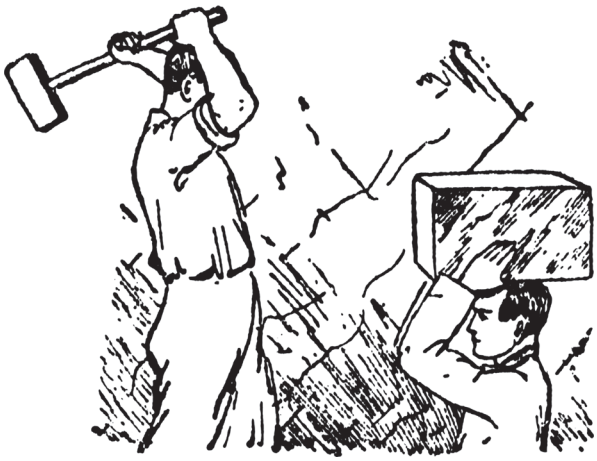


*Рис. 383. Мнимосокрушительный удар по голове.*

[1] Мы приняли и молот и наковальню за тела вполне упругие. Читатель может убедиться подобным же расчетом, что результат мало изменится, если считать оба тела не вполне упругими.

выгоднее, чтобы она была возможно тяжелее. Вся трудность лишь в том, чтобы безнаказанно удерживать на груди такой груз. Это возможно, если основанию наковальни придать такую форму, чтобы оно плотно прилегало к телу на большом пространстве, а не соприкасалось только в нескольких маленьких участках. Тогда вес наковальни распределяется на большую поверхность, и на каждый квадратный сантиметр приходится не столь уж значительная нагрузка. Между основанием наковальни и телом человека помещается мягкая прокладка.

Обманывать публику на весе наковальни артисту нет никакого смысла; но есть расчет обмануть на весе молота; возможно поэтому, что цирковые молоты не так тяжелы, как кажутся. Если молот полый, то сила его удара не становится в глазах зрителя менее сокрушительной, сотрясения же наковальни ослабевают пропорционально уменьшению его массы.

*Рис. 384. Измерение глубины лотом.*

## *ГЛАВА СЕДЬМАЯ*

## КОЕ-ЧТО О ПРОЧНОСТИ

### Для измерения океанских глубин

Средняя глубина океана около 4 км, но в отдельных местах дно лежит ниже раза в два и более. Наибольшая глубина, как уже было указано, 11 км[1]. Чтобы измерить подобную глубину, нужно спустить в него проволоку длиной свыше 10 км. Но такая проволока имеет значительный вес; не разорвется ли она от собственного веса?

Вопрос не праздный; расчет подтверждает его уместность. Возьмем медную проволоку длиной 11 км; обозначим ее диаметр буквой $D$ (в сантиметрах). Объем такой проволоки равен $\frac{1}{4}\pi D^2 \times 1\,100\,000$ см$^3$. А так как 1 см$^3$ меди весит *в воде* круглым числом 8 г, то наша проволока должна представлять собой в воде груз

$$\frac{1}{4}\,\pi D^2 \times 1\,100\,000 \times 8 = 6\,900\,000\,D^2 \text{ г.}$$

[1] См. примечание на с. 495 (*примеч. ред.*).

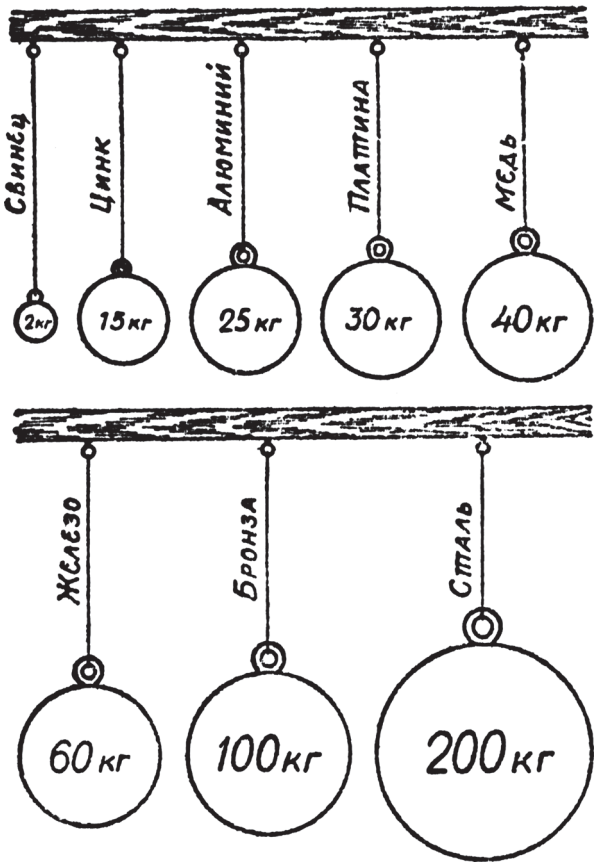



*Рис. 385. Какими грузами разрываются проволоки из разных металлов? (Сечение — 1 мм².)*

При толщине проволоки, например, 3 мм ($D$ = 0,3 см) это составит груз в 620 000 г, т. е. 620 кг. Удержит ли такой толщины проволока груз около ⅗ тонны? Здесь мы должны немного отойти в сторону и посвятить страницу вопросу о силах, разрывающих проволоки и стержни.

Отрасль механики, называемая «сопротивлением материалов», устанавливает, что сила, необходимая для разрыва стержня или проволоки, зависит только от их материала и от величины поперечного сечения[1]. Зависимость от сечения проста: во сколько раз увеличивается площадь сечения, во столько раз возрастает необходимая для разрыва сила. Что же касается материала, то опытом найдено, какая сила нужна для разрыва стержня из данного материала, если сечение стержня 1 мм². В технических справочниках обычно помещается таблица величин этой силы — таблица сопротивления разрыву.

[1] Строго говоря, еще и от способа приложения силы (*примеч. ред.*).

Она представлена наглядно на рис. 385. Рассматривая его, вы видите, что, например, для разрыва свинцовой проволоки (в 1 мм$^2$ сечением) нужна сила в 2 кг, медной — в 40 кг, бронзовой — в 100 кг и т. д.

В технике, однако, никогда не допускают, чтобы стержни и тяжи находились под действием таких усилий. Подобная конструкция была бы ненадежна. Достаточно малейшего, незаметного для глаза изъяна в материале, либо же ничтожной перегрузки вследствие сотрясения или изменения температуры, — и стержни лопаются, тяжи разрываются, сооружение рушится. Необходим «запас прочности», т. е. нужно, чтобы действующие силы составляли только некоторую долю разрывающей нагрузки — четвертую, шестую, восьмую, смотря по материалу и условиям его службы.

Вернемся теперь к начатому расчету. Какая сила достаточна для разрыва медной проволоки, диаметр которой $D$ см? Площадь ее сечения равна $\frac{1}{4}\pi D^2$ см$^2$ или $25\pi D^2$ мм$^2$. Справившись в нашей иллюстрированной табличке, находим, что при сечении 1 мм$^2$ медная проволока разрывается силой 40 кг. Значит, для разрыва нашей проволоки достаточна сила в $40 \times 25\pi D^2 = 1000\,\pi D^2$ кг $= 3140 D^2$ кг.

Сама же проволока весит, как мы уже вычислили, $6900 D^2$ кг — в 2½ раза больше. Вы видите, что медная проволока не годится для измерения океанских глубин, даже если и не брать для нее никакого запаса прочности: при длине 5 км она разрывается от собственного веса.

### Самые длинные отвесы

Вообще для всякой проволоки имеется такая предельная длина, при которой она разрывается от собственного веса. Отвес не может быть как угодно длинен: существует длина, которую он не может превосходить. Увеличение толщины проволоки здесь не поможет: с удвоением диаметра проволока может выдержать в 4 раза больший груз, но и вес ее возрастет в 4 раза. Предельная длина зависит не от толщины проволоки (толщина безразлична), а от материала: для железа она одна, для меди другая, для свинца — третья. Вычисление этой предельной длины весьма несложно; после расчета, выполненного в предыдущей статье, читатель поймет его без длинных пояснений. Если площадь поперечного сечения проволоки $s$ см$^2$, длина $L$ км, а вес 1 см$^3$ ее вещества $\rho$ г, то вся проволока весит $100\,000 sL\rho$ г; выдержать же нагрузку она может в $1000Q \times 100s = 100\,000Qs$ г, где $Q$ — разрывающая нагрузка на 1 мм$^2$ (в килограммах). Значит, в предельном случае

$$100\,000Qs = 100\,000sL\rho,$$

откуда предельная длина в километрах

$$L = \frac{Q}{\rho}.$$

По этой простой формуле легко вычислить предельную длину для проволоки или нити из любого материала. Для меди мы нашли раньше предельную длину *в воде*; вне воды она еще меньше и равна $\frac{Q}{\rho}=\frac{40}{9} \approx 4{,}4$ км.

А вот предельная длина для проволок из некоторых других материалов:

для свинца . . . . . 200 м
» цинка . . . . . 2,1 км
» железа . . . . . 7,5 »
» стали . . . . . 25 »

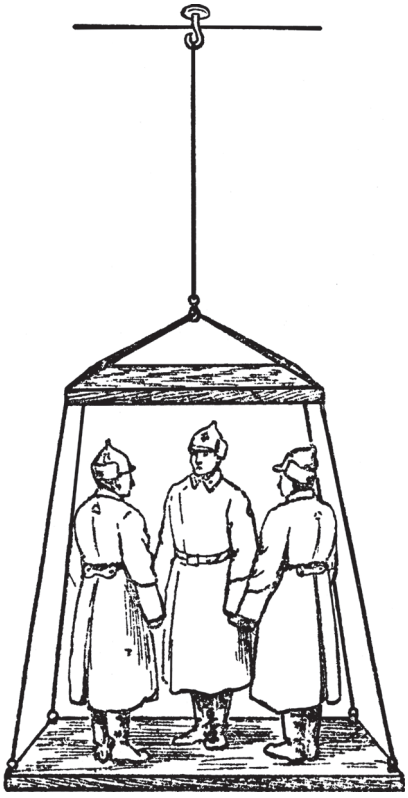


*Рис. 386. Проволока из хромоникелевой стали выдерживает нагрузку 200 кг на мм².*

Но технически нельзя пользоваться отвесами такой длины; это значило бы напрягать их до недопустимой степени. Необходимо нагружать их лишь до известной части разрывающей нагрузки: для железа и стали, например, до ¼. Значит, технически можно пользоваться железным отвесом не длиннее 2 км, а стальным — не длиннее 6¼ км.

В случае погружения отвесов в воду, крайняя длина их — для железа и стали — может быть увеличена на ⅛ долю. Но и этого недостаточно для достижения дна океана в самых глубоких местах. Чтобы делать подобные промеры, приходится пользоваться особо прочными сортами стали[1].

### Самый крепкий материал

К числу материалов, самых прочных на разрыв, принадлежит хромоникелевая сталь: чтобы разорвать проволоку из такой стали в 1 мм² сечением, надо приложить силу в 250 кг.

Вы лучше поймете, что это значит, если взглянете на прилагаемый рис. 386: тонкая стальная проволока (ее диаметр чуть больше 1 мм) удерживает площадку с тремя взрослыми мужчинами! Из такой стали и изготовляется лот-линь океанского глубомера.

[1] В последнее время для измерения морских глубин обходятся совсем без проволочного лота: пользуются отражением звука от дна водоема. («Эхолот».) См. об этом в «Занимательной физике» Я. И. Перельмана, кн. 1-я, гл. X, с. 216.

*Рис. 387. Усовершенствованный глубомер для больших океанских глубин.*

Так как 1 см$^3$ стали весит в воде 7 г, а допускаемая нагрузка на 1 мм$^2$ составляет в этом случае $\frac{250}{4} = 62$ кг, то крайняя («критическая») длина отвеса из этой стали равна

$$L = \frac{62}{7} = 8{,}8 \text{ км}.$$

Но глубочайшее место океана лежит еще ниже. Приходится поэтому брать меньший запас прочности и, следовательно, очень осторожно обращаться с лот-линем, чтобы достичь самых глубоких мест океанского дна.

Те же затруднения возникают и при зондировании воздушного океана при помощи змеев с самопишущими приборами. В обсерватории под Берлином запускают змея на 9 км, причем проволоке приходится выдерживать натяжение не только от собственного веса, но и от давления ветра на нее и на змей (размеры змея 2 × 2 м).

### Что крепче волоса?

С первого взгляда кажется, что человеческий волос может поспорить в крепости разве лишь с паутинной ниткой. Это не так; волос крепче иного металла! В самом деле, человеческий волос выдерживает груз до 100 г — при ничтожной толщине в 0,05 мм. Рассчитаем, сколько это составляет на 1 мм$^2$. Кружок, поперечник которого 0,05 мм, имеет площадь

$$¼ \times 3{,}14 \times 0{,}05^2 \approx 0{,}002 \text{ мм}^2,$$

т. е. ⅕₀₀ мм$^2$. Значит, груз в 100 г приходится на площадь в 500-ю долю мм$^2$; на 1 мм$^2$ придется 50 000 г, или 50 кг. Бросив взгляд на нарисованную табличку прочности (рис. 385), вы убедитесь, что человеческий волос по крепости должен быть поставлен между медью и железом...

Итак, волос крепче свинца, цинка, алюминия, платины, меди и уступает только железу, бронзе и стали!

Недаром — если верить автору романа «Саламбо»[1] — древние карфагеняне считали женские косы лучшим материалом для тяжей своих метательных машин.

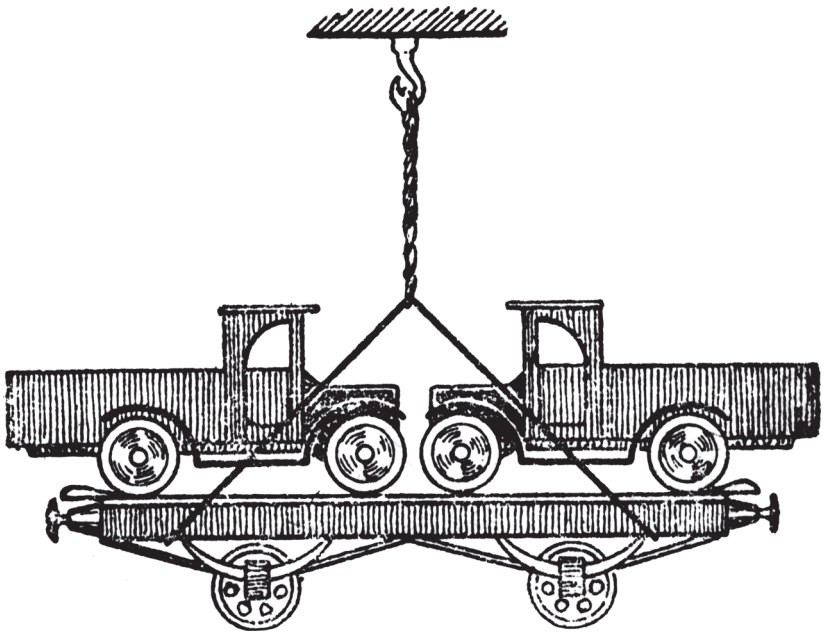


*Рис. 388. Какой груз может выдержать женская коса?*

[1] Исторический роман Гюстава Флобера, действие которого происходит в Карфагене во время восстания наемников приблизительно в 240 г. до н. э. (*примеч. ред.*).

Вас не должен поэтому удивлять рис. 388, изображающий железнодорожную платформу и два грузовых автомобиля, подвешенные на женской косе: легко подсчитать, что коса из 200 000 волос может удержать груз в 20 тонн.

### Почему велосипедная рама делается из трубок?

Какое преимущество в прочности имеет трубка перед сплошным стержнем, если кольцевое сечение трубки равно по площади сечению стержня? Никакого, — пока речь идет о сопротивлении *разрыву* или *сжатию*: трубка и стержень разрываются и раздробляются одинаковой силой. Но в случае сопротивления *изгибающим* усилиям разница между ними огромная: согнуть стержень значительно легче, чем согнуть трубку с равной площадью кольцевого сечения.

Об этом писал в красноречивых выражениях еще Галилей, основатель науки о прочности. Читатель не упрекнет меня в излишнем пристрастии к замечательному ученому, если я еще раз приведу цитату из его сочинений:

«Мне хотелось бы, — писал он в своих «Беседах и математических доказательствах, касающихся двух новых отраслей науки», — прибавить несколько замечаний относительно сопротивления твердых тел, полых или пустых внутри, которыми как мастерство (техника), так и природа пользуются на тысячи ладов. В них без возрастания веса достигается возрастание прочности в весьма большой степени, как легко можно видеть на костях птиц и на тростнике, которые при большой легкости отличаются и большой сопротивляемостью изгибу и излому. Если бы соломинка, несущая колос, превышающий по весу весь стебель, была при том же количестве вещества сплошной и массивной, то она была бы значительно менее прочной на изгиб и на излом. Было замечено на деле и подтверждено опытом, что палка, пустая внутри, а также деревянная и металлическая трубы крепче, чем массивное тело той же длины и равного веса, которое неизбежно является более тонким. Мастерство нашло применение этому наблюдению при изготовлении копий, делаемых пустыми внутри для достижения прочности и вместе с тем легкости».

Мы поймем, почему это так, если рассмотрим поближе напряжения, какие возникают в брусе при сгибании. Пусть в середине стержня *AB* (рис. 389),

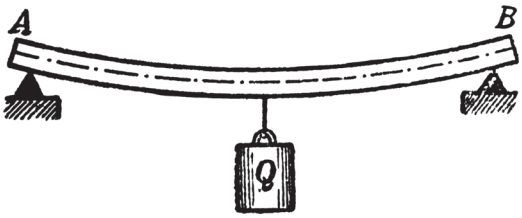



*Рис. 389. Прогиб бруса.*

подпертого на концах, действует груз *Q*. Под влиянием груза стержень прогибается вниз. Что при этом происходит? Верхние слои бруса сжимаются; нижние, напротив, растягиваются, а некоторый средний слой («нейтральный») не будет ни сжиматься, ни растягиваться. В растянутой части бруса возникают упругие силы, противодействующие *растяжению*; в сжатой — силы, сопротивляющиеся *сжатию*. Те и другие стремятся выпрямить брус, и это сопротивление изгибу растет по мере прогибания бруса (если не превзойден так называемый «предел упругости»), пока не достигнут такого напряжения, которого груз *Q* преодолеть не может: сгибание останавливается.

Вы видите, что наибольшее противодействие сгибанию оказывают в этом случае самый верхний и самый нижний слои бруса: средние части тем меньше участвуют в этом, чем ближе они к нейтральному слою. Сделать из этого вывод предоставим специалисту:

«Так как материал, прилегающий к нейтральной оси, слабо участвует в сопротивлении изгибу, то выгодно сосредоточить больше материала у поверхности, удалив его из средней части. Такое целесообразное распределение материала осуществлено в железных балках (рис. 390 и 391). На том же основании при равной площади кольцевое сечение выгоднее сплошного». (О. А. Ривош, «Сопротивление материалов».)

Теперь преимущество трубок перед сплошным стержнем понятно читателю. Добавлю числовой пример. Пусть имеются две круглые балки одинаковой длины, сплошная и трубчатая, причем площадь кольцевого сечения трубчатой балки та же, что и у сплошной. Вес обеих балок, конечно, одинаков. Но разница в сопротивлении изгибу огромная: расчет показывает, что трубчатая балка[1] прочнее (на изгиб) на 112%, т. е. более чем вдвое.

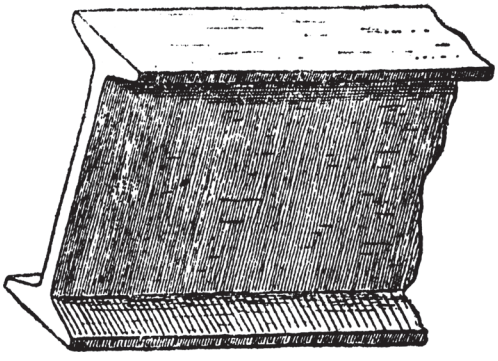


*Рис. 390. Двутавровая балка.*

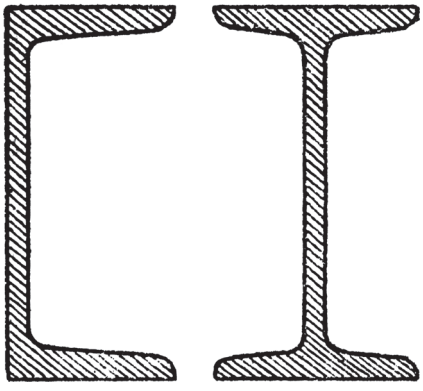


*Рис. 391. Профиль двутавровой и коробчатой балок.*

[1] В случае, когда диаметр просвета равен диаметру сплошной балки.

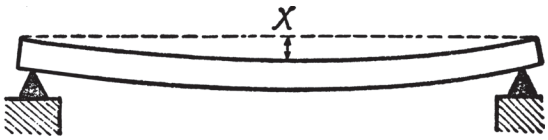



*Рис. 392. Стрела (x) прогиба.*

## Притча о семи прутьях

«Товарищи, вспомните веник: раздергай — и весь по прутику ломай, а свяжи, попробуй-ка переломить?»

*Серафимович («Среди ночи»).*

Всем известна старинная притча о семи прутьях. Чтобы убедить сыновей жить дружно, отец предложил им переломить пучок из семи прутьев. Сыновья пытались это сделать, но безуспешно. Тогда отец, взяв у них пучок, развязал его и легко переломил каждый прут в отдельности. Смысл притчи станет для нас вполне ясен только тогда, когда рассмотрим ее с точки зрения механики, именно — учения о прочности.

Величина *изгиба* стержня измеряется в механике так называемой «стрелой прогиба» $x$ (рис. 392). Чем стрела прогиба в данном брусе больше, тем ближе момент излома. Величина же стрелы прогиба выражается следующей формулой:

$$\text{стрела прогиба } x = \frac{1}{12} \times \frac{Pl^3}{\pi k r^4},$$

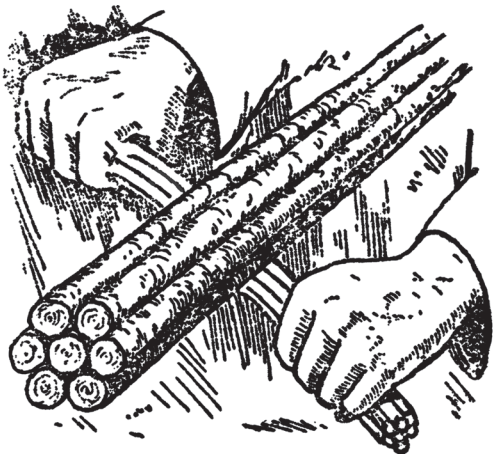


*Рис. 393. К задаче о семи прутьях.*

в которой: $P$ — сила, действующая на стержень; $l$ — длина стержня; $\pi = 3{,}14...$; $k$ — число, характеризующее упругие свойства материала стержня; $r$ — радиус круглого стержня.

Применим формулу к пучку прутьев. Семь его прутьев располагались, вероятнее всего, так, как показано на рис. 393, где изображено сечение пучка. Рассматривать подобный пучок как сплошной стержень (для чего он должен быть крепко перевязан) можно только с приближением. Но мы здесь и не ищем строго точного решения. Диаметр связанного пучка, как легко видеть из рисунка, раза в три больше диаметра отдельного прута. Покажем, что согнуть (а значит — и сломать) отдельный прут во много раз легче, чем переломить весь пучок. Если в обоих случаях хотят получить одинаковую стрелу прогиба, то для прута надо затратить силу $p$, а для всего пучка — силу $P$. Соотношение между $p$ и $P$ вытекает из уравнения

$$\frac{1}{12}\times\frac{pl^3}{\pi k r^4}=\frac{1}{12}\times\frac{Pl^3}{\pi k(3r)^4},$$

откуда

$$p=\frac{P}{81}.$$

Мы видим, что отцу пришлось прилагать, хотя и семикратно, зато в 80 раз меньшую силу, чем сыновьям.

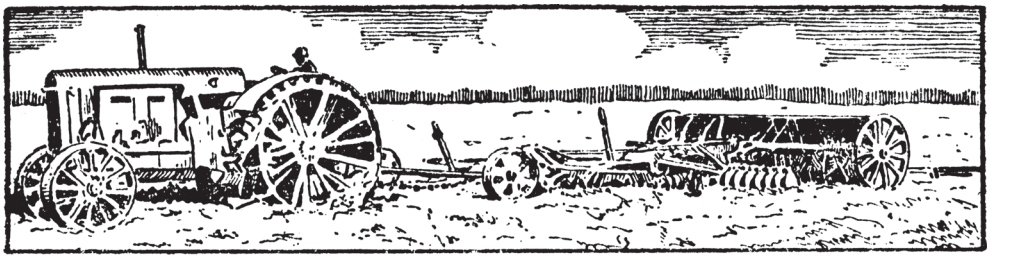


*Рис. 394. Трактор-водитель за работой.*

## *ГЛАВА ВОСЬМАЯ*

# РАБОТА, МОЩНОСТЬ, ЭНЕРГИЯ

### Чего многие не знают об единице работы

— Что такое килограммометр?

— Работа поднятия одного килограмма на высоту одного метра, — отвечают обычно[1].

Такое определение единицы работы многие считают исчерпывающим, особенно если прибавить к нему, что поднятие происходит на земной поверхности. Если и вы удовлетворяетесь приведенным определением, то вам полезно будет разобраться в следующей задаче, лет тридцать назад предложенной знаменитым физиком проф. О. Д. Хвольсоном[2] в одном математическом журнале.

«Из вертикально поставленной пушки длиною 1 м вылетает ядро весом 1 кг. Пороховые газы действуют всего на расстоянии 1 м. Так как на всем остальном пути ядра давление газов равно нулю, то они, следовательно, подняли 1 кг на высоту одного метра, т. е. совершили работу всего в 1 килограммометр. Неужели их работа столь мала?»

---

[1] См. текст и примечание на с. 490 (*примеч. ред.*).

[2] *Хвольсон Орест Данилович* (1852–1934) — российский и советский физик, педагог, изобретатель, автор пятитомного «Курса физики», а также научных работ по магнетизму, теплопроводности, диффузии света и др. Именно О. Д. Хвольсон вдохновил Я. П. на его многолетнюю писательскую деятельность: в 1913 г., ознакомившись с книгой «Занимательная физика», он написал Я. П. в письме: «Лесоводов-ученых у нас предостаточно, а вот людей, которые умели бы так писать о физике, как пишете Вы, нет вовсе. Мой Вам настоятельнейший совет: продолжайте, обязательно продолжайте писать подобные книги и впредь» (*примеч. ред.*).

Будь это так, можно было бы обходиться без пороха, метая ядра силой человеческих рук. Очевидно, при подобном расчете делается грубая ошибка.

Какая?

Ошибка та, что, учитывая выполненную работу, мы приняли во внимание лишь небольшую ее долю и пренебрегли самой главной частью. Мы не учли того, что в конце своего пути по каналу пушки снаряд обладает *скоростью*, которой у него не было до выстрела. Работа пороховых газов состояла, значит, не в одном лишь поднятии ядра на высоту 1 м, но и в сообщении ему значительной скорости. Эту неучтенную долю работы легко определить, зная скорость ядра. Если она равна 600 м/с, т. е. 60 000 см/с, то при массе ядра 1 кг (1000 г) кинетическая его энергия составляет:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{1000 \times 60\,000^2}{2} = 18 \times 10^{11} \text{ эргов.}$$

Эрг — это диносантиметр (работа дины на пути в 1 см). Так как 1 килограммометр содержит $1\,000\,000 \times 100 = 10^8$ диносантиметров, то запас энергии движения ядра равен:

$$18 \times 10^{11} : 10^8 = 18\,000 \text{ кгм.}$$

Вот какая значительная часть работы осталась неучтенной только из-за неточности определения килограммометра!

Теперь становится очевидным, как надо это определение пополнить:

*килограммометр есть работа поднятия на земной поверхности первоначально неподвижного груза в 1 кг на высоту 1 м, при условии, что в конце поднятия скорость груза равна нулю.*

### Как произвести килограммометр работы?

Никаких трудностей, казалось бы, тут нет: взять гирю в 1 кг и поднять на 1 м. Однако с какой силой надо поднимать гирю? Силой в 1 кг ее не поднять. Нужна сила *больше* килограмма: избыток этой силы над весом гири и явится движущим усилием. Но *непрерывно* действующая сила должна сообщить поднимаемому грузу *ускорение*; поэтому гиря наша к концу поднятия будет обладать некоторой скоростью, не равной нулю, — а это значит, что выполнена работа не в 1 килограммометр, а *больше*.

Как же поступить, чтобы поднятием килограммовой гири на 1 м выполнить *ровно* килограммометр работы? Придется поднимать гирю очень обдуманно. В начале поднятия надо давить на гирю снизу с силой больше 1 кг. Сообщив этим гире некоторую скорость по направлению вверх, следует прекратить давление руки на гирю и предоставить ей двигаться по инерции. При этом момент, когда рука прекращает давление на гирю, нужно выбрать так, чтобы, двигаясь далее по инерции, гиря закончила свой путь в 1 метр в тот момент, когда скорость ее сделается равной нулю.

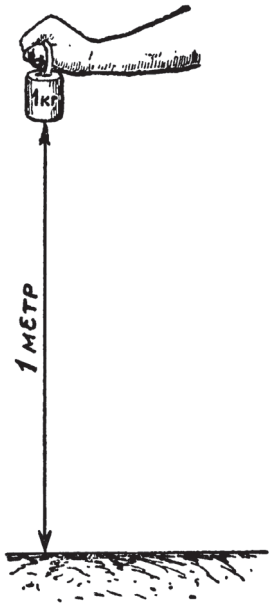



*Рис. 395. Как выполнить работу ровно в 1 килограммометр?*

Можно поступить и иначе: надо на протяжении остатка пути задерживать рукой движение гири, чтобы свести к нулю накопленную ею скорость. Действуя таким образом, т. е. прилагая к гире не *постоянную* силу в 1 кг, а переменную, меняющуюся от величины большей 1 кг до нуля, а под конец становящуюся отрицательной, — можем мы совершить работу ровно в 1 кгм.

### Как не надо вычислять работу

Сейчас мы видели, как сложно выполнить килограммометр работы поднятием 1 кг на 1 м. Лучше поэтому вовсе не пользоваться этим обманчиво простым, в действительности же очень запутывающим определением килограммометра.

Гораздо удобнее другое определение, не порождающее никаких недоразумений: *килограммометр есть работа силы в 1 кг на пути в 1 м, если направление силы совпадает с направлением пути*[1].

Последнее условие — совпадение направлений — совершенно необходимо. Если им пренебречь, расчет работы может привести к чудовищным ошибкам, — вроде тех, какие мы находим в книге небезызвестного писателя-педагога[2], взявшегося за решение механических задач без надлежащей подготовки. На одном из приведенных у него упражнений поучительно остановиться подольше.

---

[1] Один из читателей возразил мне, что ведь и в таком случае тело может обладать в конечной точке пути некоторой скоростью, которую надо учесть. Отсюда он поспешно заключает, что сила в 1 кг совершает на пути 1 м работу *бóльшую*, чем 1 кгм. Совершенно верно, что в конечной точке пути тело будет обладать некоторой скоростью. Но работа силы в том и состоит, что она сообщает телу определенную скорость, дает ему известный запас кинетической энергии, а именно 1 кгм. Если бы этого не было, нарушился бы закон сохранения энергии: получилось бы меньше энергии, чем было затрачено.

Другое дело — в случае вертикального поднятия тела: при подъеме 1 кг на высоту 1 м потенциальная энергия возрастает на 1 кгм и, сверх того, тело приобретает еще некоторую кинетическую энергию: получается как бы больше энергии, чем было израсходовано.

[2] П. Блонского в книге «Азбука труда».

[*Блонский Павел Петрович* (1884—1941) — российский и советский философ, педагог и психолог, один из основоположников отечественной педологии (*примеч. ред.*).]

«Автомобиль весом 850 кг едет со скоростью 2 км в минуту. Какова его мощность?»

Мощность — это работа, выполняемая в каждую секунду. Как же вычисляет ее наш автор? Вот его решение:

$$\frac{850\times 2}{60}.$$

Оно заключает в себе следующие ошибки. Прежде всего, автор упустил из виду, что направление веса автомобиля не совпадает с направлением его движения, и сделал расчет работы так, словно автомобиль поднимается отвесно к небу. Затем, число килограммов умножено не на число *метров* пути, а на число *километров*; результат получается, следовательно, не в килограммометрах, а «килограммокилометрах».

В сущности, по одним тем данным, которые приведены в задаче, даже и нельзя вычислить мощности автомобиля. Необходимо знать силу, увлекающую автомобиль в движение. Она равна сопротивлению, испытываемому им при движении, потому что (на горизонтальной дороге) только это сопротивление и приходится преодолевать движущей силе. Если сопротивление для автомобиля на шоссе составляет 2% его веса, то для силы, увлекающей автомобиль в движение, получим:

$$850 \times 0{,}02.$$

Умножив эту силу на длину пути, проходимого в 1 с (т. е. на $\frac{2000}{60}$ м), получим искомую секундную работу

$$\frac{850\times 0{,}02\times 2000}{60} \approx 566 \text{ кгм}.$$

Это в 20 раз больше числа, указанного нашим автором. Принято выражать мощность не числом килограммометров в секунду, а в более крупных единицах, — в так называемых «паровых лошадях». Паровая лошадь[1] равна 75 кгм в секунду. Значит, мощность нашего автомобиля равна

$$566 : 75 \approx 7{,}54 \text{ л. с.}$$

---

[1] Часто говорят также «лошадиная сила». От этого устаревшего термина следовало бы совершенно отказаться: лошадиная сила — *не сила, а мощность*, и притом не одной, а примерно полутора *живых* лошадей.

[Ныне в нашей стране лошадиная сила как внесистемная единица формально вышла из употребления и применяется лишь в технике (например, при исчислении мощности автомобилей, при расчете транспортного налога и т. п.). Метрическая лошадиная сила точно равна 735,49875 ваттам (*примеч. ред.*).]

### Тяга трактора

Задача

Мощность трактора «Фордзон» «на крюке» — 10 л. с. Вычислить силу его тяги при каждой из скоростей, если

первая скорость . . . . . 2,45 км/ч
вторая » . . . . . 4,52 »
третья » . . . . . 11,32 »

Решение

Так как мощность (в кгм в с) есть секундная работа, т. е. в данном случае произведение силы тяги (в кг) на секундное перемещение (в м), то составляем для «первой» скорости «Фордзона» уравнение

$$75 \times 10 = x \times \frac{2,45 \times 1000}{3600},$$

где $x$ — сила тяги трактора. Решив уравнение, узнаем, что $x$ = около 1000 кг.

Таким же образом находим, что тяга при «второй» скорости равна 540 кг, при «третьей» 220 кг.

Вопреки механике «здравого смысла» тяга оказывается тем больше, чем скорость движения меньше.

### Живые и механические двигатели

Может ли человек проявить мощность в целую лошадиную силу? Другими словами, может ли он выполнить в секунду 75 кгм работы?

Считается, — и вполне правильно, — что мощность человека при нормальных условиях работы составляет около десятой доли лошадиной силы, т. е. равна 7–8 кгм/с. Однако в исключительных условиях человек на *короткое время* проявляет значительно бóльшую мощность. Взбегая поспешно по лестнице, мы совершаем работу больше 8 кгм/с. Если мы ежесекундно поднимаем свое тело на 6 ступеней, то при весе 70 кг и высоте одной ступени 17 см мы производим работу

$70 \times 6 \times 0,17 = 71$ кгм,

т. е. почти в 1 лошадиную силу и, значит, превосходим живую лошадь по мощности раза в 1½. Но, конечно, так напряженно работать мы можем всего несколько минут, а затем должны отдыхать. Если учесть эти промежутки бездействия, то в среднем работа наша не будет превосходить 0,1 лошадиной силы.

Недавно в Англии во время состязаний в беге на короткой дистанции (100 ярдов, т. е. 90 м) отмечен случай, когда бегун развил мощность в 550 кгм, т. е. в 7,4 лошадиной силы!

*Рис. 396. Когда человек развивает мощность в 1 лошадиную силу?*

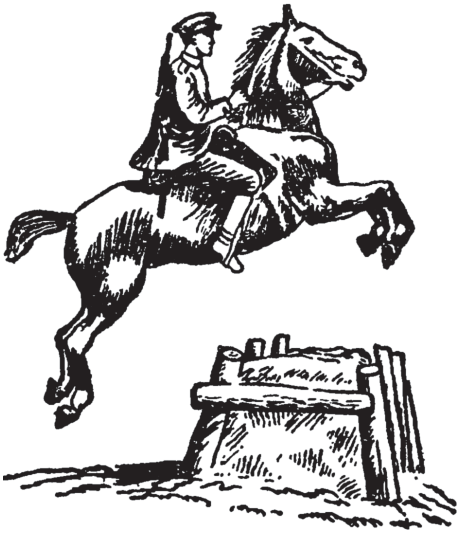


*Рис. 397. Когда живая лошадь развивает мощность в 7 лошадиных сил?*

Живая лошадь также может доводить свою мощность до десятикратной и более величины. Совершая, например, в 1 секунду прыжок на высоту 1 м, лошадь весом 500 кг выполняет работу в 500 кгм (рис. 397), а это отвечает мощности

$$500 : 75 = 6{,}7 \text{ л. с.}$$

Не забудем, что мощность в одну лошадиную силу больше средней мощности живой лошади раза в полтора, так что в рассмотренном случае мы имеем более чем 10-кратное возрастание мощности.

При сельскохозяйственных работах принимается, что и человек и лошадь могут работать с перегрузкой в 200%, т. е. развивать тройную мощность по сравнению с нормальной. Эта способность живых двигателей кратковременно повышать свою мощность в несколько раз дает им большое преимущество перед двигателями механическими. На хорошем, ровном шоссе автомобиль в 10 лошадиных сил безусловно предпочтительнее повозки, запряженной двумя живыми лошадьми. Но на песчаной дороге такой автомобиль будет беспомощно увязать, между тем как пара лошадей, способных при нужде развивать мощность в 15 и более лошадиных сил, благополучно справляется с препятствиями пути.

«С некоторых точек зрения, — говорит по этому поводу физик Содди[1], — лошадь необычайно полезная машина.

[1] *Содди Фредерик* (1877–1956) — английский физик и химик, один из пионеров радиоактивности, автор трудов по атомной и ядерной физике, химии изотопов, математике, механике и др.; лауреат Нобелевской премии по химии 1921 г. (*примеч. ред.*).

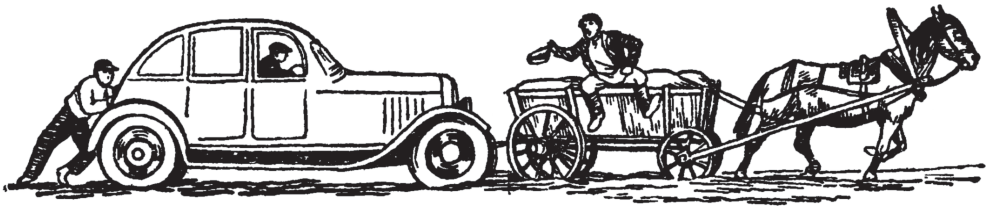


*Рис. 398. Когда живой двигатель имеет преимущество перед машиной?*

Каков ее эффект, мы и не представляли себе, пока не явились автомобили, и вместо двух лошадей, обычно запрягаемых в экипаж, оказалось необходимым запрягать не меньше 12 или 15, иначе автомобиль останавливался бы у каждого пригорка».

### Сто зайцев и один слон

Сопоставляя живые и механические двигатели, необходимо, однако, иметь в виду и другое важное обстоятельство. Усилия нескольких лошадей не соединяются вместе по правилам арифметического сложения. Две лошади тянут с силой, которая меньше двойной силы одной лошади, три лошади — с силой, меньшей тройной силы одной лошади, и т. д. Происходит это оттого, что несколько лошадей, запряженных вместе, не согласуют своих усилий и отчасти мешают одна другой. Практика показала, что мощность лошадей при различном числе их в упряжке такова:

| Число лошадей в упряжке | Мощность каждой | Общая мощность |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 |
| 2 | 0,92 | 1,9 |
| 3 | 0,85 | 2,6 |
| 4 | 0,77 | 3,1 |
| 5 | 0,7 | 3,5 |
| 6 | 0,62 | 3,7 |
| 7 | 0,55 | 3,8 |
| 8 | 0,47 | 3,8 |

Итак, 5 совместно работающих лошадей дают не 5-кратную тягу, а лишь 3½-кратную; 8 лошадей развивают усилие, лишь в 3,8 раза превышающее

усилие одной лошади, а дальнейшее увеличение числа совместно работающих лошадей дает еще худшие результаты.

Отсюда следует, что тягу, например, трактора в 10 лошадиных сил практически нельзя заменить тягой 15 живых рабочих лошадей.

Никакое вообще число живых лошадей не может заменить одного трактора, даже столь сравнительно малосильного, как «Фордзон».

У французов есть поговорка: «сто зайцев не делают одного слона». Не с меньшим правом можем мы сказать, что «сто лошадей не заменят одного трактора».

### Машинные рабы человечества

Окруженные со всех сторон механическими двигателями, мы не всегда отдаем себе ясный отчет в могуществе этих наших «машинных рабов», как метко назвал их В. И. Ленин. Что всего более отличает механический двигатель от живого — это сосредоточенность огромной мощности в небольшом объеме. Самая мощная «машина», какую знал древний мир, — сильная лошадь или слон. Увеличение мощности достигалось в те времена лишь увеличением числа животных. Но соединить работоспособность многих лошадей в одной — задача, разрешенная лишь техникой нового времени.

Сто лет назад[1] самой мощной машиной был паровой двигатель в 20 лошадиных сил, весивший 2 тонны. На 1 лошадиную силу приходилось 100 кг веса машины. Отождествим для простоты работоспособность живой лошади с мощностью в одну лошадиную силу (хотя в действительности эта единица мощности превосходит в 1½ раза работоспособность живой лошади). Тогда будем иметь в живой лошади 1 лошадиную силу на 500 кг веса (средний вес лошади), в механическом же двигателе — 1 лошадиную силу на 100 кг веса.

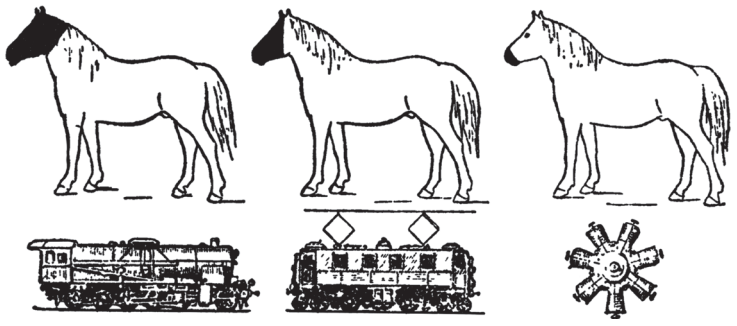


*Рис. 399. Зачерненная часть контура лошади наглядно показывает, на какую долю веса приходится 1 лошадиная сила в разных механических двигателях.*

[1] Напоминаем, что текст написан в 1930 г. (*примеч. ред.*).

Паровая машина словно соединила мощность пяти лошадей в одном организме.

Лучшее соотношение мощности и веса мы имеем в современном 2000-сильном паровозе, весящем 100 тонн. А в электровозе мощностью 4500 сил, при весе 120 тонн, мы имеем уже одну лошадиную силу на 27 кг веса.

Огромный прогресс в этом отношении представляют авиационные двигатели. Двигатель в 550 л. с. весит всего 500 кг: здесь одна паровая лошадь приходится, круглым счетом, на 1 кг веса[1]. На рис. 399 эти соотношения представлены наглядным образом: зачерненная часть контура лошади показывает, на какой вес приходится 1 лошадиная сила в соответствующем механическом двигателе.

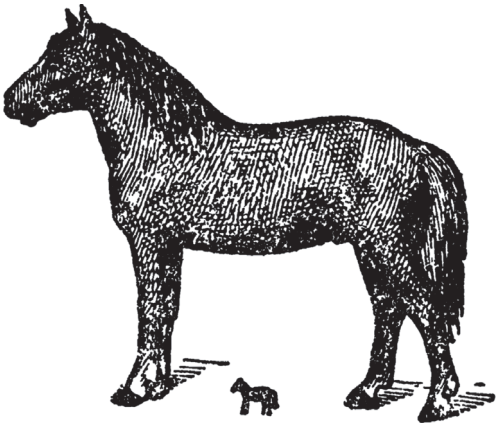


*Рис. 400. Соотношение весов авиамотора и живой лошади при равных мощностях.*

Еще красноречивее рис. 400: здесь маленькая и большая лошади изображают, какой ничтожный вес стальных мускулов соперничает с огромной массой мышц живых.

Наконец, рис. 401 дает наглядное представление об абсолютной мощности небольшого авиационного двигателя: 162 лошадиных силы при объеме цилиндра всего 2 л.

Последнее слово в этом состязании еще не сказано современной техникой[2]. Мы не извлекаем из топлива всей той механической энергии, которая в него вложена. Уясним себе, какой запас работы скрывает в себе одна калория теплоты, — количество, затрачиваемое для нагревания литра воды на 1 градус. Превращенная в механическую энергию полностью — на 100% — она доставила бы нам 427 кгм работы, т. е. могла бы, например, поднять груз в 427 кг

[1] В некоторых современных авиамоторах вес спускается до ½ кг на 1 л. с. и даже еще ниже.

[2] В данный момент первенство должно быть признано за бензиново-кислородным ракетным двигателем, изготовленным в Берлине инженерами германского «Союза звездоплавания»: при весе 250 г мотор развивает 1380 индикаторных паровых лошадей, т. е. 1 л. с. на 5,5 г.

[«Союз звездоплавания» («Общество межпланетных сообщений») был организован 7 июля 1927 г. в Бреславле; его участниками было проведено немало успешных опытов применения ракет к движению автомобиля, саней и аэропланов. Одним из членов Союза был и Вернер фон Браун (1912–1977), один из основоположников современного ракетостроения, создатель первых баллистических ракет.

Современные ракетные двигатели способны развивать мощность в сотни тысяч лошадиных сил — правда, в течение небольшого промежутка времени (*примеч. ред.*).]

*Рис. 401. Авиамотор с цилиндром емкостью 2 л обладает мощностью 162 лошадей.*

на высоту одного метра (рис. 403). Полезное же действие современных тепловых двигателей исчисляется только 10–30%: из каждой калории, пылающей в топке, они извлекают около сотни килограммометров вместо теоретических 427.

Какой же из всех источников механической энергии, созданных человеческой изобретательностью, является особенно мощным? Огнестрельное оружие.

Современное ружье при весе около 4 кг (из которых на действующие части оружия приходится примерно лишь половина) развивает при выстреле 400 кгм работы. Это кажется не особенно значительным, но не забудем, что пуля находится под действием пороховых газов только тот ничтожный промежуток времени, пока она скользит по каналу ружья, — т. е. примерно

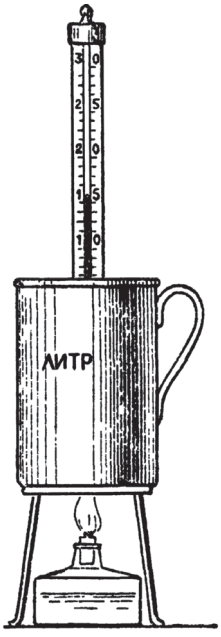



*Рис. 402. Калория есть количество тепла, нагревающее литр воды на 1°С.*

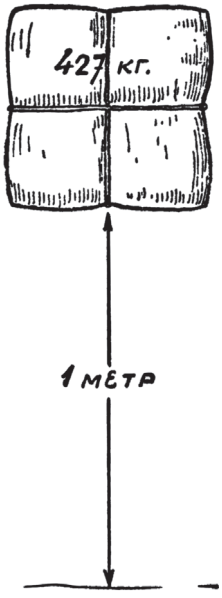



*Рис. 403. Калория, превращенная в механическую работу, может поднять 427 кг на 1 м.*

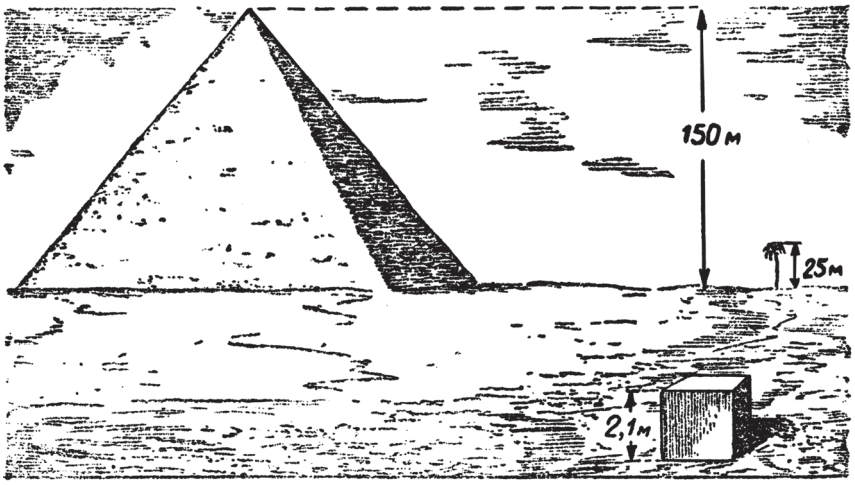



*Рис. 404. Энергия снаряда крепостного орудия достаточна для поднятия 75 тонн на верхушку самой высокой пирамиды.*

800-ю долю секунды. Так как мощность двигателей измеряется количеством работы, выполняемой в 1 с, то, отнеся работу пороховых газов к полной секунде, получим для мощности ружейного выстрела огромное число 400 × 800 = = 320 000 кгм/с, или 4300 л. с. Наконец, разделив эту мощность на вес действующих частей ружейной конструкции (2 кг), узнаем, что одна лошадиная сила приходится здесь на ничтожный вес механизма — в полграмма!

Представьте себе миниатюрную лошадь в полграмма весом: этот пигмей размером с жука соперничает в мощности с настоящей лошадью!

*Рис. 405. Теплота, соответствующая энергии снаряда крупного морского орудия, достаточна для растопления 36 тонн льда.*

Если же брать не относительные числа, а поставить вопрос об абсолютной мощности, то все рекорды побивает артиллерийское орудие. Американская пушка бросает ядра в 900 кг со скоростью 500 м/с, развивая в 100-ю долю секунды около 11 миллионов килограммометров работы. Рис. 404 дает наглядное представление об этой чудовищной работе: она равнозначаща работе поднятия груза в 75 тонн (75-тонного паровоза) на вершину пирамиды Хеопса (150 м). Работа эта развивается в 0,01 долю секунды; следовательно, мы имеем здесь дело с секундной мощностью в 1100 миллионов кгм или с 15 миллионами лошадиных сил. Столько живых лошадей с трудом наберется во всем СССР!

Показателен также и рис. 405, иллюстрирующий энергию крупного морского орудия.

### Отвешивание «с походом»

В прежнее время иные продавцы отвешивали товар так: последнюю порцию, необходимую для равновесия, не клали на чашку, а роняли с некоторой высоты. Коромысло весов качалось, явно склоняясь в сторону товара и радуя глаз покупателя картиной более чем добросовестного отвешивания.

Но если бы покупатель дождался, пока весы успокоятся, то, к удивлению, убедился бы в обманчивости этой картины: товара не хватает для равновесия.

Причина та, что падающее тело оказывает на опору давление, превосходящее его вес. Это ясно из следующего расчета. Пусть 10 кг падают на чашку весов с высоты 10 см. Они достигнут чашки с запасом энергии, равным произведению их веса на высоту падения:

$$0{,}01 \text{ кг} \times 0{,}1 \text{ м} = 0{,}001 \text{ кгм}.$$

Накопленный запас энергии расходуется на то, чтобы опустить чашку, скажем, на 2 см. Обозначим действующую при этом на чашку силу через $F$. Из уравнения

$$F \times 0{,}02 = 0{,}001$$

имеем

$$F = 0{,}05 \text{ кг} = 50 \text{ г}.$$

Итак, порция товара весом всего 10 г, падая на чашку, создает добавочное давление 50 г. Покупатель обвешен на 50 г, — хотя покидает прилавок в уверенности, что товар отпущен правильным весом.

### Задача Аристотеля

За два тысячелетия до того, как Галилей (в 1630 г.) заложил основы механики, Аристотель написал свои «Механические проблемы». В числе 36 вопросов, рассмотренных в этом сочинении, имеется следующий:

«Почему, если к дереву приложить топор, обремененный тяжелым грузом, то дерево будет повреждено весьма незначительно; но если поднять топор без груза и ударить по дереву, то оно расколется? Между тем падающий груз в этом случае гораздо меньше давящего».

Задачи этой Аристотель, при смутных механических представлениях его времени, разрешить не мог. Не справятся с ней, пожалуй, и иные из моих читателей. Рассмотрим поэтому поближе задачу греческого мыслителя.

Какой кинетической энергией обладает топор в момент удара в дерево? Во-первых, той, которая была накоплена им при подъеме, когда человек взмахивал топором; и, во-вторых — той энергией, которую топор приобрел при нисходящем движении. Пусть он весит 2 кг и поднят на высоту 2 м; при подъеме в нем накоплено $2 \times 2 = 4$ кгм энергии. Нисходящее движение происходит под действием двух сил: тяжести и мускульного усилия рук. Если бы топор опускался только под действием своего веса, он обладал бы к концу падения кинетической энергией, равной накопленному при подъеме запасу, т. е. 4 кгм. Сила рук ускоряет движение топора вниз и сообщает ему добавочную кинетическую энергию; если усилие рук при движении вверх и вниз оставалось одинаковым, то добавочная энергия при опускании равна накопленной при подъеме, т. е. 4 кгм. Итак, в момент удара о дерево топор обладает 8 кгм энергии.

Далее, достигнув дерева, топор в него вонзается. Как глубоко? Допустим, на 1 см. На коротком пути в 0,01 м скорость топора сводится к нулю, и, следовательно, весь запас его кинетической энергии расходуется полностью. Зная это, нетрудно вычислить силу давления топора на дерево. Обозначив ее через $F$, имеем уравнение

$$F \times 0{,}01 = 8,$$

откуда сила $F = 800$ кг.

Это значит, что топор вдвигается в дерево с силой 800 кг. Что же удивительного, что столь внушительный, хотя и невидимый груз раскалывает дерево?

Так решается задача Аристотеля. Но она ставит нам новую задачу: человек не может расколоть дерева непосредственной силой своих мышц; как же может он сообщить топору силу, которой не обладает сам? Часть разгадки кроется в том, что топор есть клин, — машина, преобразующая малую силу на длинном пути в большую силу на коротком пути. Главная же причина та, что энергия, накопленная на пути в 4 м, расходуется на протяжении 1 см. Топор представляет собой «машину» даже и в том случае, когда им не пользуются как клином (кузнечный молот).

Рассмотренные соотношения делают понятным, почему для замены действия молота требуются столь сильные прессы; например, молоту в 150 т соответствует пресс в 5000 т, молоту в 20 т — пресс в 600 т и т. п.

Действие сабли объясняется теми же причинами. Конечно, большое значение имеет то, что действие силы сосредоточивается на лезвии, имеющем ничтожную поверхность; давление на квадратный сантиметр получается огромное (сотни атмосфер). Но важен и размах: прежде чем ударить, конец сабли описывает путь метра в 1½, а в теле жертвы проходит всего около десятка сантиметров. Энергия, накопленная на пути в 1½ м, расходуется на пути в 10–15 раз меньшем. Действие руки бойца усиливается от этой причины соответственно в 10–15 раз.

### Упаковка хрупких вещей

При упаковке хрупких вещей прокладывают их соломой, стружками, бумагой и т. п. материалами. Для чего это делается, понятно: чтобы предохранить от поломки. *Но почему* солома и стружки оберегают вещи от поломок? Ответ, что они «смягчают» удары при сотрясениях, есть лишь пересказ того, что спрашивается. Надо найти причины этого смягчающего действия.

Их две. Первая та, что прокладка увеличивает площадь взаимного соприкосновения хрупких вещей: острое ребро или угол одной вещи напирает через упаковку на другую уже не по линии, не в точке, а по целой полоске или площадке. Действие силы распространяется на бóльшую площадь, и оттого давление соответственно уменьшается.

Действие второй причины проявляется только при сотрясениях. Когда ящик с посудой испытывает толчок, каждая вещь приходит в движение, которое тотчас же прекращается, так как соседние вещи ему мешают. Энергия движения затрачивается тогда на прогибание сталкивающихся предметов, которое зачастую оканчивается их разрушением. Так как путь, на котором расходуется при этом энергия, очень мал, то надавливающая сила должна быть весьма велика, чтобы произведение ее на путь ($FS$) составило величину расходуемой энергии.

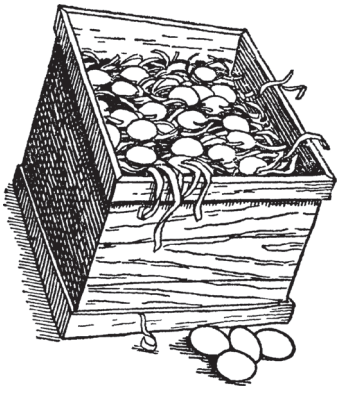


*Рис. 406. Для чего яйца при упаковке перекладывают стружкой?*

Теперь понятно действие мягкой прокладки: она удлиняет путь ($S$) действия силы и, следовательно, уменьшает величину надавливающей силы ($F$). Без прокладки путь этот очень короток: стекло или яичная скорлупа могут вдавливаться, не разрушаясь, лишь на ничтожную величину, измеряемую десятыми долями миллиметра. Слой соломы, стружек или бумаги между примыкающими друг к другу частями упакованных предметов удлиняет путь действия силы в десятки раз, во столько же раз уменьшая ее величину.

В этом — вторая и главная причина предохраняющего действия мягкой прокладки между хрупкими предметами.

*Рис. 407. Слоновая западня в африканском лесу.*

**Чья энергия?**

Западни, изображенные на рис. 407 и 408, устраиваются неграми Восточной Африки. Задевая протянутую у земли бечевку, слон обрушивает на свою спину тяжелый обрубок дерева с острым гарпуном. Больше изобретательности вложено в западню рис. 408: животное, задевшее шнур, спускает стрелу, которая вонзается в жертву.

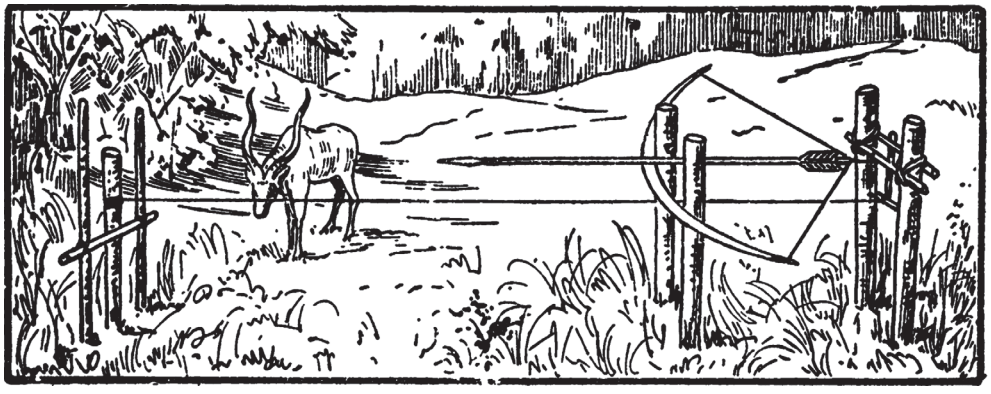


*Рис. 408. Западня-самострел (Африка).*

*Рис. 409. Медведь в борьбе с подвешенным бревном.*

Откуда берется здесь энергия, поражающая животное, понятно: это — преобразованная энергия того человека, который поставил западни. Падающий с высоты обрубок возвращает работу, которая была затрачена человеком при поднятии этого груза на высоту. Стреляющий лук второй западни также возвращает энергию, израсходованную охотником, который натянул тетиву. В обоих случаях животное только освобождает «заряд» энергии, накопленный в потенциальном состоянии. Чтобы действовать после этого опять, западни нуждаются в новом заряде.

Иначе обстоит дело в той западне, о которой говорит общеизвестный рассказ про медведя и бревно. Взбираясь по стволу дерева, чтобы добраться до улья, медведь натолкнулся на подвешенное бревно, мешающее карабкаться дальше. Он оттолкнул препятствие; бревно откачнулось, но вернулось на прежнее место, слегка ударив животное. Медведь оттолкнул бревно сильнее; оно возвратилось и ударило крепче. С возрастающей яростью стал отбрасывать медведь бревно, — но, возвращаясь, оно наносило животному все более и более чувствительные удары. Обессиленный борьбой медведь упал, наконец, вниз, на вбитые под деревом острые колья.

Эта остроумная западня не требует зарядки. Свалив первого медведя, она может вслед за тем покончить со вторым, третьим и т. д., без всякого участия человека. Откуда же берется здесь энергия ударов, сваливших медведя с дерева?

В этом случае работа производится уже за счет энергии самого животного. Медведь сам свалил себя с дерева и сам пробил себя кольями. Отбрасывая подвешенное бревно, он превращал энергию своих мускулов в потенциальную энергию поднятого бревна, которая затем преобразовывалась в кинетическую энергию бревна падающего. Точно так же, взбираясь на дерево, медведь преобразовал часть мускульной энергии в потенциальную энергию своего поднятого тела, которая затем проявилась в энергии удара его туши о колья. Словом, медведь сам избивает себя, сам сваливает себя вниз и сам пробивает себя кольями. Чем сильнее животное, тем серьезнее должно оно пострадать от такой потасовки.

### Самозаводящиеся механизмы

Знаком ли вам небольшой прибор, называемый *шагомером*? Он имеет величину и форму карманных часов, предназначен для ношения в кармане и служит для автоматического подсчета шагов. На рис. 410 изображены его циферблат и внутреннее устройство. Главную часть механизма составляет грузик *B*, прикрепленный к концу рычага *AB*, который может вращаться около точки *A*. Обычно грузик находится в положении, изображенном на рисунке; слабая пружинка удерживает его в верхней части прибора. При каждом шаге туловище пешехода, а с ним и шагомер немного приподнимаются и затем опускаются. Но грузик *B* вследствие инерции не сразу следует за поднимающимся приборчиком и, преодолевая упругость пружины, оказывается внизу. При опускании же шагомера грузик по той же причине перемещается вверх. От этого рычаг *AB* при каждом шаге совершает двойное колебание, которое при помощи зубчатки двигает стрелку на циферблате и регистрирует шаги пешехода.

Если вас опросят, что является источником энергии, движущей механизм шагомера, вы, конечно, безошибочно укажете на мускульную работу человека. Но заблуждение думать, что шагомер не требует от пешехода дополнительного расхода энергии: пешеход-де «все равно ходит» и не делает будто бы ради шагомера никаких лишних усилий. Он безусловно совершает лишние усилия, поднимая шагомер на некоторую высоту против силы тяжести, а также против упругости пружины, удерживающей грузик *B*.

Шагомер наводит на мысль устроить карманные часы, которые приводились бы в действие повседневными движениями человека. Такие часы уже изобретены. Их носят на руке, беспрестанные движения которой и заводят их пружину без всяких забот обладателя. Достаточно носить эти часы на руке несколько часов, чтобы они оказались заведенными более чем на сутки.

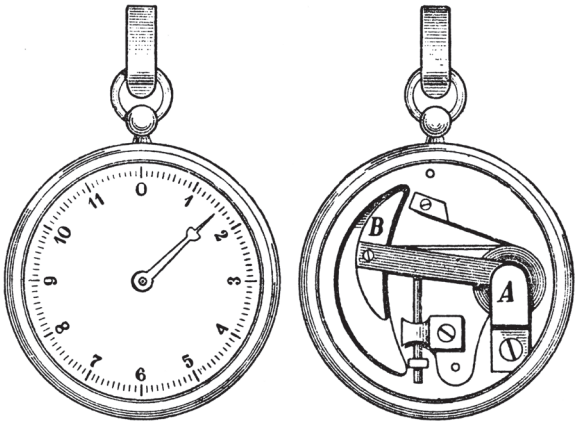



*Рис. 410. Шагомер и его механизм.*

Часы очень удобны: они всегда заведены, поддерживая пружину постоянно в одинаковом напряжении, чем обеспечивается правильность хода; в их корпусе нет сквозных отверстий, обусловливающих засорение механизма пылью и его увлажнение; главное же — не приходится заботиться о периодическом заводе часов[1].

Можно ли считать такие часы не нуждающимися в энергии их владельца для поддержания своего хода? Нет, они потребляют ровно столько же мускульной энергии, сколько расходуется и на завод обыкновенных часов. Движение руки, отягченной такими часами, требует избыточной затраты энергии по сравнению с рукой, несущей часы обыкновенного устройства: часть энергии расходуется, как и в шагомере, на преодоление упругости пружины.

Рассказывают, что владелец одного магазина в Америке «догадался» использовать движение дверей своего магазина, чтобы заводить пружину механизма, выполняющего полезную хозяйственную работу. Изобретатель полагал, что нашел даровой источник энергии, так как покупатели «все равно открывают двери». В действительности же посетитель, открывая двери, делал лишнее усилие на преодоление упругости заводимой пружины. Попросту говоря, владелец магазина заставлял каждого своего покупателя немного поработать и в его хозяйстве.

В обоих указанных случаях мы имеем, строго говоря, не самозаводящиеся механизмы, а лишь такие, которые заводятся мускульной энергией человека без его ведома.

### Добывание огня трением

Если судить по книжным описаниям, добывание огня трением — дело легкое. Однако людям белой расы это искусство почему-то не дается. Вот как рассказывает Марк Твен о своих попытках применить на практике подобные книжные указания:

«Каждый из нас взял по две палочки и принялся тереть их одну о другую. Через два часа мы совершенно заледенели; палочки также (дело происходило зимою). Мы горько проклинали индейцев, охотников и книги, которые подвели нас своими советами».

---

[1] Один из читателей этой книги, имевший дело с самозаводящимися часами, сообщил мне о них следующее: «Работая в Центральной научно-технической часовой лаборатории, я выписал из Швейцарии от двух фирм, изготовляющих эти часы массовым путем, два образца. Нам всем казалось, что такие часы годны для слесарей, портных, пианистов и особенно для машинисток, а не для работников умственного труда. Но, рассуждая так, мы упустили из виду одно свойство хорошо слаженных часовых ходов: чтобы заставить такой ход идти, нужен самый незначительный импульс. Оказалось, что два-три движения заставляют тяжелый молоток слегка завести пружину и завода хватает на 3–4 часа». От себя прибавлю, что для завода карманных часов на целые сутки нужна энергия в 0,1–0,15 килограммометра.

О подобной же неудаче сообщает и другой американский писатель — Джек Лондон (в «Морском волке»):

«Я читал много воспоминаний, написанных потерпевшими крушение: все они пробовали этот способ безуспешно. Припоминаю газетного корреспондента, путешествовавшего по Аляске и Сибири. Я однажды встретил его у знакомых, где он рассказывал, как пытался добыть огонь именно трением палки о палку. Он забавно и неподражаемо рассказывал об этом неудачном опыте. В заключение он сказал: „Островитянин южных морей, быть может, сумеет это сделать; может быть, добьется успеха и малаец. Но это, безусловно, превышает способности белого человека“».

Жюль Верн в «Таинственном острове» высказывает совершенно такое же суждение. Вот разговор бывалого моряка Пенкрофа с юношей Гербертом:

«— Мы могли бы добыть огонь, как дикари, трением одного куска дерева о другой.

— Что же, мой мальчик, попробуй; посмотрим, добьешься ли ты чего-нибудь таким способом, кроме того что разотрешь себе руки в кровь.

— Однако же, этот простой способ весьма распространен на островах Тихого океана.

— Не спорю, — возразил моряк, — но думаю, что у дикарей есть особая к этому сноровка. Я не раз безуспешно пытался добыть огонь таким способом и решительно предпочитаю спички».

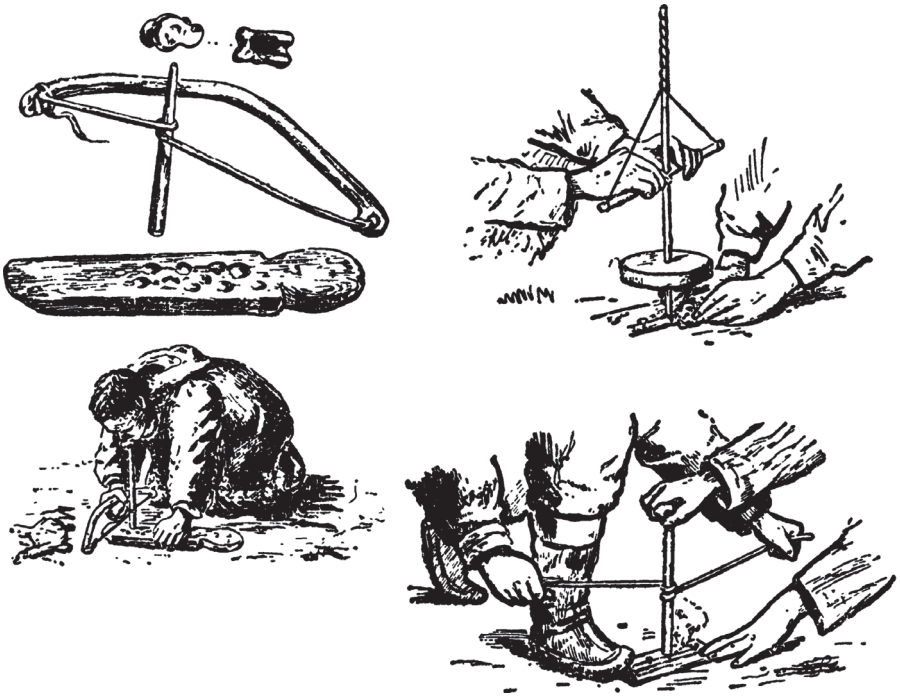


*Рис. 411. Как в действительности добывают огонь трением.*

«Пенкроф, — рассказывает далее Жюль Верн, — попробовал все-таки добыть огонь трением двух сухих кусков дерева. Если бы затраченная им и Набом (негром) энергия была превращена в тепловую, ее хватило бы, чтобы довести до кипения котлы трансатлантического парохода. Но результат получился отрицательный: куски дерева едва нагрелись, — меньше, чем сами исполнители опыта.

После часа работы Пенкроф обливался потом. Он с досадой бросил куски дерева.

— Скорее среди зимы наступит жара, чем я поверю, что дикари этим способом добывают огонь, — сказал он. — Легче, пожалуй, зажечь собственные ладони, потирая их одну о другую».

Причина неудач в том, что принимались за дело не так, как следует. Бóльшая часть первобытных народов добывает огонь не простым трением одной палки о другую, а *сверлением* дощечки заостренной палочкой (рис. 411).

Разница между этими способами выясняется при ближайшем рассмотрении.

Пусть палочка *CD* (рис. 412) движется туда и назад поперек палочки *AB*, делая в секунду два хода с размахом 25 см. Силу рук, прижимающих палочки, оценим в 2 кг (числа берутся произвольные, но правдоподобные). Так как сила трения дерева о дерево составляет около 40% силы, придавливающей трущиеся куски, действующая сила равна в этом случае $2 \times 0{,}4 = 0{,}8$ кг, а работа ее на пути 50 см составляет $0{,}8 \times 0{,}5 = 0{,}4$ кгм. Если бы эта механическая работа полностью превратилась в теплоту, она дала бы $0{,}4 \times 2{,}3 = 0{,}92$ малой калории[1]. Какому объему древесины сообщится эта теплота? Дерево — плохой проводник теплоты; поэтому теплота, возникающая при трении, проникает в дерево очень неглубоко. Пусть толщина прогреваемого слоя всего лишь 0,5 мм.[2] Величина трущейся поверхности равна 50 см, умноженным на ширину соприкасающейся поверхности, которую примем равной 1 см. Значит, возникающей при трении теплотой прогревается объем дерева в

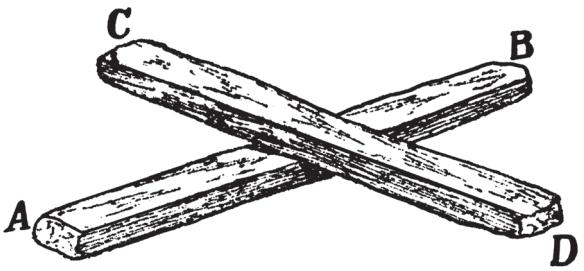



*Рис. 412. Книжный способ добывания огня трением.*

$$50 \times 1 \times 0{,}05 = 2{,}5 \text{ см}^3.$$

Вес такого объема дерева около 1,25 г. При теплоемкости дерева 0,6 объем этот должен нагреться на

$$\frac{0{,}92}{1{,}25 \times 0{,}6} = \text{около } 1°.$$

[1] Один килограммометр, превращаясь полностью в теплоту, даст 2,3 малой калории.

[2] Читатель увидит из дальнейшего, что смысл результата мало меняется, если взять толщину слоя несколько бóльшую.

Если бы, значит, не было потери тепла вследствие остывания, то трущаяся палочка ежесекундно нагревалась бы примерно на 1 градус. Но так как вся палочка доступна охлаждающему действию воздуха, то остывание должно быть значительно. Вполне правдоподобно поэтому утверждение Марка Твена, что палочки при трении не только не нагрелись, но даже обледенели.

Другое дело — сверление (рис. 411). Пусть поперечник конца вращающейся палочки 1 см и конец этот входит в дерево на 1 см. Размах смычка (2 хода в секунду) 25 см, а сила, приводящая его во вращение, пусть равна 2 кг. Секундная работа равна в этом случае тоже 0,8 × 0,5 = 0,4 кгм, и количество возникающей теплоты 0,92 малой калории. Но нагреваемый объем дерева заметно меньше, чем в первом случае: 3,14 × 0,05 = 0,15 см$^3$, а вес его — 0,075 г. Значит, теоретически температура в гнезде палочки должна подняться в секунду на

$$\frac{0{,}92}{0{,}075\times 0{,}6} \approx 20^\circ.$$

Такое повышение температуры (или близкое к нему) будет действительно достигаться, так как при сверлении нагреваемая часть дерева хорошо защищена от охлаждения. Температура воспламенения дерева равна 250°С, и чтобы довести палочку до горения, достаточно при таком способе

$$250^\circ : 20^\circ \approx 12 \text{ секунд}.$$

Правдоподобие нашего подсчета подтверждается тем, что, по свидетельству авторитетного немецкого этнолога К. Вейле, опытные «сверлильщики огня» среди африканских негров добывают огонь в несколько секунд[1]. Впрочем, всем известно, как часто загораются оси плохо смазанных телег: причина в этом случае та же.

### Энергия растворенной пружины

Вы согнули стальную пружину. Затраченная вами работа превратилась в потенциальную энергию напряженной пружины. Вы можете вновь получить израсходованную энергию, если заставите распрямляющуюся пружину поднимать грузик, вращать колесо и т. п.; часть энергии возвратится в форме полезной работы, часть же уйдет на преодоление вредных сопротивлений (трения). Ни один эрг не пропадет бесследно.

[1] Кроме сверления, у первобытных народов практикуются и иные способы добывания огня трением — с помощью «огневого плуга», а также «огневой пилы». В обоих случаях нагревающимся частям древесины — древесной муке — обеспечивается защита от охлаждения. Весьма обстоятельное описание приемов добывания огня, практикуемых первобытными народами, читатель найдет в книге проф. Карла Вейле «Культура бескультурных народов» (с. 78–92 русского перевода, 1913).

Но вы поступаете с согнутой пружиной иначе: опускаете в серную кислоту, и стальная полоска растворяется. Должник исчез: не с кого взыскать энергию, затраченную на сгибание пружины. Закон сохранения энергии как будто нарушен.

Так ли? Почему, собственно, мы должны думать, что энергия в этом случае исчезла бесследно? Она могла проявиться в форме кинетической энергии в тот момент, когда пружина, разъеденная кислотой, лопнула, сообщив движение своим частям и окружающей жидкости. Могла она преобразоваться и в теплоту, подняв температуру жидкости. Но ожидать сколько-нибудь заметного повышения температуры не приходится. В самом деле, пусть края согнутой пружины сближены по сравнению с распрямленной на 10 см (0,1 м). Напряжение пружины примем равным 2 кг; значит, *средняя* величина силы, сгибавшей пружину, равнялась 1 кг. Отсюда потенциальная энергия пружины равна $1 \times 0{,}1 = 0{,}1$ кгм. Это соответствует количеству тепла $2{,}3 \times 0{,}1 = 0{,}23$ малой калории. Такое незначительное количество тепла может поднять температуру всего раствора лишь на ничтожную долю градуса, практически неуловимую.

Допустима, однако, возможность перехода энергии согнутой пружины также в электрическую или химическую; в последнем случае это могло бы сказаться либо ускорением разъедания пружины (если возникшая химическая энергия способствует растворению стали), либо замедлением этого процесса (в обратном случае).

Какая из перечисленных возможностей имеет место на самом деле, может обнаружить только опыт.

Подобный опыт и был произведен (экспериментатор, доктор Гуго Куль, описал его в немецком журнале «Космос»). Стальная полоска в согнутом положении была зажата между двумя стеклянными палочками, установленными на дне стеклянного сосуда в полусантиметре одна от другой (рис. 413, налево). В другом опыте пружина упиралась прямо в стенки сосуда. В сосуд налили серную кислоту (12 ч. 100% кислоты в 1 л воды). Полоска вскоре лопнула,

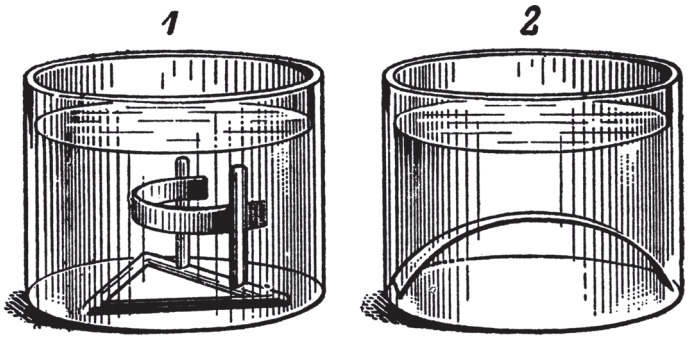



*Рис. 413. Опыт с растворением напряженной пружины.*

и обе части были оставлены в кислоте до полного растворения. Продолжительность опыта — от погружения в кислоту пружины до растворения ее частей — была тщательно измерена. Затем опыт растворения был повторен с такой же полоской в *несогнутом* состоянии при вполне одинаковых прочих условиях. Оказалось, что растворение ненапряженной полоски потребовало *меньше* времени.

Это показывает, что напряженная пружина стойче сопротивляется растворению, чем ненапряженная. Значит, несомненно, что энергия, затраченная на сгибание пружины, частью переходит в химическую, частью же — в механическую энергию движущихся частей пружины. Бесследного исчезновения энергии не происходит.

В связи с рассмотренной сейчас задачей я получил несколько писем от читателей, предлагавших мне разъяснить их недоумение по аналогичному поводу. Один задает такую задачу:

«Вязанка дров доставлена на 4-й этаж, отчего запас ее потенциальной энергии увеличился. Куда девается этот избыток потенциальной энергии, когда дрова сгорают?»

Разгадку нетрудно найти, если вспомнить, что после сгорания дров вещество их переходит в продукты горения, которые, образовавшись на известной высоте над землей, обладают большей потенциальной энергией, нежели в том случае, когда они возникают на уровне земной поверхности.

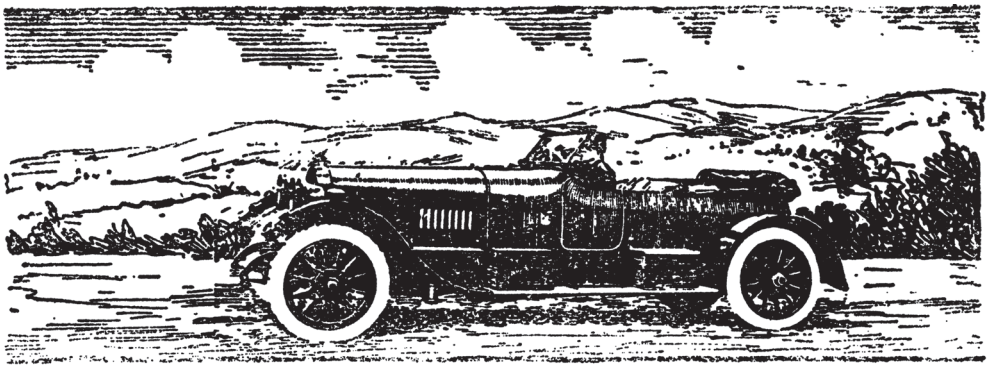


*Рис. 414. Какой путь может пройти автомобиль с выключенным мотором?*

## *ГЛАВА ДЕВЯТАЯ*

## ТРЕНИЕ И СОПРОТИВЛЕНИЕ СРЕДЫ

### С ледяной горы

Задача

С ледяной дорожки, наклон которой 30°, а длина 12 м, скатываются санки и мчатся далее по горизонтальной поверхности.

На каком расстоянии они остановятся?

Решение

Если бы санки скользили по льду без трения, они бы никогда не остановились. Но сани движутся с трением, хотя и небольшим: коэфициент трения железных полозьев о лед равен 0,02. Поэтому они будут двигаться лишь до тех пор, пока энергия, накопленная при скатывании с горы, не израсходуется полностью на преодоление трения.

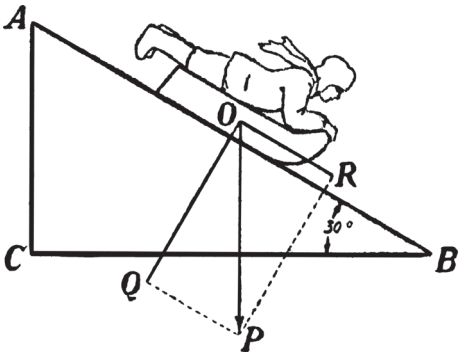



*Рис. 415. Как далеко прокатятся санки?*

Чтобы вычислить длину этого пути, определим, сколько энергии накапливают санки, скатившись с горы. Высота $AC$ (рис. 415), с которой санки спускаются, равна половине $AB$ (катет против 30° составляет половину гипотенузы). Значит, $AC = 6$ м. Если вес саней $P$, то кинетическая энергия, приобретаемая

у основания горки, равна $6P$ кгм — при условии отсутствия трения. Разложим вес $P$ на две составляющие — нормальную $Q$ и касательную $R$. Трение составляет 0,02 силы $Q$, равной $P$ cos 30°, т. е. $0{,}87P$. Следовательно, преодоление трения поглощает

$$0{,}02 \times 0{,}87P \times 12 = 0{,}21P \text{ кгм};$$

накопленная кинетическая энергия составляет

$$6P - 0{,}21P = 5{,}79P \text{ кгм}.$$

При дальнейшем пробеге саней по горизонтальному пути, длину которого обозначим через $x$, работа трения равна $0{,}02Px$ кгм. Из уравнения

$$0{,}02Px = 5{,}79P$$

имеем $x = 290$ м: сани, соскользнув с ледяной горы, пройдут по горизонтальному пути около 300 м.

### С выключенным мотором

Задача

Шофер автомобиля, мчащегося по горизонтальному шоссе со скоростью 72 км/ч, выключил мотор. Какое расстояние проедет после этого автомобиль, если сопротивление движению составляет 2%?

Решение

Задача эта сходна с предыдущей, но накопленный экипажем запас энергии вычисляется здесь по другим данным. Энергия движения автомобиля (его «живая сила») равна $\frac{mv^2}{2}$, где $m$ — масса автомобиля, а $v$ — его скорость. Этот запас работы расходуется на пути $x$, причем сила, действующая на автомобиль при его движении по пути $x$, составляет 2% веса $P$ экипажа. Имеем уравнение:

$$\frac{mv^2}{2} = 0{,}02Px.$$

Так как вес $P$ автомобиля равен $mg$, где $g$ — ускорение тяжести, то уравнение принимает вид:

$$\frac{mv^2}{2} = 0{,}02mgx,$$

откуда искомое расстояние:

$$x = \frac{25v^2}{g}.$$

В окончательный результат не входит масса автомобиля; значит, путь, проходимый автомобилем после выключения мотора, не зависит от массы экипажа. Подставив $v = 20$ м/с, $g = 9{,}8$ м/с$^2$, получаем, что искомое расстояние равно около 1000 м; автомобиль проедет по ровной дороге целый километр[1].

### Тележные колеса

Почему у большинства повозок передние колеса делаются меньшего размера, чем задние — даже и тогда, когда передок не поворотный и передние колеса не должны подходить под кузов?

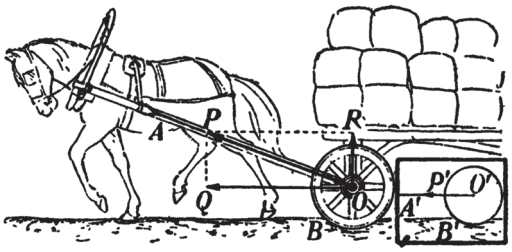



*Рис. 416. Почему передние колеса выгодно делать маленькими?*

Чтобы доискаться правильного ответа, надо вопрос поставить иначе: спрашивать не о том, почему передние колеса меньше, а о том, почему задние *больше*. Дело в том, что целесообразность малого размера передних колес понятна сама собой: низкое положение оси этих колес придает оглоблям и постромкам наклон, облегчающий лошади вытаскивание телеги из выбоин дороги. Рис. 416 поясняет, почему при наклонном положении оглобли *AO* тяга *OP* лошади, разлагаясь на составляющие *OQ* и *OR*, дают силу (*OR*), направленную вверх и облегчающую вытаскивание воза из выбоины. При горизонтальном же положении оглобель (рис. 416, направо) не получается силы, направленной вверх; вытащить воз из выбоины тогда трудно. На хорошо содержащихся дорогах, где таких неровностей пути не бывает, излишне и низкое положение оси передних колес. Поэтому у нас скоро можно будет видеть повозки с одинаковыми передними и задними колесами, как это стало обычным в Москве[2].

Перейдем теперь к вопросу задачи: почему задние колеса не делаются одного диаметра с передними? Причина та, что большие колеса выгоднее малых, так как испытывают меньшее *трение*. Трение катящегося тела — так называемое трение второго рода[3] — обратно пропорционально радиусу. Отсюда ясна целесообразность большого диаметра задних колес.

---

[1] Если пренебречь сопротивлением воздуха (*примеч. ред.*).

[2] Текст написан в 1937 г., когда на улицах Москвы (при наличии метрополитена и других видов общественного транспорта) еще трудились несколько тысяч извозчиков; уже к 1939 г. их число сократилось до 57 (*примеч. ред.*).

[3] Т. е. трение качения (*примеч. ред.*).

### На что расходуется энергия паровозов и пароходов?

Согласно механике «здравого смысла» паровозы и пароходы расходуют свою энергию на собственное передвижение. Между тем только в первую четверть минуты энергия паровоза затрачивается на приведение его и поезда в движение. Остальное же время (на горизонтальном пути) энергия расходуется только на то, чтобы преодолевать трение и сопротивление воздуха. Как метко заметил один из моих знакомых, энергия трамвайной электростанции целиком расходуется на то, чтобы согревать воздух города, — работа трения превращается в теплоту. Не будь этих помех движению, поезд, разогнавшись в течение первых 10–20 секунд, двигался бы по инерции неопределенно долго, не затрачивая энергии.

Мы уже говорили ранее, что движение равномерное совершается без участия силы и, следовательно, без расхода энергии. Если же при равномерном движении происходит трата энергии, то расходуется она на преодоление помех равномерному движению. Мощные машины пароходов нужны также лишь для того, чтобы преодолевать сопротивление воды. Оно весьма значительно по сравнению с сопротивлением при сухопутном транспорте и, кроме того, быстро растет с увеличением скорости (пропорционально второй ее степени). В этом кроется, между прочим, причина того, почему на воде недостижимы столь значительные скорости, как на суше[1]. В Америке поезд в 400 тонн весом мчится со скоростью 90 км/ч; никакое судно такого же веса не может перемещаться с подобной скоростью.

«Гребец, — говорит Вильямс, автор книги «Гляди в корень» — легко может двигать лодку со скоростью 6 км/ч; но увеличение скорости на 1 км/ч напрягает все его силы. А чтобы легкая гоночная лодка скользила со скоростью 20 км/ч, нужна уже отлично тренированная команда из восьми человек, гребущих изо всех сил».

Если сопротивление воды движению растет очень быстро с увеличением скорости, то и увлекающая сила воды чрезвычайно быстро возрастает со скоростью. Сейчас мы побеседуем об этом подробнее.

### Камни, увлекаемые водой

Подмывая и разрушая берег, река сама переносит обломки от места их падения в другие части своего ложа. Вода перекатывает по дну камни, нередко довольно крупные, — способность, приводящая многих в изумление. Удивляются, как может вода увлекать камни. Правда, это делает не всякая река.

[1] Сказанное не относится к тем судам (так называемым глиссерам), которые скользят по воде, почти не погружаясь в нее; встречая поэтому со стороны воды лишь незначительное сопротивление, глиссеры способны развивать сравнительно большие скорости.

*Рис. 417. Горный поток перекатывает камни.*

Равнинная, медленно текущая река увлекает течением только мелкие песчинки. Но достаточно небольшого увеличения скорости, чтобы весьма заметно усилить увлекающую мощь водяного потока. При удвоенной скорости река не только уносит песчинки, но перекатывает уже крупную гальку. А горный поток, текущий еще вдвое быстрее, увлекает булыжники в килограмм и более весом. Чем объяснить эти явления?

Мы имеем здесь любопытное следствие закона механики, известного в гидрологии под названием «закона Эри»[1]. Закон утверждает, что увеличение скорости течения в $n$ раз сообщает потоку способность увлекать предметы в $n^6$ раз более тяжелые.

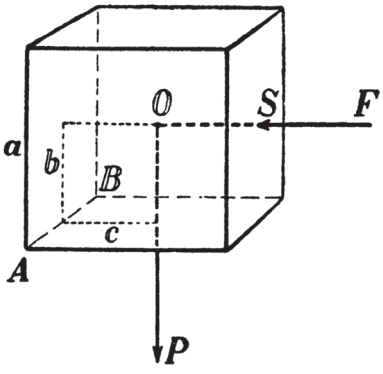



*Рис. 418. Силы, действующие на камень в текучей воде.*

Покажем, почему существует здесь такая — весьма редкая в природе — пропорциональность 6-й степени.

Для простоты вообразим каменный кубик с ребром $a$ (рис. 418), лежащий на дне реки. На боковую его грань $S$ действует сила $F$ — напор текущей воды. Она стремится повернуть кубик вокруг ребра $AB$. Этому препятствует сила $P$ — вес кубика в воде, — стремящаяся повернуть его обратно вокруг того же ребра. Чтобы камень остался в равновесии, необходимо — по правилам механики — равенство «моментов» обеих сил $F$ и $P$ относительно оси $AB$. Моментом силы относительно оси называется произведение величины этой силы на ее расстояние от оси.

[1] *Эри (Эйри, Айри) Джордж Биддель* (1801–1892) — выдающийся английский астроном, автор многих открытий и изобретений, в том числе в области физики (*примеч. ред.*).

Для силы $F$ момент равен $Fb$, для силы $P$ он равен $Pc$ (рис. 418). Но $b = c = \frac{a}{2}$. Следовательно, камень останется в покое лишь тогда, когда

$$F \times \frac{a}{2} \leq P \times \frac{a}{2}, \quad \text{т. е. } F \leq P.$$

Далее применим формулу

$$Ft = mv,$$

где $t$ означает продолжительность действия силы, $m$ — масса воды, участвующая в напоре за $t$ секунд, $v$ — скорость течения.

Масса $m$ воды, притекающая в $t$ секунд к боковой грани $S$, равна

$$Svt = a^2vt.$$

Значит,

$$Ft = mv = a^2vt \times v = a^2v^2t,$$

при $t = 1$ имеем:

$$F = a^2v^2.$$

Вес $P$ куба в воде равен его объему $(a^3)$, умноженному на удельный вес $d$ его материала, минус вес такого же объема воды (закон Архимеда)

$$P = a^3d - a^3 = a^3(d - 1).$$

Условие равновесия $F \leq P$ принимает вид:

$$a^2v^2 \leq a^3(d - 1),$$

откуда

$$a \geq \frac{v^2}{d-1}.$$

Ребро $(a)$ куба, могущего противостоять потоку, скорость которого $v$, пропорционально второй степени скорости $(v^2)$. Вес же куба, мы знаем, пропорционален третьей степени его ребра $(a^3)$. Следовательно, вес увлекаемых водой каменных кубов возрастает с 6-й степенью скорости течения, так как $(v^2)^3 = v^6$.

В этом и состоит «закон Эри». Мы вывели его для камней кубической формы, но нетрудно обобщить вывод для тел любой формы.

Как иллюстрацию этого закона, представьте себе три реки; скорость второй вдвое больше скорости первой, а третьей — еще вдвое больше. Иначе говоря, скорости их относятся как 1 : 2 : 4. По закону Эри, вес камней, увлекаемых этими потоками, будет относиться как $1 : 2^6 : 4^6 = 1 : 64 : 4096$. Вот почему, если спокойная река увлекает только песчинки в ¼ грамма весом, то вдвое более быстрая река может увлекать камешки до 16 г, а еще вдвое более быстрая горная река способна уже перекатывать камни весом во много килограммов.

## Скорость дождевых капель

Косые линии дождевых струй на оконных стеклах движущегося вагона свидетельствуют о замечательном явлении. Здесь происходит сложение двух движений по правилу параллелограмма, так как капли дождя, падая вниз, участвуют одновременно и в движении поезда. Заметьте, что результирующее движение получается здесь *прямолинейное*. Но одно из слагающих движений (движение поезда) — равномерное. Механика учит, что в таком случае и другое составляющее движение, т. е. падение капель, должно быть тоже *равномерным*. Вывод неожиданный: падающее тело, движущееся равномерно! Это звучит парадоксально. Между там, таков неизбежный вывод из прямолинейности косых линий на оконном стекле вагона; если бы капли дождя падали ускоренно, линии эти были бы кривыми (дугами парабол).

*Рис. 419. Косые струи дождя в окне вагона.*

Итак, дождевые капли падают не с ускорением, как уроненный камень, а равномерно. Причина та, что сопротивление воздуха нацело уничтожает силу, порождающую ускорение[1]. Если бы этого не было, если бы воздух не задерживал падения дождевых капель, последствия были бы для нас довольно плачевны. Дождевые облака парят нередко на высоте 1–2 км; падая с высоты 2000 м в несопротивляющейся среде, капли достигли бы земной поверхности со скоростью

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9{,}8 \times 2000} \approx 200 \text{ м/с}.$$

Это скорость револьверной пули. И хотя пули здесь не свинцовые, а только водяные, несущие с собой в 10 раз меньше кинетической энергии, все же не думаю, чтобы подобный обстрел был приятен.

С какой же скоростью дождевые капли в действительности достигают земли? Мы займемся этим, но прежде объясним, почему капли дождя движутся равномерно.

---

[1] Т. е. уравновешивает вес капли (*примеч. ред.*).

Сопротивление, испытываемое падающим телом со стороны воздуха, не остается во все время падения одинаковым. Оно растет по мере увеличения быстроты падения. В первые мгновения, пока скорость падения ничтожна[1], можно вовсе пренебречь сопротивлением воздуха. В дальнейшем скорость падения возрастает, а вместе с тем растет и сопротивление, задерживающее рост скорости[2]. Падение остается ускоренным, но величина ускорения меньше, чем при свободном падении. В дальнейшем ускорение продолжает уменьшаться и, наконец, становится равным нулю: с этого момента тело движется без ускорения, т. е. равномерно. И так как скорость не возрастает больше, то не растет и сопротивление; равномерное движение не нарушается, не переходит ни в ускоренное, ни в замедленное.

Значит, тело, падающее в воздухе, должно с некоторого момента двигаться равномерно. Для капель воды момент этот наступает очень рано. Измерения окончательной скорости дождевых капель показали, что она весьма невелика, в особенности для капель мелких. Для капелек в 0,03 мг она равна 1,7 м/с, для 20 мг — 7 м/с, а для самых крупных, весом 200 мг, скорость достигает 8 м/с; большей скорости не наблюдалось.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Вес капли в мг | 0,03 | 0,05 | 0,07 | 0,1 | 0,25 | 3 | 12,4 | 20 |
| Радиус в мм | 0,2 | 0,23 | 0,26 | 0,29 | 0,39 | 0,9 | 1,4 | 1,7 |
| Скорость в м/с | 1,7 | 2 | 2,3 | 2,6 | 3,3 | 5,6 | 6,9 | 7,1 |

Очень остроумен способ измерения скорости дождевых капель. Прибор (рис. 420) состоит из двух дисков, наглухо насаженных на общую вертикальную ось. Верхний диск имеет прорез в форме узкого сектора. Прибор выносят под зонтом на дождь, приводят в быстрое вращение и убирают зонт. Капли дождя, проходя чрез прорез, падают на нижний круг, устланный пропускной бумагой[3]. За время, в течение которого капля движется между дисками, они успевают повернуться на некоторый угол, и следы капель, упавших на нижний круг, окажутся не прямо под прорезом, а несколько позади. Пусть например, след капли оказался позади на 20-ю долю окружности, круги же делают 20 оборотов в минуту; расстояние между кругами пусть равняется 40 см. Нетрудно определить по этим данным скорость падения капель: капля пробегает расстояние между кругами (0,4 м) в тот промежуток времени, в течение

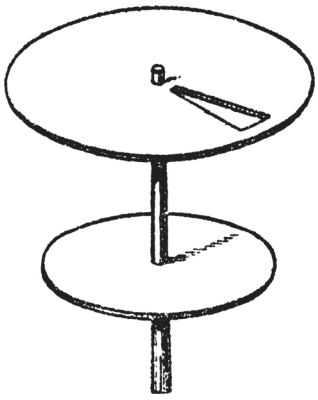


*Рис. 420. Прибор для измерения скорости дождя.*

[1] В первую 10-ю долю секунды, например, свободно падающее тело проходит всего 5 см.

[2] При скорости от нескольких метров в секунду примерно до 200 м/с сопротивление воздуха растет пропорционально квадрату скорости.

[3] См. примечание на с. 147 (*примеч. ред.*).

которого диск, делающий до 20 оборотов в минуту, успевает повернуться на 20-ю долю оборота. Этот промежуток времени равен

$$\frac{1}{20}:\frac{20}{60} = 0{,}15 \text{ с.}$$

В 0,15 с капля прошла 0,4 м; значит, скорость падения капли равна

$$0{,}4 : 0{,}15 = 2{,}6 \text{ м/с.}$$

(Совершенно подобным же способом может быть измерена скорость полета пули.)

Что касается *веса* капель, то он вычисляется по размеру влажных пятен, получающихся при падении капель на пропускную бумагу. Сколько миллиграммов воды всасывает 1 см$^2$ бумаги, определяют предварительно.

Градины падают с большей скоростью, чем дождевые капли. Это объясняется не тем, конечно, что градины плотнее воды (наоборот, вода плотнее), а тем, что они достигают большей величины. Но и они падают близ земли с постоянной скоростью.

Даже брошенные с аэроплана шрапнельные пули (свинцовые шарики около 1,5 см в диаметре) достигают земли с постоянной и довольно умеренной скоростью; поэтому они почти безвредны — неспособны пробить даже мягкую шляпу. Зато уроненные с такой же высоты железные «стрелки» представляют грозное оружие, пробивающее продольно туловище человека навылет. Объясняется это тем, что на 1 см$^2$ поперечного сечения стрелки приходится гораздо бóльшая масса, нежели в круглой пуле; как выражаются артиллеристы, «поперечная нагрузка» стрелки значительнее, чем пули, благодаря чему стрелка успешнее преодолевает сопротивление воздуха.

### Загадка падения тел

Такое общеизвестное явление, как падение тел, дает нам поучительный пример резкого расхождения обыденных и научных представлений. Люди, не знакомые с механикой, убеждены в том, что тела тяжелые падают быстрее, чем легкие. Взгляд этот, восходящий к Аристотелю и всеми разделявшийся в течение длинного ряда веков, был опровергнут лишь в XVII веке Галилеем, основателем современной физики. Остроумен ход мыслей великого натуралиста, бывшего также и популяризатором:

«Без опытов, путем краткого, но убедительного рассуждения мы можем ясно показать неправильность утверждения, будто тела более тяжелые движутся быстрее, нежели более легкие, подразумевая тела из одного и того же вещества... Если мы имеем два падающих тела, естественные скорости которых различны, и соединим движущееся быстрее с движущимся медленнее, то ясно, что движение тела, падающего быстрее, несколько задержится, а движение другого несколько ускорится. Но если это так, и если вместе с тем верно, что больший камень движется, скажем, со скоростью

в восемь «градусов» (единица длины), тогда как другой, меньший — со скоростью в четыре «градуса», то, соединяя их вместе, мы должны получить скорость меньшую восьми «градусов»; однако, два камня, соединенные вместе, составляют тело, большее первоначального, которое имело скорость в восемь градусов; следовательно, выходит, что более тяжелое тело движется с меньшей скоростью, чем более легкое; а это противно нашему предположению. Вы видите, что из положения, что более тяжелые тела движутся с большей скоростью, чем легкие, я мог вывести заключение, что более тяжелые тела движутся менее быстро».

Теперь мы твердо знаем, что в пустоте все тела падают с одинаковой скоростью и что причина, обусловливающая различную скорость падения тел в воздухе, есть его сопротивление. Здесь, однако, возникает недоумение такого рода: сопротивление воздуха движению зависит только от размеров и от формы тела; казалось бы поэтому, что два тела, одинаковые по величине и по форме, но разного веса, должны падать с одинаковой скоростью: их скорости, равные в пустоте, должны одинаково уменьшиться действием воздушного сопротивления. Железный и деревянный шары одинакового диаметра должны падать одинаково быстро, — вывод, явно не отвечающий фактам.

Как выпутаться из этого конфликта теории и практики?

Воспользуемся мысленно услугами аэродинамической трубы (глава 1), поставив ее *отвесно*. Железный и деревянный шары одного размера подвешены в ней и подвержены действию идущего снизу воздушного потока. Иначе говоря, мы «обратили» падение тел в воздухе. Какой же из двух шаров будет быстрее увлекаться вверх воздушным потоком? Ясно, что хотя на оба шара действуют равные силы, шары получат неодинаковые ускорения: легкий шар приобретет большее ускорение (согласно формуле $F = ma$). Применяя это к первоначальному, не обращенному явлению, мы видим, что легкий шар при падении должен *отставать* от тяжелого. Другими словами, шар железный должен падать в воздухе быстрее, чем равный ему по объему деревянный. Сказанное объясняет, между прочим, и то, почему артиллеристы придают столь большое значение «поперечной нагрузке» снаряда, т. е. той доле его массы, которая приходится на каждый $см^2$, подверженный сопротивлению воздуха (см. предыдущую страницу).

### Вниз по течению

Для многих, я уверен, будет совершенно новым и неожиданным, что плавание тел по течению реки имеет близкое сходство с падением в воздухе. Принято думать, что лодка, пущенная на реку без весел и парусов, плывет по ней со скоростью течения. Такое представление, однако, ошибочно: лодка движется *быстрее течения* и притом тем быстрее, чем она тяжелее. Факт этот хорошо известен опытным плотовщикам, но совершенно неизвестен многим физикам. Должен сознаться, что и сам я лишь недавно узнал про него.

Разберемся подробнее в этом парадоксальном явлении. С первого взгляда представляется непонятным, как может плывущая по течению лодка обогнать несущую ее воду. Но надо иметь в виду, что река несет лодку не так, как лента конвейера переносит лежащие на ней детали. Вода в реке представляет собой наклонную плоскость, по которой тела самостоятельно скользят *ускоренным* движением; вода же вследствие трения о русло обладает установившимся *равномерным* движением. Ясно, что неизбежно должен наступить момент, когда плывущая с возрастающей скоростью лодка *перегонит* течение. С этого момента вода будет уже *тормозить* движение лодки, как воздух замедляет падение в нем тел. В итоге — по тем же причинам, как и в воздухе — движущееся тело приобретает некоторую окончательную скорость, которая более уже не возрастает. Чем легче плывущее в воде тело, тем раньше достигается эта постоянная скорость и тем она меньше по величине; напротив, тело тяжелое, пущенное по течению, приобретает более значительную окончательную скорость.

Отсюда следует, что, например, весло, опущенное с лодки, должно *отстать* от лодки, так как оно значительно легче ее. И лодка, и весло будут нестись по реке быстрее течения, но тяжелая лодка опережает легкое весло. Так и наблюдается в действительности; особенно заметно это на быстро текущих реках.

У меня имеется возможность весьма наглядно иллюстрировать все сейчас изложенное, приведя интересный рассказ, который любезно сообщен мне одним из читателей, ленинградским физиком В. Ю.:

«Я участвовал с экскурсией по Алтаю, и там мне пришлось спуститься по реке Бие — от ее истока из Телецкого озера до города Бийска, — спуск занял 5 суток. Перед отправлением кто-то из экскурсантов заметил плотовщику, что нас на плоту довольно много.

— Ничего, — возразил наш дедка, — зато быстрей поедем.

— Как? Разве мы поплывем не со скоростью течения? — удивились мы.

— Нет, *мы поплывем быстрее течения*; чем тяжелее плот, тем он быстрее плывет.

Мы не поверили. Дед предложил нам, когда поплывем, бросить щепки с плота. Такой опыт мы проделали, — и действительно оказалось, что щепки очень быстро от нас отстают.

Правота деда выявилась во время сплава и более эффектно.

В одном месте мы попали в водоворот. Очень долго описывали мы круги, прежде чем удалось нам из него вырваться. В самом начале нашего кружения упал с плота в воду деревянный молоток и быстро уплыл (по свободной от водоворота поверхности реки — *Я. П.*).

— Ничего, — сказал дед, — мы его догоним, мы тяжелее.

И хотя мы надолго застряли в водовороте, предсказание это сбылось.

В другом месте мы заметили впереди нас плот; он был легче нашего (без пассажиров), и мы его быстро догнали и перегнали».

## Когда дождь промочит сильнее?

### Задача

В этой главе нам пришлось много беседовать о падении дождевых капель. Позволю себе поэтому в заключение предложить читателю задачу, хотя и не относящуюся прямо к теме главы, но тесно связанную с механикой падения дождя.

Практической задачей, на вид очень простой, но довольно поучительной, мы закончим эту главу.

В каком случае во время отвесного дождя вы больше промочите вашу шляпу: оставаясь неподвижно на месте или двигаясь под дождем столько же времени?

Задачу легче решить, если предложить ее в иной форме:

Дождь падает отвесно. В каком случае на крышу вагона попадет ежесекундно больше дождевой воды — когда вагон стоит или когда он движется?

Я предлагал эту задачу — в той и другой форме — разным лицам, занимающимся механикой, и получал разноречивые ответы. Одни для сбережения шляпы советовали спокойно стоять под дождем, другие, напротив, рекомендовали бежать возможно быстрее.

Какой же ответ правилен?

### Решение

Будем рассматривать задачу во второй редакции — по отношению к крыше вагона.

Когда вагон неподвижен, количество дождевой воды, ежесекундно попадающей на его крышу, равно числу дождевых капель в призме, сечение $S$ которой есть крыша вагона, а высота $H$ — скорость отвесного падения капель (рис. 421).

Труднее учесть количество дождевой воды, выпадающей на крышу *движущегося* вагона. Поступим следующим образом. Вообразим, что и движущийся вагон, и вся совокупность падающих дождевых капель получили такое движение относительно земли, которое равно и противоположно первоначальному движению вагона. Тогда вагон сделается относительно земли неподвижным, капли же дождя будут совершать относительно этого неподвижного вагона двоякое движение: отвесное падение и горизонтальное перемещение навстречу вагону. Результирующая скорость будет наклонена к крыше вагона; иными словами, вагон словно окажется под косым дождем (рис. 422).

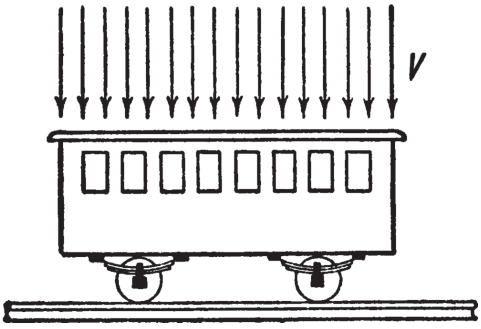



*Рис. 421. Дождь, падающий отвесно на неподвижный вагон.*

Теперь ясно, что совокупность капель, ежесекундно попадающих на крышу движущегося вагона, целиком заключается в пределах призмы,

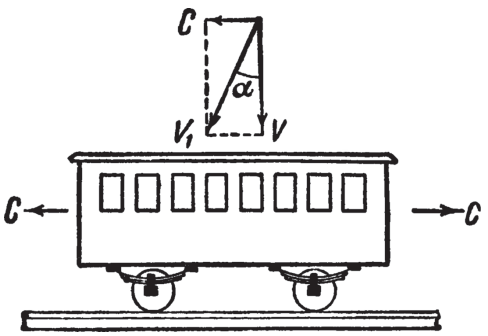



*Рис. 422. То же в случае движущегося вагона.*

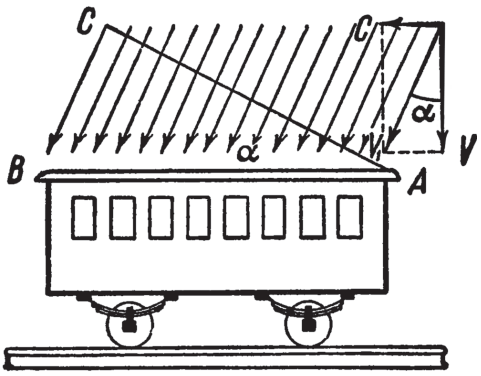



*Рис. 423. Дождь, падающий на крышу движущегося вагона.*

сечение $S_1$ которой перпендикулярно направлению дождя, а высота $H_1$ равна скорости движения капель. Отношение сечений призмы (рис. 423)

$$\frac{S_1}{S}=\frac{AC}{AB}=\cos\alpha\,.$$

Отношение же высот призм (рис. 423)

$$\frac{H_1}{H}=\frac{v_1}{v}=\frac{1}{\cos\alpha}\,.$$

Отсюда отношение количеств дождевой воды:

$$\frac{Q_1}{Q}=\frac{S_1H_1}{SH}=\cos\alpha\times\frac{1}{\cos\alpha}=1\,.$$

В обоих случаях выпадает дождевой воды одинаковое количество! Ваша шляпа, следовательно, промокнет одинаково, простоите ли вы на дожде неподвижно полчаса или будете полчаса бежать под дождем.

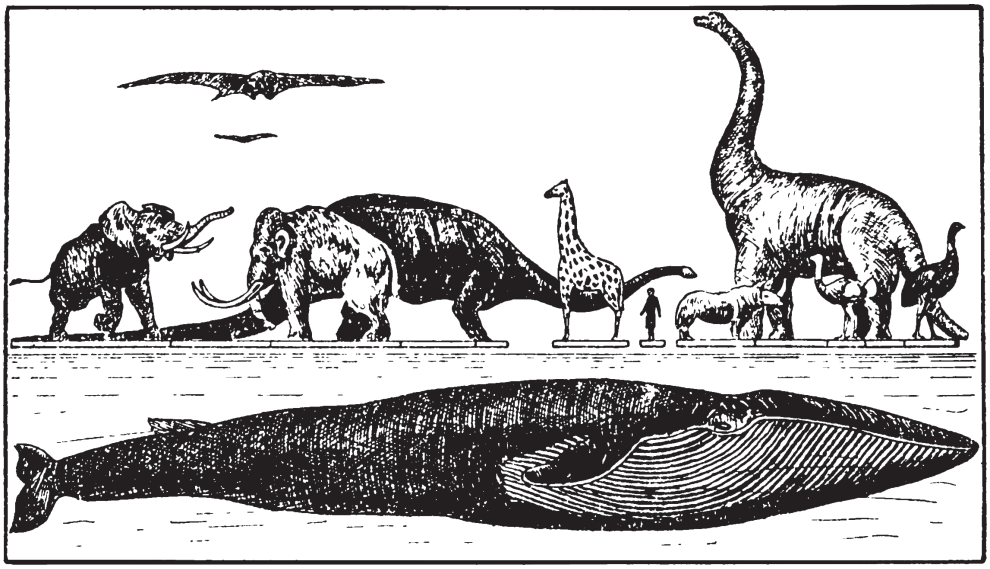


*Рис. 424. Крупнейшие наземные животные в сравнении с китом. Слева — африканский слон (3,5 м высоты); вверху — орел-тетеревятник (2,2 м), над ним птеранодон (8,4 м), справа — мамонт (4 м высоты), диплодок (22 м длины), жираф (5 м высоты), человек (1,7 м), носорог (1,6 м), брахиазавр (11 м высоты), страус (2,5 м), моа (3,5 м).*

## *ГЛАВА ДЕСЯТАЯ*

## МЕХАНИКА В ЖИВОЙ ПРИРОДЕ

### Гулливер и великаны

Когда вы читаете в «Путешествии Гулливера» о великанах в 12 раз выше нормального роста, вы, конечно, представляете себе их по крайней мере во столько же раз более могучими. Да и сам автор «Путешествия» наделил своих «бробдиньягов» чудовищной силой. Однако это совершенно ошибочно и противоречит законам механики. Легко убедиться, что великаны не только не могли быть в 12 раз могущественнее нормального человека, но, напротив, должны были быть относительно во столько же раз *слабее*.

Пусть рядом стоят Гулливер и великан в 12 раз выше его. Оба поднимают вверх правую руку. Вес руки Гулливера $p$, великана — $P$. Первый поднимает центр тяжести своей руки на высоту $h$, второй — на $H$. Значит, Гулливер совершает работу $ph$, великан — $PH$. Найдем соотношение между этими

величинами. Вес $P$ руки великана больше веса $p$ руки Гулливера во столько раз, во сколько больше ее объем, т. е. в $12^3$ раз. Высота $H$ больше $h$ в 12 раз. Итак,

$$P = 12^3 \times p,$$
$$H = 12 \times h.$$

Отсюда $PH = 12^4 ph$, т. е. для поднятия руки великан должен выполнить работу в $12^4$ раз бóльшую, нежели человек нормальных размеров. Наделен ли великан соответственно большей работоспособностью? Для этого обратимся к сравнению мускульной силы обоих существ и прежде всего прочтем относящееся сюда место из курса физиологии[1]:

«В мышце с параллельными волокнами высота, до которой поднимается тяжесть, зависит от *длины* волокна, вес же поднимаемого при этом груза зависит от *числа* волокон, так как тяжесть распределяется между ними. Поэтому из двух мышц одинаковой длины и качества бóльшую работу производит та, которая обладает большей *площадью сечения*, а из двух мышц с одинаковой площадью сечения — та, которая *длиннее*. Если же для сравнения взяты две мышцы различной длины и площади сечения, то производимая ими работа больше для той из них, которая обладает бóльшим *объемом*, т. е. содержит больше кубических единиц».

Прилагая сказанное к нашему случаю, заключаем, что способность производить работу у великана должна быть больше, чем у Гулливера, в $12^3$ раз (отношение *объемов* мышц). Обозначив работоспособность Гулливера через $w$, а великана через $W$, имеем соотношение

$$W = 12^3 w.$$

Значит, великан, поднимая свою руку, должен выполнить работу в $12^4$ раз бóльшую, чем Гулливер, а работоспособность его мускулов превышает гулливерову только в $12^3$ раз. Ясно, что ему в 12 раз труднее выполнить это движение, чем Гулливеру. Другими словами, великан *относительно* в 12 раз слабее Гулливера; для одоления одного великана понадобилась бы армия не из 1728 (т. е. $12^3$) нормальных людей, а только из 144.

Если Свифт желал, чтобы его великаны были столь же свободны в своих движениях, как и люди нормального роста, он должен был наделить «бробдиньягов» мускулами, объем которых в 12 раз больше, чем требует пропорциональность. Для этого они должны иметь поперечник в $\sqrt{12}$, т. е. примерно в 3½ раза больше, чем в теле пропорционально сложенного человека. К тому же и кости, несущие такие утолщенные мышцы, должны быть соответственно массивнее. Думал ли Свифт, что созданные его воображением великаны по тяжеловесности и неуклюжести должны походить на бегемотов?

---

[1] «Учебник физиологии» Фостера.

[Сэр *Майкл Фостер* (1836–1907) — английский физиолог и хирург; упомянутый стандартный учебник был написан в 1876 г. (*примеч. ред.*).]

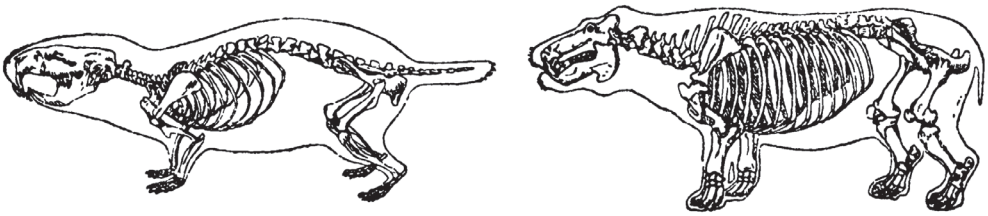


*Рис. 425. Скелет бегемота (направо), сопоставленный со скелетом лемминга, причем кости бегемота по длине уменьшены до размеров костей этого грызуна. Бросается в глаза непропорциональная массивность костей бегемота.*

### Почему бегемот неуклюж?

Бегемот не случайно пришел мне на ум. Массивность и громоздкость этого животного легко объяснить сказанным в предыдущей статье. В природе не может быть существа, которое при крупных размерах отличалось бы грациозностью. Сравним бегемота (4 м длины) с мелким грызуном леммингом (15 см длины). Наружные формы их тела приблизительно подобны. Но мы уже убедились, что животные, геометрически подобные, не могут обладать одинаковой свободой движений. Если бы мускулы бегемота были геометрически подобны мускулам лемминга, бегемот был бы относительно слабее лемминга в

$$\frac{400}{15} \approx 27 \text{ раз.}$$

Чтобы сравниться с леммингом в подвижности, мускулы бегемота должны быть в 27 раз объемистее сверх того, что требует пропорциональность, а, значит, поперечник их — в $\sqrt{27}$, т. е. в 5 раз больше. Соответственно толще должны быть и кости, служащие опорой таким мускулам. Теперь понятно, почему бегемот так неуклюже толстомяс и обладает таким массивным скелетом. Рис. 425, на котором представлены в одинаковых размерах скелет и наружные очертания обоих животных, наглядно убеждает в сказанном. Следующая таблица подтверждает, что в животном мире наблюдается общий закон, в силу которого чем крупнее животное, тем больший процент его веса составляет скелет.

| Млекопитающие | Вес скелета | Птицы | Вес скелета |
|---|---|---|---|
| Землеройка | 8 % | Королек | 7 % |
| Домашняя мышь | 8,5% | Домашняя курица | 12 % |
| Кролик | 9 % | Гусь | 13,5% |
| Кошка | 11,5% | | |
| Собака (средн. разм.) | 14 % | | |
| Человек | 18 % | | |

### Строение наземных животных

Многие особенности строения наземных животных находят себе естественное объяснение в том простом механическом законе, что работоспособность конечностей пропорциональна 3-й степени их длины, а работа, необходимая для управления ими, — 4-й степени. Поэтому чем крупнее животное, тем короче его конечности — ноги, крылья, щупальца. Длинные конечности мы видим только у самых мелких из наземных животных. Всем известный паук-сенокосец может служить примером таких длинноногих существ. Законы механики не препятствуют существованию подобных форм, пока размеры их весьма невелики. Но такое же животное при величине, скажем, с лисицу было бы механически невозможно: ноги не выдержали бы груза туловища и лишены были бы подвижности. Только в океане, где вес животного уравновешивается выталкивающим действием воды, могут существовать подобные животные формы; например, глубоководный краб *макрохейра* при поперечнике тела полметра обладает ногами в 3 м длины.

Действие того же закона сказывается и при развитии отдельных животных. Конечности взрослой особи всегда короче, чем у зародыша; рост туловища обгоняет рост конечностей, благодаря чему устанавливается надлежащее соотношение между мускулатурой и работой, необходимой для перемещения.

Этими интересными вопросами первый занимался Галилей. В своей книге «Беседы о двух новых отраслях науки», где заложены были основы механики, он уделяет место таким темам, как животные и растения чрезмерной величины, «кости великана и морских животных», возможная величина водяных животных и т. п. Мы еще вернемся к этому в конце главы.

### Судьба вымерших чудовищ

Итак, законы механики ставят некоторый предел размерам животных. Увеличивая абсолютную силу животного, крупный рост либо уменьшает его подвижность, либо же обусловливает несоразмерную массивность его мышц и скелета. То и другое ставит животное в невыгодные условия по отношению к добыванию пищи. Потребность в пище растет с увеличением размеров животного, возможность же ее добывания при этом уменьшается (пониженная подвижность). Начиная с некоторой величины животного, потребность его в пище, наконец, превышает способность к ее добыванию. Такой вид обрекается на вымирание. И мы видим, как исполинские животные древних геологических эпох действительно одно за другим сходят с арены жизни. Из всего разнообразия форм, созданных природой в крупном масштабе, лишь немногие дожили до наших дней. Наиболее крупные — например, исполинские пресмыкающиеся — оказались нежизнеспособными. В числе причин, обусловивших вымирание исполинов древней истории Земли, сейчас указанные

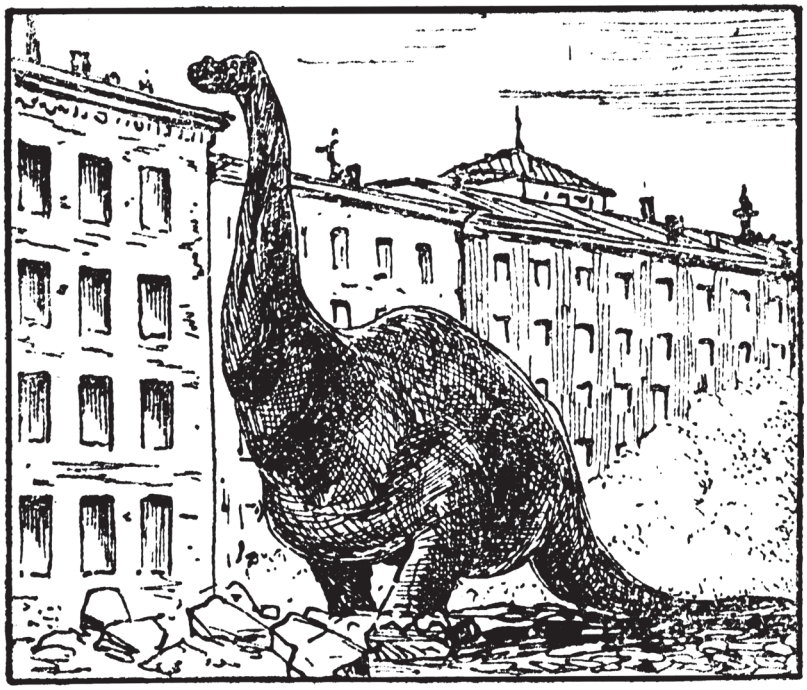


*Рис. 426. Исполин древних геологических эпох, перенесенный на улицу современного города.*

законы механики занимали одно из самых видных мест. Кит не может идти в счет: он живет в воде, в условиях невесомости[1], и все сейчас сказанное к нему не относится (см. заставку к главе 10).

Можно поставить вопрос: если большие размеры так невыгодны для жизни организма, то почему эволюция не шла в направлении измельчания животных форм? Причина та, что крупные формы все же *абсолютно* сильнее мелких, хотя и слабее их относительно. Обращаясь снова к образам из «Путешествия Гулливера», мы видим, что хотя великану в 12 раз труднее поднять свою руку, чем Гулливеру, груз, поднимаемый исполином, в 1728 раз больше; уменьшив этот груз в 12 раз, т. е. сделав его посильным для мускулов великана, мы будем все же иметь груз в 144 раза больший, чем посильный Гулливеру. Теперь понятно, что в борьбе крупных животных форм с мелкими у первых имеется заметное преимущество. Но выгодный при схватках с врагами большой рост ставит животное в неблагоприятные условия в других отношениях (добывание пищи).

[1] Точнее, вес кита уравновешивается выталкивающей силой воды, в которую он погружен (*примеч. ред.*).

### Кто лучше прыгает?

Многих изумляет прыжок блохи (до 40 см), чуть не в сотню раз превосходящий ее рост; нередко высказывают мнение, что человек мог бы состязаться с блохой лишь в том случае, если бы способен был подпрыгивать на высоту 1,7 × 100, т. е. на 170 м.

Механический расчет восстанавливает репутацию человека. Для простоты будем считать тело блохи геометрически подобным телу человека. Если блоха весит $p$ кг и подпрыгивает на $h$ м, то она совершает при каждом прыжке $ph$ кгм работы. Человек же совершает при прыжке $PH$ кгм, если $P$ — вес его тела, а $H$ — высота его прыжка (вернее — высота подъема его центра тяжести). Так как человек примерно раз в 300 выше блохи, то вес его тела можно принять равным $300^3p$, и, следовательно, работа прыжка человека равна $300^3pH$. Это больше работы блохи в

$$300^3 \frac{H}{h} \text{ раз.}$$

Способность производить работу мы должны считать у человека в $300^3$ больше, чем у блохи (см. с. 600). Поэтому мы вправе требовать у него затраты энергии лишь в $300^3$ большей. Но если

*Рис. 427. Если бы человек прыгал, как блоха...*

$$\frac{\text{работа человека}}{\text{работа блохи}} = 300^3,$$

то должно существовать равенство:

$$300^3 \times \frac{H}{h} = 300^3, \text{ откуда } H = h.$$

Следовательно, человек сравнится с блохой в искусстве прыгать даже в том случае, если поднимет центр тяжести своего тела на одинаковую с ней высоту, т. е. сантиметров на 40. Подобные прыжки мы делаем без напряжения и, следовательно, нисколько не уступаем блохе в искусстве прыгать.

Если этот расчет покажется вам недостаточно убедительным, вспомните, что, подпрыгивая на 40 см, блоха поднимает только свой ничтожный вес. Человек же поднимает груз в $300^3$, т. е. в 27 000 000 раз больший. Двадцать семь миллионов блох, прыгающих одновременно, подняли бы совместно груз, равный весу человеческого тела. Только такой прыжок — армии из 27 000 000 блох —

и надо сравнивать с прыжком одного человека. И тогда сравнение окажется несомненно в пользу человека, так как он может прыгнуть выше 40 см.

Становится понятным теперь, почему с уменьшением размеров животного растет относительная величина его прыжков. Если прыжки животных, одинаково приспособленных (по устройству задних конечностей) к прыганью, сопоставим с размерами их тела, то получим такие цифры:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Кузнечик | прыгает | на 30 | -кратную длину тела. |
| Тушканчик | » | » 15 | |
| Кенгуру | » | » 5 | |

## Кто лучше летает?

Если мы желаем правильно сравнивать способность различных животных к летанию, мы должны помнить, что действие удара крыла обусловлено сопротивлением воздуха; последнее же, при равных скоростях движения крыла, зависит от величины его поверхности. Эта поверхность при увеличении размера

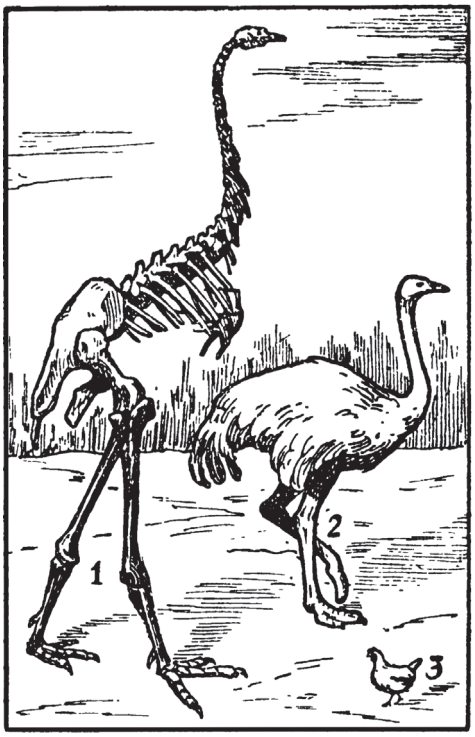



*Рис. 428. Страус рядом со скелетом вымершей мадагаскарской птицы — эпиорниса. Справа для сравнения — курица.*

животного растет пропорционально *второй* степени линейного увеличения, поднимаемый же груз (вес тела) возрастает пропорционально *третьей* степени линейного увеличения. Нагрузка на 1 см$^2$ крыла поэтому повышается с увеличением размеров летуна. Орлы страны великанов (в «Путешествии Гулливера») должны были нести на 1 см$^2$ своих крыльев 12-кратный груз по сравнению с обыкновенными орлами и были, конечно, гораздо худшими летунами, нежели миниатюрные орлы страны лилипутов, несшие нагрузку в 12 раз меньше нормальной.

Переходя от воображаемых животных к реальным, приведем следующие числовые данные о нагрузке, приходящейся на 1 см$^2$ крыльев (в скобках — вес животного):

*Насекомые*

| | |
|---|---|
| Стрекоза (0,9 г) | 0,04 г |
| Бабочка-шелкопряд (2 г) | 0,1 г |

*Птицы*

| | |
|---|---|
| Береговая ласточка (20 г) | 0,14 г |
| Сокол (260 г) | 0,38 г |
| Орел (5000 г) | 0,63 г |

Мы видим, что чем крупнее летающее животное, тем бóльшая нагрузка приходится на 1 см$^2$ его крыльев. Ясно, что для увеличения тела птицы должен существовать предел, превзойдя который птица не может уже поддерживать себя крыльями в воздухе. И не случайность, что самые крупные птицы лишены способности летать. Такие исполины пернатого мира, как казуар, достигающий человеческого роста, страус (2,5 м) или еще более крупная вымершая мадагаскарская птица *эпиорнис*[1] (5 м) неспособны летать; летали лишь их отдаленные менее крупные предки, впоследствии из-за недостатка упражнения утратившие эту способность и вместе с тем получившие возможность увеличить свой рост.

## Безвредное падение

Насекомые безнаказанно падают с такой высоты, с какой мы не решились бы спрыгнуть. Спасаясь от преследования, иные из этих животных сбрасывают себя с веток высокого дерева и падают на землю совершенно невредимо. Чем это объяснить?

Когда ударяется о препятствие тело небольшого объема, то прекращают свое движение почти сразу все его частицы; одни части тела поэтому при ударе не давят на другие. Другое дело — падение крупного тела: когда нижние его части прекращают при ударе свое движение, верхние еще продолжают

[1] По новейшим исследованиям, этот вид еще жил на Земле в начале XVII в.

двигаться и оказывают на нижние сильное давление. Это и есть то «сотрясение», которое гибельно для организма крупных животных. 1728 лилипутов, упав с дерева рассыпным дождем, пострадали бы мало; но если бы те же лилипуты упали плотным комом, то расположенные выше раздавили бы нижних. Человек нормального роста представляет собой словно ком из 1728 лилипутов.

Такова первая причина безвредности падения мелких существ. Вторая кроется в большей гибкости их частей. Чем стержень или пластинка тоньше, тем больше сгибаются они под действием силы. Насекомые по линейным размерам в сотни раз меньше крупного млекопитающего; поэтому, — как показывают формулы учения об упругости, — части их тела во столько же раз больше сгибаются при ударе. А мы уже знаем, что если удар поглощается на пути в сотни раз более длинном, то и разрушительное его действие во столько же раз ослабляется.

### Почему деревья не растут до неба?

«Природа позаботилась о том, чтобы деревья не росли до неба», — говорит немецкая пословица. Рассмотрим, как осуществляется эта «забота».

Вообразим древесный ствол, прочно выдерживающий собственный вес, и пусть линейные его размеры увеличились в 100 раз. Объем, а следовательно и вес ствола возрастет при этом в $100^3$, т. е. в 1 000 000 раз. Сопротивление же ствола раздроблению, зависящее от площади его сечения, увеличится только в $100^2$, т. е. в 10 000 раз. На каждый $см^2$ сечения ствола придется тогда 100-кратная нагрузка. Ясно, что при известном увеличении роста дерево — если только оно остается геометрически подобным самому себе — должно собственным весом раздробить свое основание[1]. Чтобы уцелеть, высокое дерево должно быть непропорционально толще низкого. Но увеличение толщины увеличивает, конечно, вес дерева, т. е. в свою очередь увеличивает нагрузку на основание. Значит, должна существовать для дерева такая предельная высота, при которой дальнейшее увеличение ее становится невозможным, — дерево ломается. Вот почему деревья «не растут до неба».

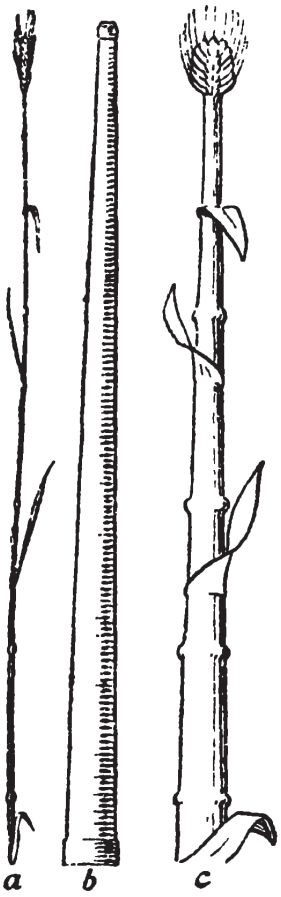



*Рис. 429. Стебель ржи (a), заводская труба (b) и воображаемый стебель 140 м высотой (c).*

[1] Кроме случая, когда ствол, утоньшаясь кверху, имеет форму так называемого «бруса равного сопротивления».

Нас поражает необыкновенная прочность соломины, достигающей, например, у ржи 1½ м высоты при ничтожной толщине 3 мм. Самое стройное сооружение строительного искусства — труба одного из заводов близ Фрейберга[1] — достигает 140 м высоты при среднем поперечнике 5,5 м. Ее высота всего в 26 раз превышает толщину, между тем как для стебля ржи это отношение равно 500. Здесь нельзя, однако, видеть доказательство того, что произведения природы неизмеримо совершеннее произведений человеческого искусства. Расчет показывает (мы не приводим его здесь ввиду сложности), что если бы природе понадобилось создать ствол в 140 м высоты по типу ржаной соломины, то поперечник его должен был бы быть около 3 м: только тогда ствол обладал бы прочностью стебля ржи. Это мало отличается от того, что достигнуто человеческой техникой.

Непропорциональное утолщение растительных форм с увеличением их высоты легко проследить на ряде примеров. Если стебель ржи (1½ м) превышает его толщину в 500 раз, то у бамбука (30 м) это отношение равно 130, у сосны (40 м) — 42, у эвкалипта (130 м) — 28.

### Из книги Галилея

Закончим эту часть книги отрывком из сочинения основателя механики Галилея «Беседы о двух новых отраслях науки».

«*Сальвиати*. Мы ясно видим невозможность не только для искусства, но и для самой природы беспредельно увеличивать размеры своих творений. Так, невозможна постройка судов, дворцов и храмов огромнейшей величины, коих весла, мачты, балки, железные скрепы, словом, все части держались бы прочно. С другой стороны, и природа не может произвести деревьев несоразмерной величины, так как ветви их, отягченные собственным чрезвычайным весом, в конце концов сломались бы. Равным образом невозможно представить себе костяк человека, лошади или другого живого существа слишком большой величины, который держался бы и соответствовал своему назначению; достигнуть чрезвычайной величины животные могли бы только в том случае, если бы вещество их костей было значительно прочнее и крепче, нежели обычное, или же если бы кости их изменились, соразмерно увеличившись в толщину, отчего животные по строению и виду производили бы впечатление чрезвычайной толщины. Это уже было подмечено проницательным поэтом (Ариостом в «Неистовом Орланде»), который, описывая великана, говорит:

Огромный рост его так члены утолщает,
Что вид чудовища они ему дают.

[1] В наши дни самой высокой трубой в мире является дымовая труба Экибастузской ГРЭС-2 в Казахстане, возведенная в 1987 г., — 419,7 м. Диаметр этой трубы у основания составляет 44 м, диаметр ее устья — 14,2 м (*примеч. ред.*).

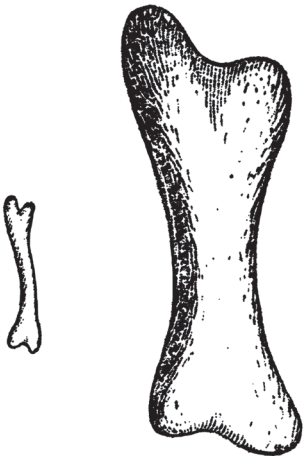


*Рис. 430. (Из книги Галилея.)*

В качестве примера только что сказанного я покажу вам сейчас рисунок кости, удлиненной только в три раза, но увеличенной в толщину в такой мере, чтобы она могла служить для большего животного с той же надежностью, как меньшая кость служит для животного малого размера. Вы видите, какой несообразно толстой выглядит такая увеличенная кость. Отсюда ясно, что тот, кто желал бы сохранить в огромном великане пропорцию членов обыкновенного человеческого тела, должен был бы найти для построения костей какое-либо иное, более удобное и прочное вещество, или же должен был бы примириться с тем, чтобы большое тело обладало крепостью сравнительно меньшей, чем тело человека обычной величины; увеличение размеров до чрезвычайной величины имело бы следствием то, что тело было бы раздавлено и сломано тяжестью своего собственного веса. Обратно, мы видим, что, уменьшая размеры тел, мы не уменьшаем в той же пропорции их прочности; в телах меньших замечается даже относительное увеличение ее; так, я думаю, что небольшая собака может нести на себе двух или даже трех таких же собак, в то время как лошадь едва ли может нести на спине одну только другую лошадь, равную ей по величине.

*Симпличио*. У меня есть достаточный повод сомневаться в справедливости сказанного вами, а именно, огромная величина тела, встречаемая у рыб, так, например, кит[1] равен по величине, если я не ошибаюсь, десяти слонам, и однако же тело его все же держится.

*Сальвиати*. Ваше сомнение, синьор Симпличио, заставляет меня припомнить еще одно упущенное мной сначала из виду условие, при котором великаны и прочие огромные существа могут жить и двигаться не хуже малых животных. Вместо того чтобы увеличивать толщину и прочность костей и других частей, предназначенных для поддержания собственного веса и веса прилегающих частей тела, можно, оставив строение и пропорцию костей прежними, уменьшать в значительной мере вес материи как самих костей, так и частей тела, к ним прилегающих и ими поддерживаемых. По этому второму пути и пошла природа в творении рыб, сделав кости и части тела не только легкими, но и вовсе лишенными веса.

*Симпличио*. Хорошо вижу, к чему клонится ваша речь, синьор Сальвиати. Вы хотите сказать, что так как местопребыванием рыб является вода, которая в силу своей тяжести отнимает вес у погруженных в нее тел, то материя, из коей состоят рыбы, теряя в воде вес, может держаться, не обременяя костей. Однако этого для меня недостаточно, ибо хотя и можно предположить, что *кости рыб не отягощаются телом*, но материя этих костей, конечно, имеет вес. Кто же может утверждать, что ребро кита,

[1] В эпоху Галилея кита причисляли к рыбам. В действительности кит — млекопитающее, дышащее легкими; тем поучительнее тот факт, что кит — животное водное.

величиною с добрую балку, не имеет достаточного веса и не пойдет ко дну в воде. По вашей теории, тела такого большого размера, как у кита, не должно было бы существовать.

*Сальвиати*. Чтобы лучше возразить на ваши доводы, я сначала предложу вам вопрос; видели ли вы когда-нибудь рыб в спокойной и неподвижной воде не опускающимися ко дну, не поднимающимися на поверхность и не делающими никаких движений?

*Симпличио*. Это всем известное явление.

*Сальвиати*. Но если рыбы могут пребывать в воде без всякого движения, то это является неоспоримым доказательством того, что вся совокупность объема их тела равна по удельному весу воде; а так как в их теле существуют части более тяжелые, нежели вода, то необходимо прийти к заключению, что есть и другие части, которые легче воды и создают равновесие. Так как кости являются более тяжелыми, то мясо или другие какие-либо органы должны быть легче воды, и они-то своей легкостью отнимают вес у костей. Таким образом, в воде имеет место совершенно обратное тому, что мы видим у наземных животных: в то время как у последних кости должны нести свой вес и вес мяса, у водяных животных мясо поддерживает не только свой вес, но и вес костей. Таким образом, нет ничего чудесного в том, что огромнейшие животные могут существовать в воде, но не на земле, т. е. в воздухе.

*Сагредо*. Мне очень понравились рассуждения синьора Симпличио, вопрос, ими возбужденный, и разрешение последнего. Я заключаю из них, что если вытащить на берег одну из таких огромных рыб, то она не сможет долгое время держаться, так как связь между костями ее должна скоро порваться, и тело разрушится»[1].

[1] См. об этом в моей книге «Физика на каждом шагу» статью «Почему киты живут в море?» — Я. П.

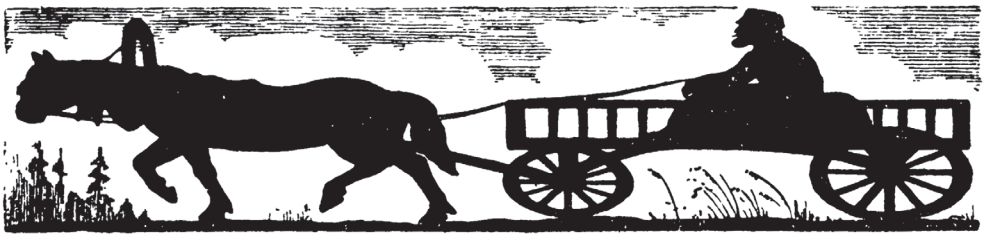


*Рис. 431. В мире № 1. Колеса оставались сплюснутыми сверху вниз.*

## *ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ*

# ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ПРОГУЛКА В СТРАНУ ЭЙНШТЕЙНА

Очерк О. А. Вольберга[1]

### Вступительные замечания

Имеется много прекрасных книг, в которых теория относительности излагается более или менее общедоступно. Но, надо сказать правду, эти книги немногим принесли действительную пользу.

Популяризаторы теории относительности обычно связывают крепко читателя логическими доводами и влекут покорным пленником в страну Эйнштейна. Понять эти доводы нетрудно, но принять выводы, которые отсюда проистекают, читатель все-таки не может. Логика увлекает мысль в новый мир, а слабое воображение останавливается бессильно на его пороге.

Наши понятия и представления сложились под влиянием тех обыденных фактов, среди которых мы живем. Эйнштейн утверждает, что эти понятия и представления соответствуют фактам только приближенно. Ответственной за такое несовпадение является грубость нашего восприятия: мы не замечаем некоторых изменений, которые происходят в действительности. Если бы изменения эти были более значительны, мы обнаружили бы их, — и тогда представление наше о мире было бы существенно иным.

Вообразим страну, где все происходит, как в нашем мире, но где особенности, о которых говорит Эйнштейн, выступают более отчетливо.

---

[1] *Вольберг Овсей Аронович* (1895–1942) — советский математик, педагог, реформатор математического преподавания, автор и переводчик учебников по геометрии, сценарист учебных кинофильмов. Погиб в блокадном Ленинграде (*примеч. ред.*).

Перенесемся на время в эту страну, поживем там среди новых фактов, научимся смотреть на вещи глазами коренных ее обитателей. Это лучший способ усвоить те новые понятия и представления, которые составляют сущность теории относительности.

Таково будет содержание этой главы: мы намерены изучить теорию относительности экскурсионным методом. Но прежде чем явиться в страну Эйнштейна, полезно заглянуть в другой мир, в некоторых отношениях более простой. Короткая остановка здесь подготовит нас к вступлению в «землю обетованную».

## I. МИР НОМЕР ПЕРВЫЙ

### 1. Необычайные приключения мистера Гарвуда

Прямое, как стрела, широкое и ровное шоссе позволяло моему лимузину развить скорость километров в 70. Я рассчитывал за два часа проделать путь до столицы, где должен был видеться с профессором N, назначившим мне свидание ровно в три. Было около полудня, и в моем распоряжении оставалось достаточно времени. Вещи были уложены на автомобиле. Мистер Барнэй — добродушный хозяин гостиницы, в которой я жил, — любезно проводил меня и сказал:

— До свидания, мистер Гарвуд. Возвращайтесь поскорее. О продовольствии на дорогу я позаботился. Вы найдете все необходимое в этой корзине.

Корзина была внушительных размеров. Двухчасовая прогулка, как видно, представлялась этому добряку настоящим путешествием.

— В два часа я буду в столице, — возразил я. — До трех я свободен и успею пообедать. Ваши хлопоты о провизии, право, совершенно излишни.

— Да, разумеется, — ответил он, как мне показалось, с некоторым удивлением, — в городе вы успеете пообедать вторично. В корзинку я положил лишь скромный дорожный обед: хлеб, жареную телятину, бутылку молока, фрукты. Бензина у вас достаточно: наполнены оба бака.

Чудак, считавший меня способным дважды обедать в течение трех часов, преувеличивал аппетит и моего автомобиля. Но не хотелось спорить. Поблагодарив и откланявшись, я тронулся в путь.

Было ровно 12. Тихо, солнечно, сухо, но не жарко. Прекрасная погода для поездки. Мотор работал отлично. Но странное дело: мне почудилось, что я еду не так быстро, как ожидал. Измеритель скорости показывал 75 км, я чувствовал привычный ветер от рассекаемого воздуха, но не было мелькания дороги, а окрестности как-то слишком медленно уходили назад. Первый километр показался мне ужасно длинным. Я стал присматриваться. Машина работала прекрасно, и все-таки окрестности медленно ползли мимо меня. Казалось, кто-то растянул дорогу с садами, домами, полями и километрами.

К часу дня не проехал и 30 км. Нечего было и думать поспеть вовремя на свидание. Сбитый с толку, сидел я в лимузине, тщетно стараясь понять, что происходит. В три часа я почувствовал голод и вспомнил о хозяине, который словно предвидел мое непонятное приключение.

В 5 часов вечера я начал опасаться, что не хватит бензина. Наконец, вдали показался город. Было около 6 часов, когда я подъехал к гостинице, где заранее была заказана комната и обед. Никто не осведомился о причине моего опоздания. Мало того, хозяин извинился, что обед не готов.

— Мы ждали вас к двум, — сказал он. — Вы приехали немного раньше.

— Раньше?! Теперь без 10 минут шесть.

Я протянул ему часы. Он осмотрел их и сказал совершенно серьезно:

— Прекрасные часики; у них, должно быть, очень точный ход. Вы выехали в 12?

— Да...

— Теперь без пяти минут 2. Вы делали 75 км/ч.

Затем этот чудак (неужели все содержатели гостиниц чудаки?) подошел к какому-то чертежу на стене, приложил линейку, что-то отмерил и сказал:

— Да, совершенно точный ход.

Это относилось к моим часам и было произнесено без тени иронии. Переставив стрелки, он вернул мне часы.

Пообедав вторично с изрядным аппетитом, я отправился на свидание к профессору, который выразил удовольствие по поводу моей аккуратности.

Ничего не понимая, я вернулся в гостиницу.

Мои дела в столице были закончены, и я решил, несмотря на усталость, немедленно ехать назад.

— Мы ничего не приготовили вам на дорогу, — сказал хозяин гостиницы. — Будьте любезны подождать несколько минут.

— Отпустите, пожалуйста, бензин для автомобиля, провизии мне не нужно, — ответил я.

Увы! В дороге пришлось пожалеть об этом легкомысленном заявлении.

Обратное путешествие как две капли воды походило на утреннее. Снова дорога казалась растянутой. Время тянулось страшно медленно. Навстречу попался крестьянин с телегой. Меня поразил его вид: лошадь была непомерно длинна, возница сначала показался мне довольно худощавым, но когда, проезжая мимо, я взглянул на него сбоку, то видно было, что он карикатурно толст от груди к спине и непомерно узок в плечах. Колеса имели эллиптическую форму, казались сплюснутыми сверху вниз и отличались непостижимой гибкостью, так что, катясь, оставались все время сплюснутыми (см. заставку). Случайные прохожие были так же уродливы, как этот крестьянин, и напоминали отражения в кривом зеркале или изуродованные детские игрушки.

В семь часов вечера я проехал только полдороги. Усталость и голод мучили меня. Напрасно обыскал я корзинку, где утром лежали припасы, в надежде

найти завалявшийся ломоть хлеба. Ничего не осталось, кроме бутылки скисшего молока.

На моих часах было уже 10, когда я подъехал к гостинице. Однако еще не начинало темнеть. Часы в гостинице показывали 6, так что мне вторично пришлось переставить стрелки назад. Пока мне стряпали обед (третий в этот день), мистер Барнэй принес горшок молока и большой ломоть хлеба.

— Это вечернее молоко? — спросил я, с жадностью откусывая хлеб и запивая большими глотками.

— Коровы еще не вернулись; молоко утреннее.

— А мое молоко, знаете, скисло, — сказал я. — Не пришлось выпить его на обратном пути. Странно, ведь сегодня не жарко.

— Что тут странного? Ему теперь часов двадцать.

— Вы разве дали мне вчерашнее молоко?

— Нет, то молоко одного удоя с этим.

— А этому сколько времени?

— Часов двенадцать.

— Но если одного удоя, то почему мое старше?

— Постарело в дороге.

Опять загадка — одна из тех, которые преследовали меня весь день. Однако я слишком устал, чтобы пытаться сейчас распутать всю цепь странных происшествий, и переменил разговор.

### 2. Мистер Гарвуд ищет разгадку

На следующий день я долго ломал голову над тем, что произошло накануне.

Усталость и необычайный аппетит можно было приписать дороге и непривычному климату. Колоссальный расход бензина — два бака за два часа? Где-то есть течь, или мотор не в порядке. Необычайный вид дороги и людей на ней? Галлюцинация, последствие усталости. Но часы... Как объяснить их изумительный ход? Повреждение механизма? Я вынул свои часы и сверил их со стенными. Сегодня они шли правильно. Повреждение, которое излечилось само собой! Ну, а как понять удивительные разговоры с содержателями гостиниц? Считать их чудаками? Мистер Барнэй, конечно, шутил насчет молока. Я представил себе этого добродушного, положительного толстяка. В нем много смешного, но ни капли юмора...

Мне захотелось еще раз увидеть этого странного человека, чтобы переговорить начистую.

— Здравствуйте, мистер Барнэй, — сказал я, входя в столовую.

Он поднял голову, вскинул на лоб огромные очки в черепаховой оправе и приветствовал меня своей пухлой ручкой с короткими пальцами.

— Как чувствуете себя после вчерашнего путешествия?

— Ну, какое там путешествие! Двухчасовая прогулка...

— Двухчасовая для нас, а для вас шестичасовая. Две «прогулки» по шести часов подряд, — на это не всякий способен.

— Почему же вы считаете для себя 2 часа, а для меня 6?

— Ну, как же? Ведь вы ехали.

— У вас, я вижу, ведется двойная бухгалтерия: для домоседов и для ездящих. Это как на войне: месяц в окопах засчитывается за год службы мирного времени.

— Нет, — ответил он, даже не улыбаясь, — двойная бухгалтерия для меня слишком сложна. С меня достаточно простой записи расходов, — он указал на счета и расписки, лежавшие на столе. — Что касается окопов, то часы идут там ничуть не быстрее, чем в тылу.

Положительно, этот человек неспособен шутить!

— Кстати, о часах, — сказал я. — Вчера с моими часами произошло нечто странное: ушли вперед на 8 часов. Я два раза переставлял их. Не понимаю, в чем тут дело.

— Как же это случилось?

— Да вот, выехал я от вас в 12, приехал на место в 2; смотрю — а на часах 6. На обратном пути такая же история.

— Что же тут странного?

— Странно то, что сегодня они опять идут хорошо. Исправились сами собой.

— Но почему вы думаете, что они были испорчены?

Он сказал это самым невозмутимым тоном.

— Простите, но если часы за 2 часа уходят на 4 часа, то есть основание считать их испорченными, — сказал я.

Мистер Барнэй сдвинул свои черепаховые очки со лба на нос, затем поднял снова на лоб и окончательно опустил их на нос. Это, по-видимому, означало, что толстяк взволнован. Затем, взяв чистый лист бумаги, он начертил на нем что-то и молча протянул мне.

— Вот график вашего путешествия.

Я был изумлен. Этот толстяк толкует о графиках!

— Ну, что же, — сказал я, мельком взглянув на корявый чертеж, — давайте изобразим мое путешествие графически, раз это вас интересует.

Взяв со стола лист бумаги, я стал чертить, поясняя мистеру Барнэю.

— Эти две прямые ($OX$ и $OY$ на рис. 432) будем считать осями координат. По оси $OX$ будем определять расстояния, по оси $OY$ — время. Точка $O$ изображает собой событие, которое произошло здесь в гостинице вчера в 12 часов дня. Точка $A_1$ — событие, которое произошло по пути в город на расстоянии 25 км от нас через 20 минут после 12 часов дня. Понятно?

Прежде чем он собрался ответить, я продолжал:

— Точка $O$ изображает мой отъезд отсюда. Через 20 минут я был на расстоянии 25 км (точка $A_1$). Через 40 минут — на расстоянии 50 км (точка $A_2$), через час — на расстоянии 75 км (точка $A_3$) и т. д. Все точки, изображающие

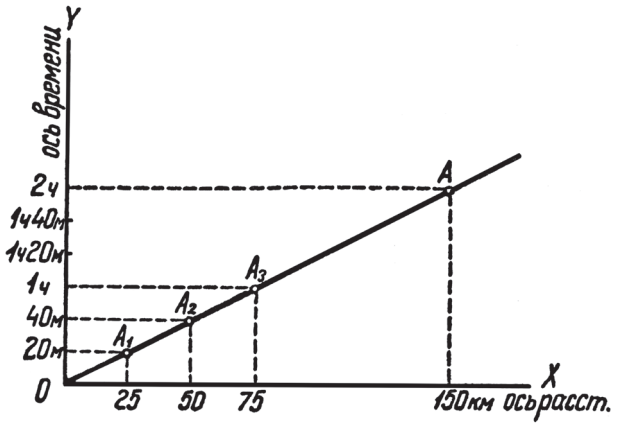



*Рис. 432.*

меня в разные моменты, лежат на прямой *AO*. Точка *A* — мое прибытие в столицу. Прямая *OA* — график моего путешествия.

Мистер Барнэй взглянул на мой чертеж.

— *OX* у вас ось пространства для гостиницы?

— Да, вдоль этой прямой я отсчитываю расстояния.

— *OY* — ось времени для гостиницы?

— Да, вдоль нее я отсчитываю время.

— *OA* — ось времени для путешественника?

Я задумался. Пожалуй, прямую *OA*, точки которой изображают путешественника в разные моменты, действительно можно назвать осью времени путешественника, подобно тому как прямая *OY*, точки которой изображают гостиницу в разные моменты, названа осью времени гостиницы. Замечание мистера Барнэя не лишено некоторого смысла, тем более что путешественник имеет право смотреть на дело так, будто он неподвижен, а гостиница и дорога убегают назад. С этой точки зрения прямая *OY* будет графиком движения гостиницы, а *OA* — осью времени путешественника.

— Да, — сказал я, — прямую *OA* можно считать осью времени путешественника.

— А где же его ось пространства?

— Ось пространства *OX*.

— Это для гостиницы. А я спрашиваю, где ось пространства путешественника?

— Ось пространства одна и та же, — ответил я.

Очки мистера Барнэя заходили с носа на лоб и обратно. Судя по числу передвижений, волнение толстяка было значительно.

— Вздор, — сказал он. — Оси времени разные, а ось пространства одна? Абсурд! Ось пространства всегда должна быть перпендикулярна к оси времени.

Так начался наш спор. Никто не мог предвидеть его роковых последствий. Тогда я был только удивлен странной ошибкой Барнэя, непоследовательностью, с какой он перескочил от моих часов к графику, и той бессмыслицей, которую он городил по поводу моего путешествия. Теперь я знаю, что менее всего его можно обвинить в непоследовательности. В помешательстве Барнэя была своя логика. Нелепое представление о графиках являлось центром безумия, от которого во все стороны отходили остальные нелепости. Но в то время я не подозревал, в какой надежной цитадели укрыто сумасшествие Барнэя, и с легким сердцем ввязался в спор.

### 3. На сцену выступает автор

Прервем здесь беседу Гарвуда и Барнэя, чтобы дать читателю необходимые пояснения относительно личности наших героев и места действия. Гарвуд самый обыкновенный человек, постоянный житель нашего мира. Характер, возраст, род занятий и точный адрес его не имеют значения. Каким-то неведомым образом Гарвуд попал в необыкновенный мир (мир № 1), устроенный по иным законам, нежели наш мир. Все приключения, которые происходят здесь с Гарвудом, объясняются особенностями мира № 1.

Барнэй — содержатель гостиницы — коренной обитатель мира № 1, куда случайно попал Гарвуд.

Чтобы описать мир № 1, мы вынуждены прибегнуть к графикам. Это не совсем обычный метод описания. Но и предмет описания не обычен, и нам невозможно обойтись теми приятными методами, которыми пользуются для изображения лесных тропинок, цветистых лугов, морских пляжей и других живописных уголков природы. Изобразить целый мир можно только на сжатом и точном языке математики, так что читатель должен примириться с нашим геометрическим методом.

Графики Гарвуда — это самые обыкновенные графики, которые чертят в школе. К тому, что вы знаете о графиках, полезно добавить следующее.

Вовсе необязательно, чтобы оси координат были взаимно перпендикулярны: ничто по существу не изменится, если выбрать координатные оси наклоненными под произвольным углом.

Так, на рис. 433 изображено несколько событий, которые происходят на пути между Ленинградом и Москвой. $OX$ — ось пространства, наклонная к ней прямая $OY$ — ось времени. Точка $N$ изображает событие, которое произошло на дороге Ленинград — Москва в 5 часов утра на расстоянии 600 км от Ленинграда. Событие, которое произошло в тот же момент времени (5 часов утра) на расстоянии 300 км от Ленинграда, изображено точкой $P_1$. Вообще, чтобы найти место и время события, изображенного некоторой точкой, нужно провести через эту точку прямые, параллельные координатным осям; отрезок, который одна из этих прямых отсекает на оси времени ($OY$), измеряет в принятом для этой оси масштабе промежуток времени

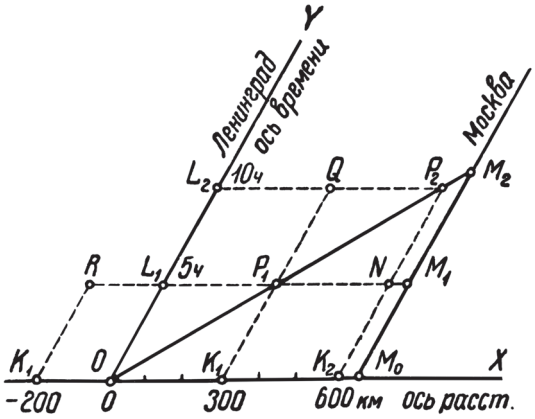



*Рис. 433.*

между данным событием и событием $O$, а отрезок на оси расстояний ($OX$) — расстояние данного события от события $O$. Читатель без труда определит, когда и где случились события $P_2$, $Q$, $K_1$, $L_1$, изображенные на рисунке. Событие R, например, произошло в 5 часов утра на расстоянии –200 км (минус 200 км) от Ленинграда. Знак «минус» указывает направление, обратное направлению на Москву (рис. 434).

События $L_1$, $P_1$, $N$ происходят одновременно, именно в 5 часов утра. Вообще события, изображенные точками прямой, параллельной оси $OX$, одновременны. Точки самой оси $OX$ изображают события, которые происходят в полночь. События, совершающиеся в одном и том же месте, изображаются точками прямой, параллельной оси $OY$. Точки самой оси $OY$ (оси времени) изображают события, происходящие в Ленинграде, иначе говоря, они изображают Ленинград в разные моменты.

По нашему чертежу легко определить расстояние между двумя событиями или промежуток времени, отделяющий одно событие от другого. Например, событие $N$ произошло на расстоянии 300 км от $P_1$ (это расстояние измеряется отрезком $K_1K_2$,

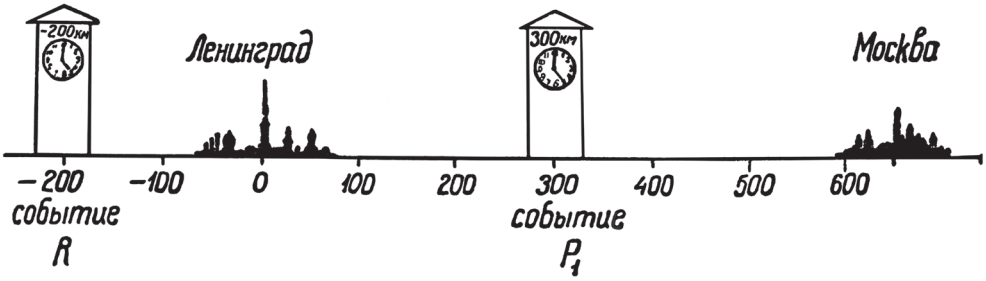



*Рис. 434.*

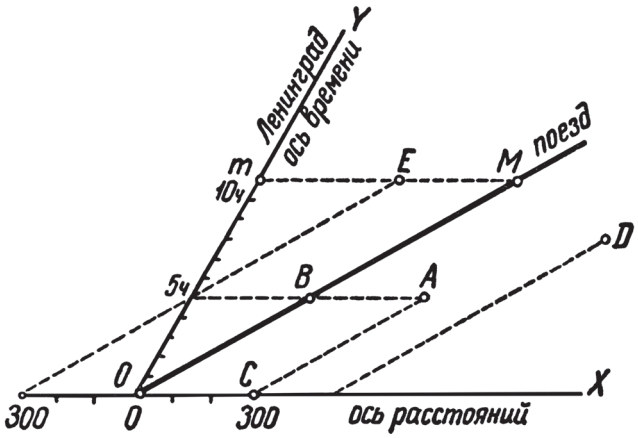



*Рис. 435.*

который равен отрезку $P_1N$). Тем же отрезком $K_1K_2$ измеряется расстояние между событиями $P_1$ и $P_2$, а также между $Q$ и $N$.

Представим себе, что ровно в полночь из Ленинграда отправляется в Москву поезд, идущий со скоростью 60 км/ч. Отправление из Ленинграда совпадает с событием $O$. В 5 часов утра поезд проходит мимо сторожки, расположенной на расстоянии 300 км от Ленинграда; это событие совпадает с событием $P_1$. В 10 часов утра поезд находится на расстоянии 600 км от Ленинграда. Событие, которое происходит в этот момент в поезде, совпадает с событием $P_2M_2$ — прибытие поезда в Москву. Предложим читателю изобразить события, которые происходят в поезде в 1 час пополуночи[1], в 2 часа, в 3 часа и т. д. Легко убедиться, что все точки, изображающие эти события, т. е. изображающие поезд в разные моменты, расположены на одной прямой, именно на прямой $OM_2$. Эта прямая представляет собой график движения поезда (рис. 435).

Итак, график движения поезда есть совокупность точек, изображающих поезд в разные моменты.

Допустим, что рис. 435 вывешен в поезде; пассажиров интересует расстояние любого события не от Ленинграда, а от поезда, в котором они находятся. Как же воспользоваться нашим графиком для ответа на этот вопрос? Очень просто. Чтобы узнать, на каком расстоянии от поезда произошло, например, событие $A$, достаточно провести через точку $A$ прямую, параллельную $OM$. Отрезок $OC$, который эта прямая отсекает на оси расстояний, измеряет в принятом масштабе расстояние события $A$ от поезда. В самом деле, в момент, когда происходит событие $A$, поезд изображается точкой $B$, т. е. находится от события $A$ на расстоянии, которое измеряется отрезком $BA$. Но $BA = OC$. Стало быть, событие $A$ произошло на расстоянии 300 км от поезда (в сторону Москвы). Таким же образом найдем, что событие $D$ произошло на расстоянии 500 км от поезда (в сторону Москвы), событие $E$ на расстоянии минус 300 км

[1] Т. е. в 1 час ночи (пополуночи — после полуночи) (*примеч. ред.*).

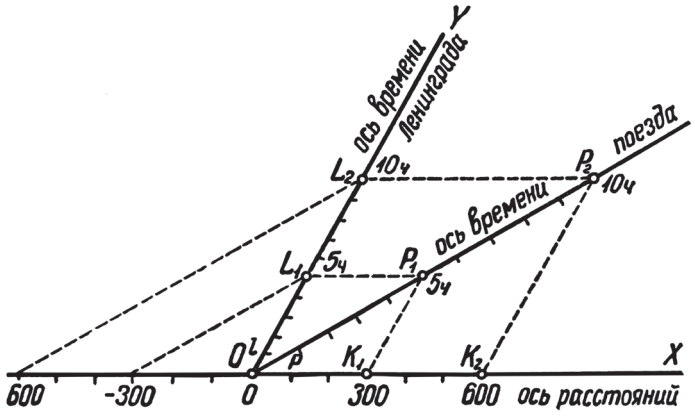



*Рис. 436.*

от поезда (300 км в сторону Ленинграда) и т. д. Словом, чтобы определять расстояния разных событий от поезда, нужно поступать так, как если бы *график движения поезда был осью времени*.

Итак, если мы хотим определять расстояния разных событий от Ленинграда, мы должны выбрать осью времени прямую *OY*, точки которой изображают собой Ленинград в разные моменты. Если же мы хотим определять расстояния событий от поезда, мы должны осью времени считать прямую *OM*, точки которой изображают поезд в разные моменты.

Пассажир, сидящий в поезде, склонен, конечно, относить все расстояния к поезду. Поэтому он будет считать осью времени прямую *OM*. Наблюдатель, остающийся в Ленинграде, наоборот, выберет в качестве оси времени прямую *OY*. Соответственно этому ленинградец будет считать, что, например, события $L_1$ и $L_2$ (которые происходят в Ленинграде) совершаются в одном и том же месте, а $P_1$ и $P_2$ (которые происходят в поезде) совершаются в разных местах (рис. 436). Иначе говоря, ленинградец считает Ленинград неподвижным, а поезд движущимся, тогда как пассажир, наоборот, принимает, что поезд неподвижен ($P_1$ и $P_2$ происходят в одном месте), а Ленинград движется назад ($L_1$ и $L_2$ происходят в разных местах). Вы уже знаете, что обе точки зрения (пассажира и ленинградца) равноправны.

Осью пространства для обоих наблюдателей остается прямая *OX*, так как и ленинградец и пассажир согласны в том, что, например, события $K_1$ и $K_2$ произошли одновременно, именно в полночь. Чтобы между пассажиром, который считает поезд неподвижным, и наблюдателем, который считает неподвижным Ленинград, было полное согласие в оценке времени (ведь наш мир таков, что никаких разногласий на этот счет не возникает, не правда ли?), необходимо еще надлежащим образом выбрать масштабы на осях времени. Именно, следует считать, что отрезок *Op* на оси пассажира изображает такой же промежуток времени, какой изображает меньший отрезок *Ol* на оси ленинградца.

Словом, наш мир, согласно обычным представлениям, устроен таким образом, что графическое описание событий с точки зрения двух движущихся относительно друг друга наблюдателей (мы говорим о равномерном прямолинейном движении) должно производиться согласно изложенным правилам: *разным наблюдателям соответствуют разные оси времени и разные масштабы для времени, а ось пространства остается одна и та же*.

Иначе устроен воображаемый мир № 1. Чтобы изобразить здесь события с точки зрения двух наблюдателей, движущихся равномерно и прямолинейно друг относительно друга, нужно поступать по иным правилам.

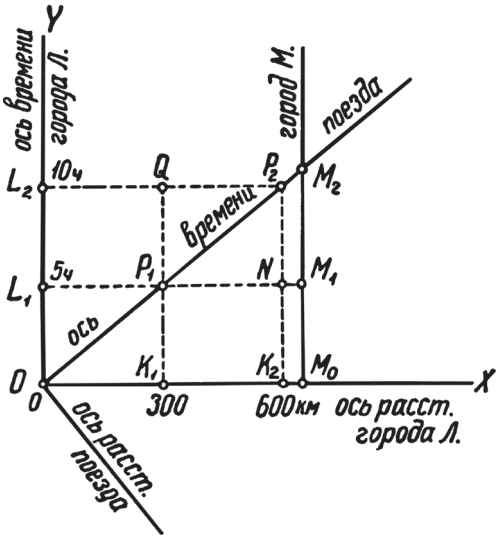



*Рис. 437.*

Во-первых, координатные оси здесь, как утверждает Барнэй, должны быть непременно взаимно перпендикулярны. Пока речь идет о графике движения поезда с точки зрения одного наблюдателя, скажем, находящегося на станции, это требование не вносит ничего нового: получается обычный график, такой, какой чертят в школе (рис. 437). Точки прямой $OM_2$ изображают поезд в различные моменты. Точки прямой $OY$ (ось времени) — это станция отправления, точки прямой $M_0M_2$ — станции назначения. Точка $P_1$ изображает событие, происходящее на расстоянии 300 км от города $Л$ в 5 часов утра, $M_2$ — прибытие поезда в город $М$.

Станем теперь на точку зрения пассажира, едущего в поезде. Он вправе считать поезд неподвижным, а полотно дороги убегающим навстречу поезду. Такой точке зрения соответствует выбор прямой $OM_2$ в качестве оси времени. В этом тоже еще нет ничего нового. Но ось пространства пассажира должна быть непременно *перпендикулярна к его оси времени*. В этом заключается первое существенное отличие мира № 1 от нашего мира. Кроме того, масштабы на разных осях времени в мире № 1 должны быть *одинаковы*, и точно так же должны быть одинаковы масштабы на разных осях пространства. Чтобы установить масштабы на разных осях, нужно провести вокруг общего начала координат, как около центра, окружность. Эта окружность отсекает на координатных осях равные отрезки, которые на всех осях времени изображают один и тот же промежуток времени, а на всех осях пространства — одно и то же расстояние (рис. 438).

Почему в мире № 1 нужно применять именно такое правило замены координат при переходе от точки зрения одного наблюдателя к точке зрения другого наблюдателя?

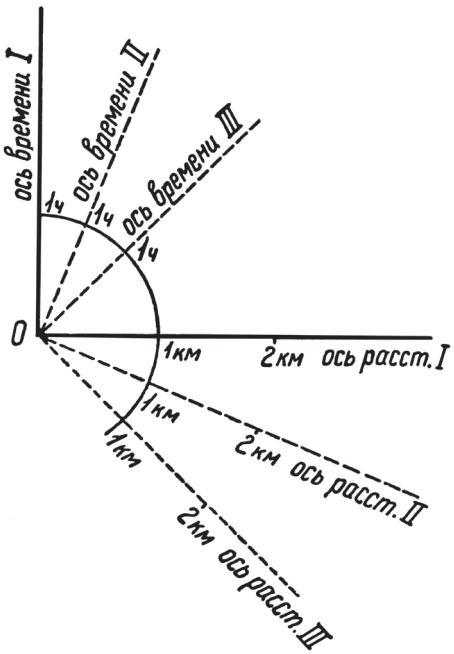



*Рис. 438.*

Потому что мир № 1 устроен так, что только при соблюдении этого правила мы получаем согласное с фактами описание того, как в этом мире воспринимают события наблюдатели, движущиеся друг относительно друга. Пусть в момент отправления поезда пассажир и наблюдатель, остающийся на станции, ставит свои часы на 12. Спустя некоторое время наблюдатель на станции видит вдали вспышку пламени и слышит грохот взрыва. Он смотрит на свои часы и отмечает, что взрыв (событие *A* на рис. 439) произошел, скажем, в 4 часа дня. Тот же взрыв слышит и пассажир, смотрит на часы и устанавливает, что взрыв случился в 6 часов дня. Точно так же по-разному оценивают они расстояние до того места, где произошел взрыв. Чем вызвано это разногласие? Конструкцией мира № 1. Этот мир устроен так, что подобные разногласия в нем неизбежны. Правило графического изображения событий, которое мы выше установили, находится в полном согласии с указанной особенностью этого мира.

*Рис. 439.*

Странное несогласие в оценке места и времени одного и того же события разными наблюдателями представляется Гарвуду совершенно нелепым, но, забегая немного вперед, скажем, что подобное несогласие существует, как установил Эйнштейн, и в нашем действительном мире. Весьма интересно поэтому познакомиться с тем, как воспринимают это, казалось бы, нелепое разногласие коренные обитатели мира № 1, вроде Барнэя. Хотя мир № 1 устроен иначе, чем наш мир, тем не менее между ними, согласно Эйнштейну, есть так много общего, что, усвоив образ мышления жителей мира № 1, мы затем без труда сумеем ориентироваться в несколько более сложном мире Эйнштейна.

Вернемся к нашему прерванному повествованию.

### 4. Лечение математикой

Мистер Барнэй так заинтересовал меня, что оттеснил на задний план вчерашние странные происшествия.

«Кто бы мог предположить, — думал я, — что этот спокойный человек помешался на графиках! Пожалуй, если доказать ему вздорность его идеи, он излечится. Но как переубедить несчастного?»

Я стал обдумывать следствия, вытекающие из его графика, и скоро наткнулся на ряд вопиющих нелепостей.

*Первая нелепость*. Событие *A*, с точки зрения наблюдателя, сидящего в гостинице, случилось в 4 часа дня, а с точки зрения путешественника в 6 часов дня (рис. 440): одно и то же событие происходит с точки зрения разных наблюдателей в разное время.

*Вторая нелепость*. Два события *A* и *B*, одновременные для наблюдателя в гостинице (оба происходят в 4 часа дня), не одновременны для путешественника: для него событие *A* случилось в 6 часов дня, а *B* в 5 часов.

*Третья нелепость*. Наблюдатель и путешественник по-разному оценивают один и тот же промежуток времени. Например, между событиями *O* и *A* прошло с точки зрения наблюдателя 4 часа, а с точки зрения путешественника — 6 часов.

*Четвертая нелепость*. Наблюдатель и путешественник по-разному оценивают одно и то же расстояние. Например, пусть точки прямой *EE* (рис. 441) изображают город в разные моменты. Тогда расстояние от гостиницы до города

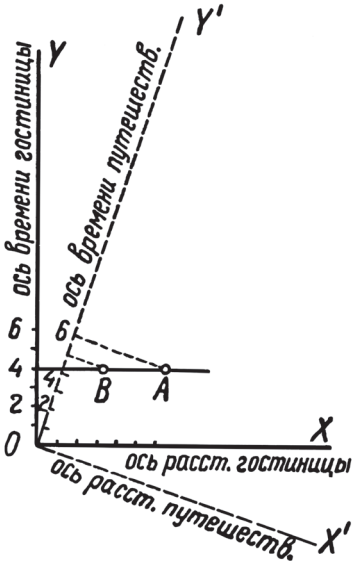



*Рис. 440.*

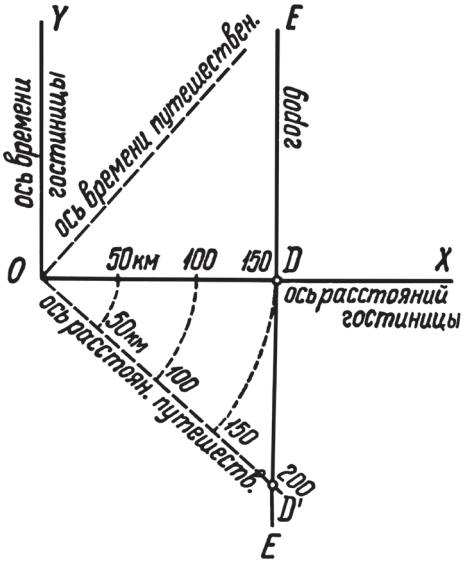



*Рис. 441.*

с точки зрения нашего наблюдателя измеряется отрезком *OD*, т. е. равно 150 км, а с точки зрения путешественника отрезком *OD′*, т. е. равно 200 км.

С этой последней нелепости я и решил начать лечение моего бедного хозяина. Мистер Барнэй сидел у себя в кабинете.

— Сколько километров до города? — спросил я, подойдя к нему с невинным видом.

— Сто пятьдесят.

— Вот видите, а с точки зрения путешественника, если он будет придерживаться вашего метода, получится больше, например 200.

Я с торжествующим видом протянул свой чертеж.

— Да, — невозмутимо ответил мистер Барнэй, даже не взглянув на него, — с точки зрения путешественника 200.

— Но ведь вы сами сказали, что до города 150 км; что же ввело в заблуждение путешественника? Не ваш ли метод?

— О каком заблуждении вы говорите? С нашей точки зрения от моей гостиницы до города 150 км, а с точки зрения путешественника — 200.

— Чем же вы объясните разногласие между нами и путешественником?

— Не вижу никакого разногласия.

— Помилуйте: один говорит 150 км, другой — 200! А вы спрашиваете, какое разногласие...

— Да нет же! Один говорит: «*с моей точки зрения* 150 км», а другой — «*с моей точки зрения* 200». Какое же тут разногласие?

— Но расстояние-то одно?

— Нет, разные.

— Разные?!. Дорога одна?

— Дорога одна, но точки зрения разные; поэтому и расстояния разные. Длина дороги с точки зрения одного наблюдателя 150 км, с точки зрения другого — 200.

— Одна и та же длина может быть, в зависимости от точки зрения, разной?

— *Не одна и та же длина, а одна и та же дорога*. С разных точек зрения она, конечно, имеет разную длину.

— Не понимаю, — сказал я, разводя руками.

Мистер Барнэй вздохнул.

— Под каким углом вы видите ту колокольню? — спросил он.

— Градусов 10.

— Тот прохожий видит ее под бóльшим углом, градусов в 20, — продолжал мистер Барнэй, косо взглянув на меня, как будто с опаской. — Вам не кажется, что между вами имеется разногласие?

— Нет, какое же разногласие? Мы смотрим на колокольню с разных точек зрения.

— С разных точек зрения одна и та же колокольня видна под разными углами, — подхватил Барнэй. — Так и дорога: с разных точек зрения одна и та же дорога представляется разной длины.

— Какова же ее истинная длина?

— А каков истинный угол, под которым видна колокольня?

— Нелепый вопрос! Истинного угла, под каким видна колокольня, не существует, это — абсурд. Есть только угол, под каким она видна из одной точки, из другой, из третьей.

— Прекрасно, — сказал Барнэй. — То же самое относится и к дороге. Истинной длины дороги не существует, это — абсурд. Существует только длина, под которой дорога представляется с одной точки зрения, с другой, с третьей и т. д.

— Что значит «длина, *под которой* представляется дорога с данной точки зрения»?

— Мы обычно говорим короче: «длина дороги с данной точки зрения». Но это плохое выражение, потому что дорога длины не имеет, как колокольня не имеет угла. Существует только угол, под которым колокольня видна из разных точек. Точно так же существует только длина, под которой представляется дорога с разных движущихся относительно нее систем. Угол, под которым вы видите колокольню, зависит от того, как далеко вы от нее находитесь. Длина, под которой представляется дорога, зависит от того, как скоро вы относительно нее передвигаетесь.

— Значит, по-вашему, дорога не имеет длины?

— Разумеется, нет.

— Ваш стол не имеет длины?

— Не имеет. Вам и мне он виден под длиной в два метра, а тому прохожему — под большей длиной.

— Вы считаете в порядке вещей, что с точки зрения путешественника расстояние отсюда до города больше, чем с точки зрения неподвижного наблюдателя?

— Разумеется.

— Если я на автомобиле поеду мимо вашего дома, то дом представится мне длиннее, чем сейчас?

— Да.

— Чем же вызывается такой обман зрения?

— Никакого обмана зрения здесь нет.

— Вы хотите сказать, что дом действительно станет длиннее? Какая же сила его растянет?

— Ничего с домом не сделается. Изменится только длина, под какой он виден.

— Вы говорите; длина дома изменится, а с домом ничего не станется. Как же так?

— *Не длина дома, а длина, под которой виден дом*. Угол, под которым видна колокольня, увеличится, когда вы подойдете к ней ближе, хотя с колокольней при этом ничего не сделается. Так и с домом. С ним ничего, конечно, не случится от того, что вы проедете мимо него, но *длина*, под которой он вам

представляется, изменится. Ведь эта длина зависит не только от дома, но и от скорости наблюдателя относительно него.

Я почувствовал, что почва под моими ногами колеблется. Здравый смысл во мне протестовал против безумной логики этого сумасшедшего, но я не находил доводов, которые можно было бы противопоставить ей. Самое сильное оружие было выбито из моих рук. Однако я не сдавался и пустил в ход другие нелепости.

— А промежутки времени существуют, или они тоже только самообман? — робко спросил я.

— Конечно, существуют, как и длина и углы. Разве угол, под которым видна колокольня, самообман? А длина, под которой представляется дорога, самообман? Все это существует в действительности, все это можно измерить.

— Взгляните. Промежуток времени между событиями *О* и *А* с точки зрения наблюдателя, сидящего в гостинице, равен четырем часам, а с точки зрения путешественника — шести. Разве это не нелепо? Один и тот же промежуток времени оценивается по-разному, и неизвестно, кто прав.

— Вы повторяете прежнюю ошибку, — возразил мистер Барнэй. — Тут не один промежуток времени, а два.

— Почему два? Вот, например, *О* изображает отъезд путешественника, а *А*, — скажем, — крушение его автомобиля. Тогда промежуток времени между *О* и *А* есть длительность путешествия от отъезда до крушения. Ведь тут *одна* длительность.

— Нет, две. Продолжительность путешествия с точки зрения вашего наблюдателя — это одна. Продолжительность путешествия с точки зрения путешественника — это другая. Так же, как с углами, под которыми видна колокольня; угол, под которым она видна отсюда, и угол, под которым она видна из другого места, — два разных угла.

— Значит, нельзя узнать, сколько продолжалось путешествие на самом деле?

— Этот вопрос не имеет смысла. Наблюдатель пережил путешествие под промежутком времени в 4 часа, а путешественник пережил его под промежутком времени в 6 часов. Это и было на самом деле.

— Стало быть, не существует длительности самой по себе? Можно говорить только о длительности, под которой пережиты два события — начало и конец процесса — из автомобиля, из поезда, из гостиницы и т. д.?

— Да.

Я больше не спорил и только задавал вопросы, потому что безумие Барнэя начало овладевать и мной. Впрочем, тогда я еще не сознавал этого.

— А может ли случиться, что два события, которые один наблюдатель воспринимает под промежутком времени, скажем, в 1 час, другой воспринимает под нулевым промежутком времени?

— Да, если наблюдатели движутся друг относительно друга. То, что одновременно для одного, не одновременно для другого.

— Странно, более чем странно! — проговорил я в раздумье.

— Вы как будто начинаете приходить в себя, — сказал мистер Барнэй. — По-видимому, вы были жертвой обыденной речи. Мы говорим: «пять метров сукна», «урок длился 2 часа» и т. д. Это, конечно, может сбить с толку.

— А как надо говорить, по-вашему?

— Надо так: «кусок сукна, который представляется наблюдателю, неподвижному относительно него, под длиной в 5 м». «Урок, который представляется наблюдателю, неподвижному относительно класса, под промежутком времени в 2 часа».

— Пространно и неудобно, — заметил я.

— Да, потому в обыденной речи и выражаются короче. Но не нужно забывать, что при этом, в буквальном смысле слова, ради краткости смысл опускается. — Мистер Барнэй улыбнулся.

Я ушел к себе потрясенный.

### 5. «Врачу, — исцелися сам»

Я не ложился и, сидя за столом, продолжал искать новые нелепости для борьбы с безумием мистера Барнэя. Я находил их немало, но все они исчезали, как только я вспоминал слова Барнэя: «Вещи не имеют длины; существуют только длины, под которыми вещь представляется с разных движущихся друг относительно друга систем. Явления не имеют длительности; существуют только длительности, под которыми представляется явление из разных движущихся друг относительно друга систем». Наконец, я набрел на одну нелепость, которая показалась мне очевиднее других.

Когда часы путешественника показывают 2 часа (точка 2' на рис. 442), часы в гостинице показывают 1 час (точка 1). Это — с точки зрения человека, сидящего в гостинице. А с точки зрения путешественника получается вот что: когда его часы показывают 1 час (точка 1'), часы в гостинице показывают 2 часа (точка 2). Часы путешественника уходят сравнительно с часами в гостинице, а часы в гостинице уходят (тоже уходят!) сравнительно с часами путешественника.

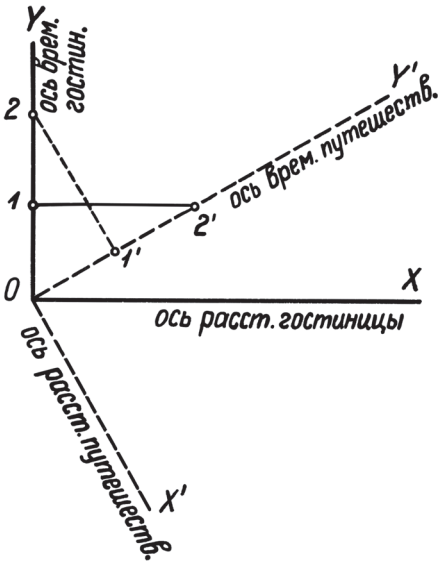



*Рис. 442.*

Подобная же нелепость получилась и с длиной. Метровая линейка, уложенная вдоль автомобиля, с точки зрения наблюдателя в гостинице имеет в длину больше метра, а с точки зрения путешественника такая же линейка, уложенная вдоль дороги, тоже имеет в длину

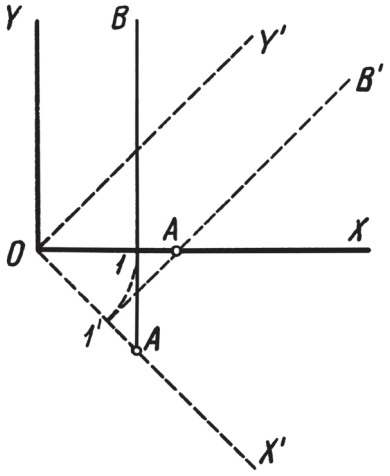



*Рис. 443.*

больше метра (рис. 443). Иван больше Петра, а Петр больше Ивана... Абсурд! Я тотчас побежал к Барнэю.

Мистер Барнэй укладывался спать. Наскоро извинившись за позднее посещение, я с торжествующим видом преподнес ему свое открытие.

Он внимательно поглядел на меня сквозь очки.

— У вас усталый вид, мистер Гарвуд, — сказал он, — вам надо отдохнуть и полечиться.

— Мистер Барнэй, оставьте в покое мое здоровье. Признайтесь, такой ерунды вы не ожидали...

— Почему вы считаете это ерундой?

— Разве не видите? Час путешественника больше, чем час в гостинице, а час в гостинице больше, чем час путешественника. *A* больше *B*, а *B* больше *A*.

— Что вы называете часом путешественника?

— Ну, хотя бы время полного оборота минутной стрелки на его часах.

— Что значит «время полного оборота»? С какой точки зрения оценивается это время.

— Без всякой точки зрения...

— Тогда это бессмысленный набор слов. Оборот стрелки не имеет длительности сам по себе...

— Ну, уж если вам так необходима «точка зрения», — выпалил я, — будем считать, что время оборота стрелки оценивается с точки зрения человека, не страдающего ожирением мозга...

Я тотчас пожалел о своей грубости; но мистер Барнэй не понял намека.

— Дело не в его мозге, — невозмутимо ответил он, — а в том, движется ли наблюдатель относительно часов или нет.

— Не все ли равно? Дело не в нем, а в часах.

— Дело не только в часах, но и в том, с какой скоростью наблюдатель движется относительно часов. Разные наблюдатели воспринимают оборот стрелки под разными промежутками времени, если они движутся относительно часов с разными скоростями. Под наименьшим промежутком времени переживает это явление наблюдатель, неподвижный относительно часов. Поэтому, с точки зрения каждого наблюдателя, все часы уходят, кроме его собственных.

— Как ни изворачивайтесь, никогда я не поверю, будто возможно, что $A$ больше $B$, а $B$ больше $A$, — с раздражением сказал я.

— Да нет же! В вашем примере не две величины, а четыре. Час путешественника с точки зрения путешественника — это $A$. Час наблюдателя с точки зрения путешественника — это $B$. Как мы уже говорили, $A$ меньше $B$. Затем час наблюдателя с точки зрения наблюдателя — это $C$. И час путешественника с точки зрения наблюдателя — это $D$. Как мы знаем, $C < D$. При этом $A = C$ и $B = D$. Что же вас смущает?

Когда я вышел из комнаты мистера Барнэя, за мной щелкнула задвижка. Я понял, что мистер Барнэй сегодня больше не желает заниматься графиками.

## 6. Последняя ставка

Под утро новая мысль осенила меня, и вместе с нею родилась надежда. Опыт!.. Как я мог забыть о нем, — единственном надежном учителе... Сколько раз выводил он человеческую мысль из тупиков, куда она забиралась, бродя во тьме. Он не даст обмануть себя хитрыми софизмами. Нет, мистер Барнэй, мы еще поборемся!

Как только во дворе послышался голос мистера Барнэя, я бегом устремился к нему.

— Я не сдаюсь, мистер Барнэй! — закричал я. — Пусть опыт решит наш спор.

— Какой опыт?

— Самый простой: поедем! Посмотрим, сделаются ли дома длиннее с нашей точки зрения, изменятся ли промежутки времени, под которыми мы видим явления...

Мистер Барнэй попятился.

— А ваше путешествие в город? — спросил он. — Вы забыли?

Мое путешествие в город! Оно выскочило у меня из головы. Предо мною вдруг встала растянутая дорога, странный ход часов, ужасные фигуры прохожих, которых я встречал, гибкие колеса, скисшее молоко... Прежде чем я успел понять это, я почувствовал, что моя ставка бита.

Да, я видел дорогу и прохожих под другой длиной, чем сейчас, я пережил путешествие под промежутком времени в шесть часов вместо двух. Отсюда мой удивительный аппетит, отсюда чрезмерный расход бензина, поэтому постарело мое молоко, поэтому так уродливы были прохожие. Факты — тоже против меня...

## 7. Без мистера Гарвуда

Мы оставляем мистера Гарвуда в самый критический момент его жизни. Оставляем навсегда. Нехорошо покидать друга в опасности. Еще хуже, если автор оставляет своего героя в беде. Но я пишу не рассказ приключений, а популярную статью о теории относительности. Мистер Гарвуд и мистер Барнэй придуманы для того, чтобы ознакомить вас с основными идеями Эйнштейна: вещи не имеют длины, явления не имеют длительности; одну и ту же вещь мы воспринимаем то под одной длиной, то под другой, в зависимости от того, с какой скоростью движемся мы относительно нее. Это не *иллюзия*, не *кажущееся* изменение; длина *действительно изменяется*, хотя *вещь остается неизменной*. То же относится к длительности, под которой мы переживаем явления.

В мире № 1, куда на свою беду попал мистер Гарвуд, эти свойства выступают с полной отчетливостью. Коренные обитатели этого мира — например, мистер Барнэй, — прекрасно ориентируются в нем. Их представления сложились под влиянием их опыта и, разумеется, находятся в добром согласии с фактами. Иной мир был бы для них совершенно непонятен. Им показалось бы нелепым, что два события, одновременные с точки зрения одного путешественника, почему-то одновременны и для всех; что линейка каким-то образом видна всем путешественникам, как бы они ни двигались относительно нее, всегда под одной и той же длиной.

Некоторые философы утверждают, будто по Эйнштейну длина и длительность зависят от сознания наблюдателя. Это неверно. Разные наблюдатели оценивают длину одного и того же предмета и длительность одного и того же явления по-разному, но их оценка зависит не от состояния их сознания, а от относительной скорости их движения. Сознание наблюдателей здесь не при чем. Угол, под которым видна колокольня, зависит не от наблюдателя, который этот угол измеряет, а от его *положения* относительно колокольни (и, разумеется, от высоты самой колокольни). Точно так же длина линейки зависит не только от линейки, — как принято было думать до Эйнштейна, — и не от наблюдателя, который ее измеряет, — как утверждают некоторые философы, извращая Эйнштейна, — а от скорости движения наблюдателя относительно линейки.

В конечном итоге Эйнштейн утверждает, что в действительности происходят изменения, подобные тем, которые смутили Гарвуда во время его воображаемого путешествия. Мы не замечаем их в обыденной жизни, потому что они крайне малы. Но вообразите на минуту, что все обстоит, как описано в мире № 1. Можно ли приписать особенности этого мира состоянию сознания наблюдателей? Конечно, нет. Для *всякого* путешественника, независимо от его сознания, расстояние от гостиницы Барнэя до города будет ровно 200 км, если он проедет это расстояние с той же скоростью, с какой ехал Гарвуд; оно будет иным, если путешественник поедет с другой скоростью, — но оно совершенно не зависит от сознания путешественника. То же относится и к длительности какого-либо явления.

«Перед нами встает вопрос, — пишет один автор, — а есть ли какая-либо объективная продолжительность времени или длина, существующая независимо от измеряющего ее наблюдателя? Раз все зависит от точки зрения, то здесь мы имеем серьезный разрыв с основами диалектического материализма».

Так ли это? Нет, не так. Если бы длина и длительность зависели от наблюдателя, эти понятия потеряли бы всякое объективное значение и должны были бы быть изгнаны из физики. По Эйнштейну длина и длительность ни в какой мере *не зависят от наблюдателя*. Правда, при изложении теории относительности часто говорят о длине и длительности «с точки зрения того или иного наблюдателя». Но наблюдатель привлекается здесь только для того, чтобы *обнаружить* некоторые соотношения между величинами в движущихся друг относительно друга системах, сами же эти соотношения ни в какой степени от него не зависят. По старым представлениям эти соотношения зависят только от самих вещей; по Эйнштейну они зависят еще и от относительной скорости этих вещей, но не от наблюдателя. Нельзя, например, говорить, что одна линейка вдвое длиннее другой, так как с изменением их относительной скорости изменится отношение их длин. Ни в коем случае нельзя также говорить, что *с точки зрения такого-то наблюдателя* одна линейка во столько-то раз длиннее другой, так как наблюдатель здесь совсем уж не при чем. Надо говорить так: «При такой-то относительной скорости двух линеек одна из них во столько-то раз длиннее другой». Этим констатируется некоторый *объективный* факт, не зависящий ни от какой «точки зрения». Наблюдатель здесь нужен, как всегда, только для того, чтобы этот факт обнаружить.

Имеет ли линейка длину, не зависящую от измеряющего ее наблюдателя? Вопрос неправильно поставлен. Линейка вообще не имеет длины. Но существует определенное отношение длин двух линеек, которое зависит от относительной скорости их (и от самих линеек) и не зависит ни от какого наблюдателя. Утверждать, что в теории относительности «все зависит от точки зрения», значит не понимать этой теории. Здесь все зависит от относительной скорости, а не от «точки зрения». Таким образом, никакого разрыва с диалектическим материализмом в теории Эйнштейна нет, но есть глубокий разрыв со старыми представлениями.

Что дало повод Эйнштейну утверждать, что вещи сами по себе не имеют длины, а явления — длительности, — об этом речь впереди.

Пока же читатель должен конкретно представить себе, что именно утверждает Эйнштейн. Основные идеи его раскрыты выше, при описании мира № 1. Впрочем, мир № 1 кое в чем существенно отличается от нашего мира, каким его рисует Эйнштейн.

Освоиться с особенностями мира № 1 и научиться мыслить понятиями его обитателей нетрудно. Но есть здесь одно обстоятельство, с которым совершенно невозможно примириться. Чтобы изобразить наглядно это затруднение, пошлем туда нашего корреспондента. На этот раз его обязанности я беру на себя. Читайте мое письмо.

## 8. Крушение мира № 1

Мы ехали во всю прыть наших неказистых кляч. Прямая и ровная дорога шла густым лесом. Местность считалась «нечистой»: говорили, что здесь пошаливают. Кучер то и дело боязливо оглядывался и не переставал погонять лошадей, которые, впрочем, при каждом ударе только вскидывали головами, но не прибавляли шага. Со мной ехал мистер Барнэй. Он сидел на облучке, повернувшись ко мне, спиной к лошадям и что-то рассказывал. Вдруг он вскрикнул, схватился за грудь и опрокинулся назад. (Это событие на графике изображено точкой *A*.)

— Что с ним? — воскликнул я.

— Убит. Пуля попала в сердце, — ответил кучер.

— Кто же стрелял?

— Вероятно, это негодяй Клио *собирается выстрелить*. (Выстрел Клио изображен точкой *B*.)

— Вы говорите «собирается»; но ведь мистер Барнэй уже убит!

— Да, убит. Я и говорю, что убийцей будет Клио. Поглядите, вон он скачет за нами (точка *C*). Держу пари, что он нас догонит через 10 минут (это будущее событие изображено точкой *O*).

Град ударов посыпался на коренника; но несчастная кляча предпочитала работать головой, чем ногами, так что наша скорость не изменилась. Я оглянулся. Вдали по дороге, нагоняя нас, быстро несся всадник. На всем скаку он поднял ружье и начал прицеливаться (точка *D*). Я невольно пригнулся и намеревался соскользнуть на дно повозки.

— Не бойтесь, он целится в Барнэя. — сказал кучер, ткнув кнутом в сторону трупа, лежащего у моих ног.

— Зачем же в него стрелять, раз он уже мертв? — спросил я.

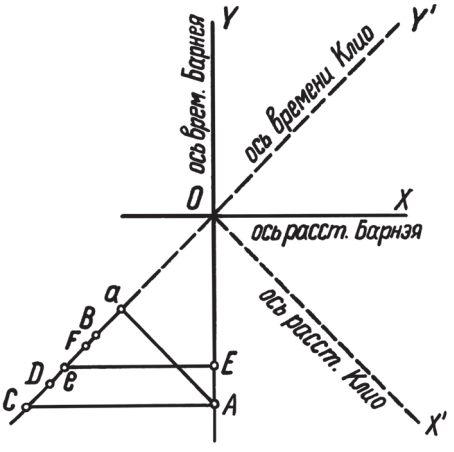



*Рис. 444.*

— Чудак вы! Ведь Клио нас догоняет, значит — мистер Барнэй для него еще жив. (Смерть Барнэя с точки зрения Клио одновременна с событием *A*, которому предшествует событие *D*.)

— В таком случае надо его укрыть, — воскликнул я, хватаясь за труп и стараясь стащить его вниз.

— Чего же его прятать, когда он мертв? — возразил кучер.

Опасность вышибла из моей головы все представления и понятия, относящиеся к новому миру, которые, как мне казалось, я твердо усвоил. Мне стало конфузно за глупости, которые я говорил. Вдруг блестящая мысль осенила меня.

— Погодите же, — закричал я. — Я сейчас подстрелю этого негодяя.

Сказано — сделано. Бац! (точка *E* на графике). Клио свалился мертвый (точка *F*).

— Он не успел выстрелить, — радостно воскликнул я. — Выстрел, который должен был убить мистера Барнэя, никогда не будет произведен.

— Разумеется, — согласился кучер. — После смерти не выстрелишь.

— Значит, мистер Барнэй спасен!

— Где там спасен, когда у него в сердце пуля сидит. Нет, его не воскресишь. Он уже похолодел.

— Какая пуля? Ведь Клио не выстрелил и никогда не выстрелит. Не может же в вашем сумасшедшем мире пуля, которая никогда не вылетит из ружья, находиться в сердце мистера Барнэя.

— Ну, уж... не могу вам объяснить... — ответил кучер. В голосе его была растерянность. — А только вы напрасно насчет нашего мира выражаться изволите. Сами нас выдумали, запутались, да нас же и попрекаете. Нехорошо, сударь...

—

Действительно, нехорошо. Мир, в котором следствия могут предшествовать причинам, решительно ни на что не годится. Приходится признать, что мир № 1 пал жертвой закона причинности.

## II. МИР НОМЕР ВТОРОЙ

### 9. Научная организация фантазии (НОФ)

На развалинах мира № 1 необходимо поставить вопрос: возможен ли вообще такой мир, в котором вещи сами по себе не имеют длины, явления не имеют длительности и нет абсолютной последовательности событий. Не обречен ли всякий мир этого рода на гибель от столкновения с законом причинности?

Мы утверждаем, что подобный мир возможен. Чтобы доказать это, нужно его построить, т. е. придумать. Но как придумать мир? Попробуйте, читатель, выдумать что-либо новое: сказку, сюжет для рассказа приключений, узор для обоев, рисунок для ситца, музыкальную мелодию. Если вы не исключительно одаренный творческим воображением человек, то убедитесь, что фантазия ваша тяжело и неуклюже топчется на месте, цепляясь за обрывки старого — слышанного, виденного, читанного, — и громоздит из них нечто скорее нелепое, чем фантастическое. Наша «крылатая фантазия», увы, нуждается в костылях.

Как помочь беде? В эпоху Научной организации труда (НОТ) и Научной организации быта (НОБ) естественно заняться Научной организацией фантазии (НОФ).

Математики придумали четвертое измерение, неевклидовы геометрии, мнимые числа и т. п. диковинки. Все это, быть может, очень скучные вещи, но по смелости и оригинальности они оставляют далеко позади самые счастливые идеи авторов фантастических романов. Неужели же сухие профессора-математики наделены более богатым воображением, чем профессиональные мастера выдумки — писатели? Разумеется, нет. Но писатели кустарничают, а профессора фантазируют научно.

Мы должны последовать примеру математиков и обратиться к Научной — скажем точнее — к Математической организации фантазии. Некоторый опыт в этом деле у нас уже есть: мир № 1 был придуман математически. Он создан тем, что мы (устами мистера Барнэя) задали правило графического изображения событий этого мира с точки зрения разных наблюдателей, движущихся друг относительно друга. Вся наша выдумка заключалась в том, что мы приняли, будто ось пространства наблюдателя всегда должна быть перпендикулярна к его оси времени. Почему непременно перпендикулярна? Вопрос незаконный. Фантазия имеет свои права, из них основное — право выдумывать все, что угодно, лишь бы выдумка не привела к логическому абсурду или к столкновению с законом причинности. Правило, положенное в основу графического построения мира № 1, привело к такому столкновению. Значит, оно было неудачно. Приходится его отбросить и подыскать другое правило, опять-таки совершенно произвольное, но способное ужиться с законом причинности.

## 10. Построение мира № 2

Каждый наблюдатель оценивает место и время любого события, происшедшего на некоторой дороге, по своим осям пространства и времени *OX* и *OY*. Эти оси могут быть и не перпендикулярны одна другой (рис. 445).

Чтобы изобразить графически событие *A*, которое произошло через два часа после начального события *O* на расстоянии 200 км от него, наблюдатель поступает так: отсчитывает по оси времени вверх от точки *O* два деления (каждое деление соответствует, в принятом нами масштабе, одному часу) и проводит прямую, параллельную оси пространства: это геометрическое место точек, изображающих события, происшедшие с точки зрения данного наблюдателя через 2 часа после начального момента. Затем отсчитывает по пространственной оси, вправо от точки *O*, 2 деления (каждое деление соответствует в принятом нами масштабе 100 км) и проводит прямую, параллельную оси времени: это геометрическое место точек, изображающих события, которые произошли с точки зрения наблюдателя на расстоянии 200 км от начального события. На пересечении прямых *BB′* с *CC′* лежит точка-событие, интересующее нас.

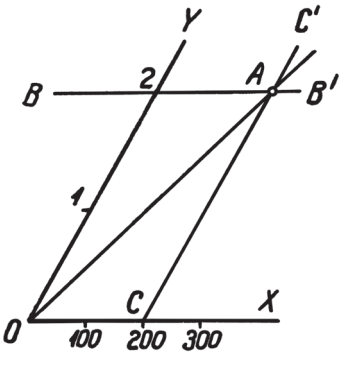



*Рис. 445.*

Легко понять, что прямая *OA* явится графиком движения точки, которая в начальный момент *O* находилась рядом с нашим наблюдателем и движется со скоростью 100 км/ч.

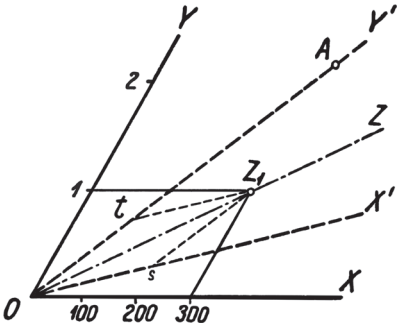



*Рис. 446.*

Прямая *OY* есть график движения самого наблюдателя. Станем теперь на точку зрения другого наблюдателя, который движется вместе с точкой *A*. Прямая *OA* — график его движения, является его осью времени. Какую прямую принять за ось его пространства? Мы отказались от требования, что ось пространства должна быть перпендикулярна оси времени, на чем настаивал Барнэй. Но мы не последуем и за Гарвудом, который предлагал принять, что ось пространства для всех наблюдателей одна и та же. Введем для ее выбора новое условие (рис. 446). Проведем биссектрису угла *XOY* (прямая *OZ*). Оси пространства и времени первого наблюдателя симметричны относительно *OZ*. Установим, как закон нового мира, такое общее правило: *ось пространства всегда должна быть симметрична оси времени относительно прямой OZ*. Таким образом, для второго наблюдателя осью пространства будет прямая *OX′*.

Что изображает собой прямая *OZ*? Она является графиком какого-то движения. С точки зрения первого наблюдателя скорость этого движения равна 300 км/ч. С точки зрения второго наблюдателя точка *Z* проходит за промежуток времени, изображенный отрезком *Ot*, расстояние, изображенное отрезком *Os*, равным *Ot* [1]. Вопрос о масштабе на осях времени и пространства второго наблюдателя оставляем пока открытым, но установим как закон нового мира, что соотношение между масштабными единицами для осей времени и пространства должно быть одинаково, т. е. отрезок, изображающий 1 час на оси времени, должен быть равен отрезку, изображающему 300 км на оси пространства. В таком случае относительно второго наблюдателя прямая *OZ* тоже является графиком движения, происходящего со скоростью 300 км/ч. Это движение играет совсем особую роль в нашем мире: все наблюдатели, как бы они ни двигались, оценивают его скорость совершенно одинаково: 300 км/ч.

Проведем еще биссектрису угла, смежного с углом *XOY* (*OZ′* на рис. 447). Что изображает эта прямая? С точки зрения нашего наблюдателя за промежуток времени, измеренный отрезком *Ot*, точка $Z'_1$ прошла расстояние, измеренное отрезком *Os′*, который равен отрезку *Os*, измеряющему расстояние, пройденное точкой $Z_1$ за тот же промежуток времени, но имеет

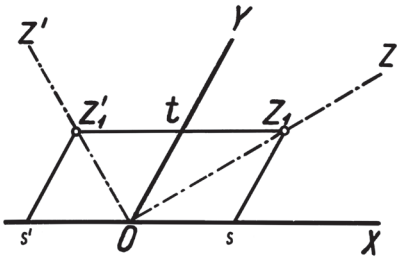



*Рис. 447.*

[1] В параллелограмме $OtZ_1s$ диагональ $OZ_1$ делит угол *O* пополам; стало быть, $OtZ_1s$ есть ромб и *Ot* = *Os*.

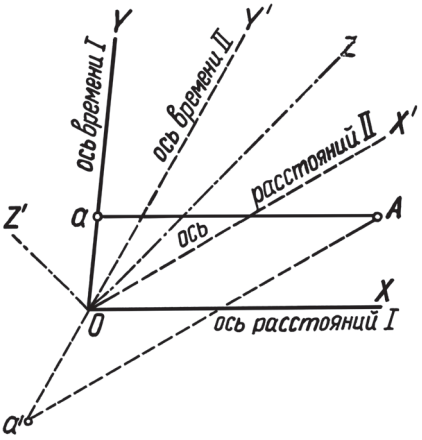



*Рис. 448.*

противоположное направление. Значит, с точки зрения нашего наблюдателя, $Z'_1$ движется с такой же скоростью, как $Z_1$, но в обратную сторону: $Z_1$, скажем, вперед, $Z'_1$ — назад. Таким образом, все наблюдатели, независимо от того как они движутся друг относительно друга, определяют скорость точки $Z'_1$ в минус 300 км/ч.

Относительно этой скорости — 300 км/ч — мы примем еще, что она является *предельной* в нашем мире: ничто не может двигаться здесь быстрее. Это значит, что графики всех движений должны лежать внутри угла $ZOZ'$. Здесь, стало быть, должны находиться прямые, изображающие оси времени разных наблюдателей. Все оси пространства будут лежать вне этого угла.

Основные законы мира № 2 установлены. Мы можем сейчас перейти к выводам, но прежде всего необходимо убедиться в том, что нашему миру не грозит опасность со стороны закона причинности.

Событие $A$ (рис. 448) с точки зрения одного наблюдателя произошло в момент $a$ — позже, чем $O$. С точки зрения другого наблюдателя оно произошло в момент $a_1$ — раньше, чем $O$. Таким образом, последовательность событий $O$ и $A$ зависит от скорости наблюдателя. Если бы событие $O$ могло быть причиной события $A$, то оказалось бы, что с точки зрения второго наблюдателя следствие предшествует причине: мир № 2 разделил бы печальную участь мира № 1. Если бы, например, событие $O$ представляло собой выстрел, а $A$ — убийство, произведенное им, то с точки зрения второго наблюдателя убийство произошло бы до его совершения. Однако в этом случае прямая $OA$ была бы графиком движения пули; стало быть, скорость пули была бы *выше предельной*, что по основному закону, установленному для мира № 2, невозможно. Закон о предельной скорости спасает нас от столкновений с законом причинности.

Итак, мир № 2 вполне жизнеспособен, т. е. свободен от внутренних противоречий. Некогда на вопрос, почему всемогущий Бог сотворил мир в 6 дней, один американец ответил: «Вследствие технической отсталости строительного искусства такая скорость считалась в те времена рекордной». Сейчас этот библейский рекорд побит. Правда, мы не создали ни хлябей небесных, ни тверди земной, ни звезд, ни планет, — зато построили пространство и время, — чего, по Библии, не сделал сам Бог.

Чтобы закончить построение нового мира, остается установить правило для определения масштабов на новых осях времени и пространства. Постараемся выполнить это наиболее разумным образом. Представьте себе, что несколько путешественников: I, II, III и т. д. встретились на нашей дороге и в этот момент все поставили свои часы на ноль. Это событие на рис. 449 отмечено точкой $O$. Затем наши

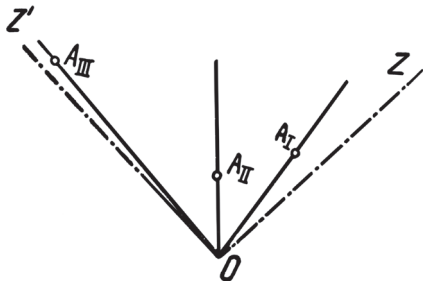



*Рис. 449.*

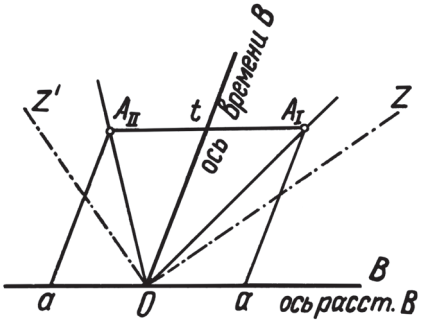



*Рис. 450.*

путешественники расходятся. Стрелки их часов движутся, и вот часы путешественника I показывают 1 час. Это событие (место и время его) отмечено на нашем графике точкой $A_{I}$. Таким же образом точка $A_{II}$ изображает собой аналогичное событие с часами II, точка $A_{III}$ — с часами III и т. д. Нет никаких оснований полагать, что все эти события одновременны с точки зрения одного из путешественников, потому что, если бы это и было так, — все равно они не были бы одновременны для других путешественников: ведь то, что одновременно для одного, не одновременно для другого. Как же установить положение точек $A_{I}$, $A_{II}$, $A_{III}$ и т. д.? Очевидно, одну из них, скажем, $A_{I}$, можно выбрать произвольно; тем самым мы выбираем масштаб чертежа. Сделав это, постараемся определить положение точки $A_{II}$. Станем для этого на точку зрения такого наблюдателя $B$, относительно которого путешественники I и II движутся с равными скоростями, но в прямо противоположные стороны. Наблюдатель $B$ полагает, что часы I и II должны одновременно (с его точки зрения, конечно) показывать одно и то же время, иначе он вынужден был бы признать, что ход часов зависит не только от скорости, с которой они движутся относительно него, но еще и от того, в какую *сторону они движутся*. Мы вынуждены признать предположение $B$ вполне разумным. В таком случае точки $A_{I}$ и $A_{II}$ должны лежать на прямой, параллельной пространственной оси наблюдателя $B$ (рис. 450).

Совершенно таким же образом можно построить точки $A_{III}$, $A_{IV}$ и т. д. Если выполнить построение, окажется, что все эти точки лежат на кривой, изображенной на рис. 451. Эта кривая представляет собой ветвь так называемой равнобочной гиперболы. С помощью нашей гиперболы мы можем установить масштабы на осях времени подобно тому, как ранее для этой цели нам служила окружность. Совершенно так же, с помощью другой гиперболы, можно установить масштабы на осях расстояний.

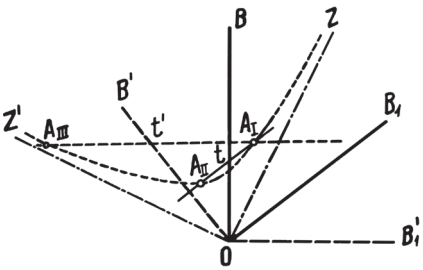



*Рис. 451.*

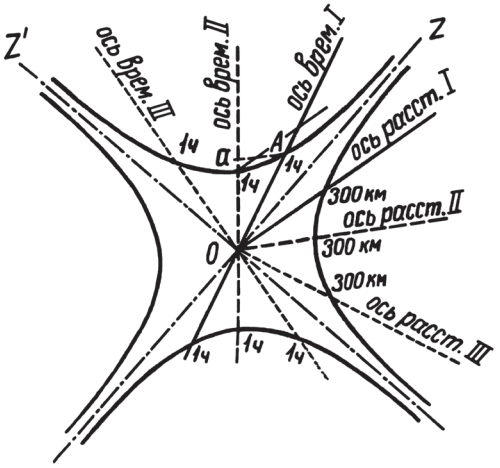



*Рис. 452.*

Ясно, что в мире № 2, как и в погибшем мире № 1, длительность является понятием относительным. Так, для путешественника II промежуток времени между событиями *O* и *A* равен (приблизительно) 70 минутам, а для путешественника I — одному часу (рис. 452). Наоборот, один час путешественника II с точки зрения I равен 70 минутам. Каждый из них считает, что часы другого отстают.

Как видите, здесь имеет место явление, обратное тому, которое происходило в мире № 1, где каждый путешественник полагал, что часы всех других уходят. Точно так же относительными являются понятия одновременности и длины.

### 11. Путешествие нового Гарвуда

Мы можем теперь переселить в новый мир нашего героя — Гарвуда.

Было бы, однако, слишком скучно заставить его проделать все сначала и слишком жестоко подвергать его пошатнувшийся разум дополнительным испытаниям. Ограничимся кратким описанием путешествия нового Гарвуда из гостиницы нового Барнэя в новый Град.

На рис. 453 точка *O* изображает отъезд Гарвуда № 2 из гостиницы в город, точка *A* — прибытие мистера Гарвуда № 2 в город, точка *B* — отправление его в обратный путь и точка *C* — возвращение в гостиницу.

Точки *O* и *C* изображают нашу гостиницу в разные моменты; поэтому прямая *OC* есть геометрическое место точек, изображающих гостиницу. Точно так же *AB* есть геометрическое место точек, изображающих город. Так как город и гостиница неподвижны друг относительно друга, прямые *AB* и *OC* параллельны. Точки прямой *OA* изображают Гарвуда № 2 по дороге в город.

Точки прямой *BC* изображают его же на обратном пути.

Допустим, что вместе с Гарвудом № 2 из гостиницы отправляется в город сигнал, идущий с предельной скоростью (скажем, радиотелеграмма об отъезде нашего путешественника).

Отправление сигнала изображает точка *O*. Прибытие его в город пусть будет представлено точкой *D*. Прямая *OZ* — график предельной скорости. Перпендикулярная к ней прямая *OZ′* изображает предельную скорость в противоположном направлении.

Проведем, наконец, масштабные гиперболы для времени и пространства и приступим к словесному описанию изображенных событий.

Станем прежде всего на точку зрения наблюдателя, неподвижного относительно гостиницы.

Чтобы взглянуть его глазами на происходящее, нужно привести события к его осям координат.

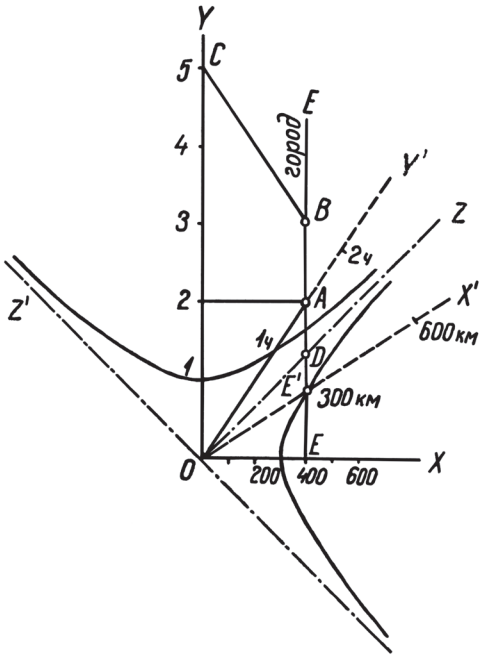



*Рис. 453.*

Прямая *OC* (рис. 453), точки которой изображают наблюдателя в разные моменты, является его осью времени. Перпендикулярная ей прямая *OX* — его ось пространства. С его точки зрения, расстояние до города изображено отрезком *OE* и равно 400 км. Путешественник прибыл в город через 2 часа после отъезда[1].

Иначе происходило дело с точки зрения самого путешественника. Его ось времени прямая *OA*; стало быть, ось пространства *OX′*. Расстояние от гостиницы до города изображается отрезком *OE′* и равно 300 км. В город он прибыл через полтора часа после отъезда из гостиницы. Таким образом длина, под которой движущийся наблюдатель воспринимает дорогу между гостиницей и городом, меньше, чем длина, под которой ту же дорогу воспринимает наблюдатель, неподвижный относительно нее. Точно так же промежуток времени, под которым путешественник воспринимает свое путешествие, меньше, чем промежуток времени, под которым то же путешествие воспринимает наблюдатель, движущийся относительно первого. Значит, в мире № 2 предметы не имеют длины и явления не имеют длительности: длина, под которой наблюдатель, движущийся относительно стержня, видит стержень, *меньше* (в мире № 1 она была больше), чем длина, под которой тот же стержень

[1] Ради отчетливости чертежа мы приняли скорость нового Гарвуда равной 200 км/ч и изменили также другие числовые данные.

представляется наблюдателю, неподвижному относительно него. Аналогичным образом обстоит дело и с промежутками времени, под которыми разные наблюдатели воспринимают одно и то же явление: наблюдателю, неподвижному относительно места, в котором явление совершается, оно представляется под наибольшим промежутком времени (в мире № 1 наоборот — под наименьшим).

Встречные прохожие представляются мистеру Гарвуду № 2 не вытянутыми в направлении движения, а сплюснутыми (см. заставку в конце главы).

Молоко, которое взял с собой новый Гарвуд, оказалось по возвращении более свежим, чем молоко того же удоя, оставшееся в гостинице. Сам мистер Гарвуд, проведя в пути 3 часа и в городе 1 час, вернулся в гостиницу, которая постарела к его возвращению на 5 часов. Таким образом мистер Гарвуд прожил под промежутком времени в 4 часа то, что обитатели гостиницы прожили под промежутком в 5 часов. Если бы он путешествовал дольше и быстрее, экономия во времени оказалась бы более значительной.

Любой обитатель мира № 2, которому захотелось бы узнать, что будет через 100 лет, может удовлетворить свое любопытство, «прыгнув в будущее». Для этого он должен отправиться в путь со скоростью более или менее близкой к предельной, и затем вернуться назад. Чем ближе его скорость к предельной, тем скорее достигнет он цели. Если, например, он поедет со скоростью 298,5 км/ч, то, проездив (туда и обратно) 10 лет, найдет по возвращении жизнь ушедшей на 100 лет вперед. Его встретят новые люди, которые только по книгам знают о том, что давным-давно, 100 лет тому назад, отправился в дорогу «путешественник в будущее». Он увидит новые здания, новые города, новые обычаи, новые достижения науки и техники. Любопытство его будет удовлетворено в полной мере. Но если этот «путешественник во времени» захочет вернуться в прошлое к своим былым друзьям и сверстникам, то — увы — это окажется невозможным: он сможет только посетить их забытые могилы. «Машина времени» в мире № 2 движется только вперед.

### 12. Слово предоставляется фактам

Как ни удивителен мир № 2, он чрезвычайно похож на действительный мир, в котором мы живем; только предельная скорость на самом деле равна не 300 км/ч, а 300 000 км/с. Вот и все различие. Те странные явления, которые происходят с путешественниками в мире № 2, происходят и с нами, когда мы едем в трамвае, в поезде, на автомобиле. Но масштаб этих изменений иной, чем в мире № 2, ибо скорости, с которыми мы передвигаемся, составляют ничтожно малую долю предельной скорости. Часы в движущемся поезде действительно отстают сравнительно с часами на станции, но на перегоне от Ленинграда до Москвы это отставание не превысит 0,000 000 000 2 долей секунды: никакими, самыми точными измерениями не может быть оно обнаружено.

Для пассажира, едущего из Ленинграда в Москву, размеры всех предметов, расположенных неподвижно относительно железнодорожного полотна или находящихся во встречном поезде, являются укороченными в направлении движения, но если поезд мчится (лучше сказать — *ползет*) со скоростью 100 км/ч, то длина всего пути от Ленинграда до Москвы представляется пассажиру укороченной на 3 миллионные доли миллиметра. Обнаружить подобное изменение длины невозможно.

Какое же право имеем мы утверждать, что такие абсолютно неощутительные изменения длины и длительности происходят в действительности?

Это право дает нам один замечательный опыт, который около 50 лет тому назад[1] поверг в великое смущение всех физиков.

Когда встречаются два поезда, из которых один идет со скоростью $v_1$, а другой со скоростью $v_2$, то скорость одного поезда относительно другого равна $v_1 + v_2$. Если же один поезд обгоняет другой, то относительная скорость их равна $v_1 - v_2$. На том же основании можно было бы ожидать, что скорость света относительно наблюдателя, который движется навстречу световому лучу, должна быть больше, а относительно наблюдателя, удаляющегося от источника света, меньше, чем относительно неподвижного наблюдателя. Именно, если скорость света относительно неподвижного наблюдателя обозначить через $c$, а скорость наблюдателя через $v$, то в первом случае (встречное движение) наблюдатель найдет, что свет движется относительно него со скоростью $c + v$, а во втором, что свет обгоняет его со скоростью $c - v$.

Этого следовало ожидать согласно обычным представлениям.

Но в 1881 г. американский исследователь Майкельсон[2] произвел свой знаменитый опыт, на основании которого пришлось сделать вывод, что скорость света относительно наблюдателя *не зависит от того, движется ли наблюдатель навстречу лучу или удаляется в противоположную сторону*.

Объяснить этот неожиданный результат, оставаясь при старом представлении о строении нашего мира, невозможно; но результат этот совершенно понятен, если наш мир устроен, как мир № 2. Мы уже говорили, что в мире № 2 существует *предельная скорость*, которую все наблюдатели, как бы ни двигались они друг относительно друга, оценивают совершенно одинаково. Стоит только принять, что наш мир есть мир № 2 и что свет распространяется *с предельной скоростью*, — и загадка, которую поставил перед нами Майкельсон, разрешится сама собою.

Именно такое объяснение неожиданного результата опыта Майкельсона и предложил Альберт Эйнштейн.

---

[1] Текст написан в 1930 г. (*примеч. ред.*).

[2] *Майкельсон Альберт* (1852–1931) — американский физик, изобретатель точных оптических приборов (в том числе интерферометра, названного его именем), автор экспериментов по определению скорости света; первый ученый США — лауреат Нобелевской премии по физике (1907 г.) (*примеч. ред.*).

Так появилась (в 1904 г.) «специальная теория относительности». Впоследствии (в 1916 г.) Эйнштейн, развивая свою теорию, пришел к выводу, что конструкция мира зависит от наличия тяготеющих масс, так что только в частях пространства, весьма удаленных от крупных небесных тел, строение мира совпадает с конструкцией мира № 2; вблизи же небесных тел оно отличается от конструкции этого мира тем сильнее, чем выше в данном месте напряжение тяготения. Вблизи земной поверхности отступление действительных свойств пространства и времени от свойств пространства и времени мира № 2 чрезвычайно незначительно, так как напряжение тяжести на Земле сравнительно весьма мало.

Мы не можем здесь входить в изложение этой «общей теории относительности» и будем вполне удовлетворены, если статья наша поможет читателю усвоить основную идею Эйнштейна: вещи сами по себе *не имеют длины*, явления не имеют *длительности*; разные наблюдатели, движущиеся друг относительно друга, оценивают по-разному длину одного и того же предмета и длительность одного и того же явления.

*Рис. 454. В мире № 2. Колеса, катясь, оставались растянутыми сверху вниз.*

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### «Занимательная физика. Книга I»


Из предисловия к тринадцатому изданию ..... 7

*Глава первая: Скорость — Сложение движений*
Как быстро мы движемся? ..... 10
Разные способы выражать скорость ..... 14
Быстрее Солнца и Луны ..... 15
Тысячная доля секунды ..... 16
Лупа времени ..... 19
Днем или ночью? ..... 20
Загадка тележного колеса ..... 21
Самая медленная часть колеса ..... 22
Задача не шутка ..... 23
Откуда плыла лодка? ..... 24

*Глава вторая: Тяжесть и вес — Рычаг — Давление*
Встаньте! ..... 26
Ходьба и бег ..... 28
Надо ли из вагона прыгать вперед? ..... 31

Поймать боевую пулю руками ..... 33
Арбуз-бомба ..... 33
На платформе весов ..... 35
Где вещи тяжелее? ..... 36
Сколько весит тело, когда оно падает? ..... 37
Из пушки на Луну ..... 39
Как Жюль Верн описал путешествие на Луну
и как оно должно было бы происходить? ..... 41
Верно взвесить на неверных весах ..... 43
Сильнее самого себя ..... 44
Почему заостренные предметы колючи? ..... 45
Наподобие Левиафана ..... 46

*Глава третья: Сопротивление среды*
Пуля и воздух ..... 48
Сверхдальняя стрельба ..... 49
Почему взлетает бумажный змей? ..... 51
Живые планеры ..... 53
Безмоторное летание у растений ..... 54
Затяжной прыжок парашютиста ..... 55
Бумеранг ..... 56

*Глава четвертая: Вращение — Вечные двигатели*
Как отличить вареное яйцо от сырого? ..... 58
«Чертово колесо» ..... 59
Чернильные вихри ..... 60
Обманутое растение ..... 61
Вечные двигатели ..... 62
«Зацепочка» ..... 65
«Главная сила — в шарах» ..... 66
Аккумулятор Уфимцева ..... 67
«Чудо и не чудо» ..... 67
Еще «вечные двигатели» ..... 69
«Вечный двигатель» времен Петра I ..... 69

*Глава пятая: Свойства жидкостей и газов*
Задача о двух кофейниках ..... 74
Чего не знали древние ..... 75
Жидкости давят... вверх! ..... 76
Что тяжелее? ..... 77

Естественная форма жидкости ..... 78
Почему дробь круглая?..... 80
«Бездонный» бокал..... 81
Любопытная особенность керосина ..... 82
Копейка, которая в воде не тонет..... 83
Вода в решете..... 84
Пена на службе техники..... 85
Мнимый «вечный» двигатель ..... 86
Мыльные пузыри ..... 88
Что тоньше всего?..... 92
Сухим из воды..... 93
Как мы пьем? ..... 94
Улучшенная воронка..... 94
Тонна дерева и тонна железа..... 95
Человек, который ничего не весил..... 95
«Вечные часы»..... 99

*Глава шестая: Тепловые явления*
Когда Октябрьская железная дорога длиннее — летом или зимой? ...101
Безнаказанное хищение .....102
Высота Эйфелевой башни .....103
От чайного стакана к водомерной трубке .....104
Легенда о сапоге в бане.....105
Как устраиваются чудеса .....106
Часы без завода .....108
Поучительная папироса.....110
Лед, не тающий в кипятке .....111
На лед или под лед? .....111
Почему дует от закрытого окна? .....113
Таинственная вертушка .....113
Греет ли шуба?.....114
Какое время года у нас под ногами?.....115
Зимнее отопление летним солнцем .....116
Бумажная кастрюля.....120
Единственное скользкое тело в природе .....121
Задача о ледяных сосульках.....123

*Глава седьмая: Лучи света*
Пойманные тени.....125
Цыпленок в яйце .....127

Сигнал с Луны . . . . . 127
Карикатурные фотографии . . . . . 128
Задача о солнечном восходе . . . . . 130
Скорость света . . . . . 130
По волнам бесконечности . . . . . 131
I. Очевидец прошлого . . . . . 131
II. Десятилетия протекают в один час . . . . . 132
III. Обратный ход мировой истории . . . . . 133
IV. Сражение навыворот . . . . . 135
V. Вверх по реке времен . . . . . 136
Так ли? . . . . . 136
По океану Вселенной . . . . . 138

*Глава восьмая: Отражение и преломление света*
Видеть сквозь стены . . . . . 140
Говорящая отрубленная голова . . . . . 142
Впереди или сзади? . . . . . 143
Можно ли видеть зеркало? . . . . . 143
Животные у зеркала . . . . . 144
Кого мы видим, глядя в зеркало? . . . . . 145
Рисование перед зеркалом . . . . . 146
Расчетливая поспешность . . . . . 147
Полет вороны . . . . . 148
Новое и старое о калейдоскопе . . . . . 149
Дворцы иллюзий и миражей . . . . . 150
Пытка зеркалами . . . . . 153
Почему и как преломляется свет . . . . . 155
Когда длинный путь быстрее короткого? . . . . . 157
Новые Робинзоны . . . . . 160
Необыкновенная причина пожаров . . . . . 162
Как добыть огонь с помощью льда? . . . . . 163
С помощью солнечных лучей . . . . . 165
Старое и новое о миражах . . . . . 167
«Зеленый луч» . . . . . 170

*Глава девятая: Зрение одним и двумя глазами*
Когда не было фотографии . . . . . 174
Чего многие не умеют? . . . . . 175
Искусство рассматривать фотографии . . . . . 176
На каком расстоянии надо держать фотографию? . . . . . 177

Странное действие увеличительного стекла....178
Увеличение фотографий....179
Лучшее место в кинотеатре....180
Совет читателям иллюстрированных журналов....181
Рассматривание картин....182
Что такое стереоскоп?....182
Наш естественный стереоскоп....184
Одним и двумя глазами....188
Простой способ разоблачать подделки....188
Зрение великанов....189
Вселенная в стереоскопе....191
Зрение тремя глазами....194
Что такое блеск?....195
Зрение при быстром движении....196
Окрашенные тени....197
Сквозь цветные очки....197
«Чудеса теней»....198
Неожиданные превращения окраски....199
Высота книги....201
Размеры башенных часов....202
Белое и черное....202
Какая буква чернее?....204
Живые портреты....205
Воткнутые линии и другие обманы зрения....206
Как видят близорукие?....209

*Глава десятая: Звук и слух*
Как разыскивать эхо?....211
Звук вместо мерной ленты....213
Звуковые зеркала....214
Звуки в театральном зале....215
Эхо со дна моря....216
Жужжание насекомых....218
Слуховые обманы....218
Где стрекочет кузнечик?....219
Курьезы слуха....221
Как измеряют шум?....222
«Чудеса чревовещания»....223

Сто вопросов к первой книге «Занимательной физики»....225

**«Занимательная физика. Книга II»**

Из предисловия к тринадцатому изданию ..... 230

*Глава первая: Основные законы механики*
Самый дешевый способ путешествовать ..... 232
«Земля, остановись!» ..... 233
Письмо с аэроплана ..... 235
Бомбометание ..... 236
Безостановочная железная дорога ..... 237
Предупреждение катастроф ..... 240
Улицы будущего ..... 240
Непостижимый закон ..... 242
Отчего погиб Святогор-богатырь? ..... 243
Можно ли двигаться без опоры? ..... 244
Почему взлетает ракета? ..... 244
Как движется каракатица? ..... 247
К звездам на ракете ..... 248

*Глава вторая: Сила — Работа — Трение*
Задача о лебеде, раке и щуке ..... 251
Вопреки Крылову ..... 253
Легко ли сломать яичную скорлупу? ..... 255
Под парусами против ветра ..... 257
Мог ли Архимед поднять Землю? ..... 258
Жюль-верновский силач и формула Эйлера ..... 260
От чего зависит крепость узлов ..... 262
Если бы не было трения ..... 262
Физическая причина катастрофы «Челюскина» ..... 264
Самоуравновешивающаяся палка ..... 266

*Глава третья: Круговое движение*
Почему не падает вращающийся волчок? ..... 269
Искусство жонглеров ..... 271
Новое решение колумбовой задачи ..... 273
Уничтоженная тяжесть ..... 274
Вы в роли Галилея ..... 276
Мой спор с вами ..... 278
Финал нашего спора ..... 279
В «заколдованном» шаре ..... 279

Жидкий телескоп . . . . . 283
«Чертова петля» . . . . . 284
Математика в цирке . . . . . 285
Нехватка в весе . . . . . 287

*Глава четвертая: Всемирное тяготение*
Велика ли сила притяжения? . . . . . 289
Стальной канат от Земли до Солнца . . . . . 290
Можно ли укрыться от силы тяготения? . . . . . 291
Как полетели на Луну герои Уэллса . . . . . 292
Полчаса на Луне . . . . . 293
Стрельба на Луне . . . . . 294
В бездонном колодце . . . . . 295
Сказочная дорога . . . . . 298
Как роют туннели? . . . . . 299

*Глава пятая: Путешествие в пушечном снаряде*
Ньютонова гора . . . . . 302
Фантастическая пушка . . . . . 303
Тяжелая шляпа . . . . . 303
Как ослабить сотрясение? . . . . . 304
Для друзей математики . . . . . 305

*Глава шестая: Свойства жидкостей и газов*
Море, в котором нельзя утонуть . . . . . 307
Как работает ледокол? . . . . . 310
Где находятся затонувшие суда? . . . . . 311
Подводные фабрики . . . . . 313
Как осуществились мечты Жюля Верна и Уэллса . . . . . 314
Как был поднят «Садко»? . . . . . 317
«Вечный» водяной двигатель . . . . . 319
Кто придумал слова «газ» и «атмосфера»? . . . . . 320
Как будто простая задача . . . . . 321
Задача о бассейне . . . . . 322
Удивительный сосуд . . . . . 324
Поклажа из воздуха . . . . . 325
Новые героновы фонтаны . . . . . 327
Обманчивые сосуды . . . . . 330
Сколько весит вода в опрокинутом стакане? . . . . . 330
Отчего притягиваются корабли? . . . . . 331

Принцип Бернулли и его следствия....334
Назначение рыбьего пузыря....337
Волны и вихри....339
Путешествие в недра Земли....343
Фантазия и математика....344
В глубочайшей шахте мира....346
Ввысь со стратостатами....348

*Глава седьмая: Тепловые явления*
Веер....350
Греет ли вуаль?....351
Отчего при ветре холоднее?....351
Горячее дыхание пустыни....352
Охлаждающие кувшины....352
Ледник без льда....353
Какую жару способны мы переносить?....354
Термометр или барометр?....355
Для чего служит ламповое стекло?....356
Почему пламя не гаснет само собой?....357
Недостающая глава в романе Жюля Верна....357
Завтрак в невесомой кухне....358
Почему вода гасит огонь?....361
Как тушат огонь с помощью огня?....361
Можно ли воду вскипятить кипятком?....363
Можно ли вскипятить воду снегом?....364
«Суп из барометра»....365
Всегда ли кипяток горяч?....367
Горячий лед....369
Холод из угля....369

*Глава восьмая: Магнетизм — Электричество*
«Любящий камень»....371
Задача о компасе....372
Линии магнитных сил....373
Как намагничивается сталь?....374
Исполинские электромагниты....375
Магнитные фокусы....377
Магнит в физкультуре....378
Магнит в земледелии....379
Магнитная летательная машина....380

Наподобие «магометова гроба» ..... 381
Электромагнитный транспорт ..... 382
Сражение марсиан с земножителями ..... 384
Часы и магнетизм ..... 385
Магнитный «вечный» двигатель ..... 386
Музейная задача ..... 388
Еще воображаемый вечный двигатель ..... 388
Почти вечный двигатель ..... 389
Сколько лет существует Земля? ..... 390
Птицы на проводах ..... 392
При свете молнии ..... 394
Сколько стоит молния? ..... 395
Грозовой ливень в комнате ..... 396

*Глава девятая: Отражение и преломление света — Зрение*
Пятикратный снимок ..... 398
Солнечные двигатели и нагреватели ..... 399
Мечта о шапке-невидимке ..... 401
Невидимый человек ..... 402
Могущество невидимого ..... 405
Прозрачные препараты ..... 406
Может ли невидимый видеть? ..... 407
Охранительная окраска ..... 408
Защитный цвет ..... 409
Человеческий глаз под водой ..... 410
Как видят водолазы? ..... 411
Стеклянные чечевицы под водой ..... 412
Неопытные купальщики ..... 413
Невидимая булавка ..... 414
Мир из-под воды ..... 417
Цвета в глубине вод ..... 421
Слепое пятно нашего глаза ..... 422
Какой величины нам кажется Луна? ..... 424
Видимые размеры светил ..... 426
Сфинкс ..... 428
Почему микроскоп увеличивает? ..... 431
Зрительные самообманы ..... 433
Иллюзия, полезная для портных ..... 434
Что больше? ..... 434
Сила воображения ..... 435

Еще иллюзии зрения . . . . . 436
Что это? . . . . . 438
Необыкновенные колеса . . . . . 439
«Микроскоп времени» в технике . . . . . 442
Диск Нипкова . . . . . 443
Почему заяц косой? . . . . . 445
Почему в темноте все кошки серы? . . . . . 446
Существуют ли лучи холода? . . . . . 446

*Глава десятая: Звук — Волнообразное движение*
Звук и радиоволны . . . . . 448
Звук и пуля . . . . . 449
Мнимый взрыв . . . . . 449
Счастливая случайность . . . . . 450
Самый медленный разговор . . . . . 451
Скорейшим путем . . . . . 451
Барабанный телеграф . . . . . 452
Звуковые облака и воздушное эхо . . . . . 453
Беззвучные звуки . . . . . 454
Сверхзвуки на службе техники . . . . . 455
Голоса лилипутов и Гулливера . . . . . 456
Для кого ежедневная газета выходит дважды в день? . . . . . 457
Задача о паровозных свистках . . . . . 457
Явление Доплера . . . . . 459
История одного штрафа . . . . . 460
Со скоростью звука . . . . . 461

Сто вопросов ко второй книге «Занимательной физики» . . . . . 463

**«Занимательная механика»**

Предисловие . . . . . 469

*Глава первая. Основные законы механики*
Задача о двух яйцах . . . . . 471
Путешествие на деревянном коне . . . . . 473
Здравый смысл и механика . . . . . 473
Поединок на корабле . . . . . 474
Аэродинамическая труба . . . . . 476
На полном ходу поезда . . . . . 477

Коперник и Птолемей ..... 479
Как надо понимать закон инерции ..... 480
Действие и противодействие ..... 482
Задача о двух лошадях ..... 484
Задача о двух лодках ..... 484
Загадка пешехода и паровоза ..... 485
Что значит «преодолеть инерцию»? ..... 486
Железнодорожный вагон ..... 487

*Глава вторая. Сила и движение*
Справочная таблица по механике ..... 488
Отдача огнестрельного оружия ..... 491
Знание обиходное и научное ..... 493
Пушка на Луне ..... 494
Наган на дне океана ..... 495
Сдвинуть земной шар ..... 497
Ложный путь изобретательства ..... 499
Где центр тяжести летящей ракеты? ..... 500

*Глава третья. Тяжесть*
Свидетельства отвеса и маятника ..... 502
Маятник в воде ..... 506
На наклонной плоскости ..... 507
Когда горизонтальная линия не горизонтальна? ..... 508
Магнитная гора ..... 511
Реки, текущие в гору ..... 512
Задача о железном пруте ..... 513

*Глава четвертая. Падение и бросание*
Семимильные сапоги ..... 515
Человек-бомба ..... 519
Рекорд бросания мяча ..... 523
По хрупкому мосту ..... 524
Три пути ..... 525
Задача о четырех камнях ..... 527
Задача о двух камнях ..... 527
Игра в мяч ..... 528

*Глава пятая. Круговое движение*
Простой способ прибавиться в весе ..... 529

Небезопасный аттракцион ..... 531
На железнодорожном закруглении ..... 532
Дорога не для пешеходов ..... 534
Земля набекрень ..... 535
Почему реки извиваются? ..... 537

*Глава шестая. Удар*
В поисках самого понятного ..... 540
Механика удара ..... 541
Изучите свой мяч ..... 543
На крокетной площадке ..... 548
«От скорости сила» ..... 549
Человек-наковальня ..... 550

*Глава седьмая. Кое-что о прочности*
Для измерения океанских глубин ..... 553
Самые длинные отвесы ..... 555
Самый крепкий материал ..... 556
Что крепче волоса? ..... 558
Почему велосипедная рама делается из трубок? ..... 559
Притча о семи прутьях ..... 561

*Глава восьмая. Работа, мощность, энергия*
Чего многие не знают об единице работы ..... 563
Как произвести килограммометр работы? ..... 564
Как не надо вычислять работу ..... 565
Тяга трактора ..... 567
Живые и механические двигатели ..... 567
Сто зайцев и один слон ..... 569
Машинные рабы человечества ..... 570
Отвешивание «с походом» ..... 574
Задача Аристотеля ..... 574
Упаковка хрупких вещей ..... 576
Чья энергия? ..... 577
Самозаводящиеся механизмы ..... 579
Добывание огня трением ..... 580
Энергия растворенной пружины ..... 583

*Глава девятая. Трение и сопротивление среды*
С ледяной горы ..... 586

С выключенным мотором ..... 587
Тележные колеса ..... 588
На что расходуется энергия паровозов и пароходов? ..... 589
Камни, увлекаемые водой ..... 589
Скорость дождевых капель ..... 592
Загадка падения тел ..... 594
Вниз по течению ..... 595
Когда дождь промочит сильнее? ..... 597

*Глава десятая. Механика в живой природе*
Гулливер и великаны ..... 599
Почему бегемот неуклюж? ..... 601
Строение наземных животных ..... 602
Судьба вымерших чудовищ ..... 602
Кто лучше прыгает? ..... 604
Кто лучше летает? ..... 605
Безвредное падение ..... 606
Почему деревья не растут до неба? ..... 607
Из книги Галилея ..... 608

*Глава одиннадцатая. Занимательная прогулка в страну Эйнштейна*
(очерк О. А. Вольберга)

Вступительные замечания ..... 611

*I. Мир номер первый*
1. Необычайные приключения мистера Гарвуда ..... 612
2. Мистер Гарвуд ищет разгадку ..... 614
3. На сцену выступает автор ..... 617
4. Лечение математикой ..... 623
5. «Врачу, — исцелися сам» ..... 627
6. Последняя ставка ..... 629
7. Без мистера Гарвуда ..... 630
8. Крушение мира № 1 ..... 632

*II. Мир номер второй*
9. Научная организация фантазии (НОФ) ..... 633
10. Построение мира № 2 ..... 634
11. Путешествие нового Гарвуда ..... 638
12. Слово предоставляется фактам ..... 640

Яков Исидорович Перельман

**ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА**

На основании п. 2.3 статьи 1 Федерального закона № 436-ФЗ от 29.12.2010 не требуется знак информационной продукции, так как данное издание классического произведения имеет значительную историческую, художественную и культурную ценность для общества

Компьютерная верстка,
обработка иллюстраций,
дополнительные комментарии
*В. Шабловского*

Дизайн обложки, подготовка к печати
*А. Яскевича*

Сдано в печать 09.12.2022
Объем 20,5 печ. листов
Тираж 3100 экз.
Заказ № 6351/22

Бумага
Кремовая пухлая 60 г/м$^2$

ООО «СЗКЭО»
Телефон в Санкт-Петербурге: +7 (812) 365-40-44
E-mail: knigi@szko.ru
Интернет-магазин: www.сзкэо.рф

Отпечатано в соответствии с предоставленными материалами
в ООО «ИПК Парето-Принт»,
170546, Тверская область, Промышленная зона Боровлево-1,
комплекс № 3А, www.pareto-print.ru

Яков Исидорович Перельман (1882–1942) не был ни физиком, ни математиком, ни астрономом, — он окончил Лесной институт в Санкт-Петербурге (ныне СПбГЛТУ). Не был он ни литератором, ни педагогом, — но состоял в переписке с крупнейшими учеными и писателями всего мира, работал над составлением новых учебников и задачников по математике и физике, прочитал более двух тысяч популярных лекций, написал около сотни научно-популярных книг и бесчисленное множество журнальных статей. Он не сделал никаких научных открытий или изобретений, — но участвовал в разработке проекта первой советской противоградовой ракеты, стал инициатором введения в нашей стране декретного времени, одним из основоположников жанра научно-популярной литературы и автором термина «научная фантастика». Он не имел каких-либо ученых степеней и званий, — но благодарные читатели в своих письмах неизменно обращались к нему «Дорогой профессор!».

Все потому, что в своих сочинениях Яков Исидорович излагал сложные научные проблемы в собственном неповторимом стиле, с поразительными ясностью и наглядностью; в самых, казалось бы, сухих и скучных темах он умел обнаружить яркие, увлекательные черты, и они становились предельно понятными даже неподготовленному читателю. Не удивительно, что книги «народного профессора Советского Союза» выдержали десятки переизданий, были переведены на многие языки, от английского до хинди, а общий тираж их составил на данный момент десятки миллионов экземпляров.

В настоящий сборник вошли три книги Перельмана — обе части «Занимательной физики» и «Занимательная механика». Эти сочинения приобщают к миру научных знаний, помогают привить читателю вкус к изучению точных наук, вызывают интерес к самостоятельным творческим занятиям.

При редактировании мы лишь заменили некоторые устаревшие цифры, сделали отдельные дополнения и примечания, но по возможности сохранили дух того времени, когда эти статьи создавались, — когда новые открытия еще не были должным образом интерпретированы, самолет чаще называли аэропланом, Альберт Эйнштейн был скромным служащим бюро патентов, а английский фантаст Герберт Уэллс радовал читателей своими новыми сочинениями. Благо научное содержание статей Якова Исидоровича подобрано таким образом, что не способно устареть никогда.

Все рисунки в этих книгах выполнил (в тесном контакте с самим Перельманом) штатный художник ленинградского издательства «Время» Юрий (Георгий) Дмитриевич Скалдин (1891–1951), умевший великолепно иллюстрировать самые сложные научные явления и опыты.

ISBN 978-5-9603-0781-9