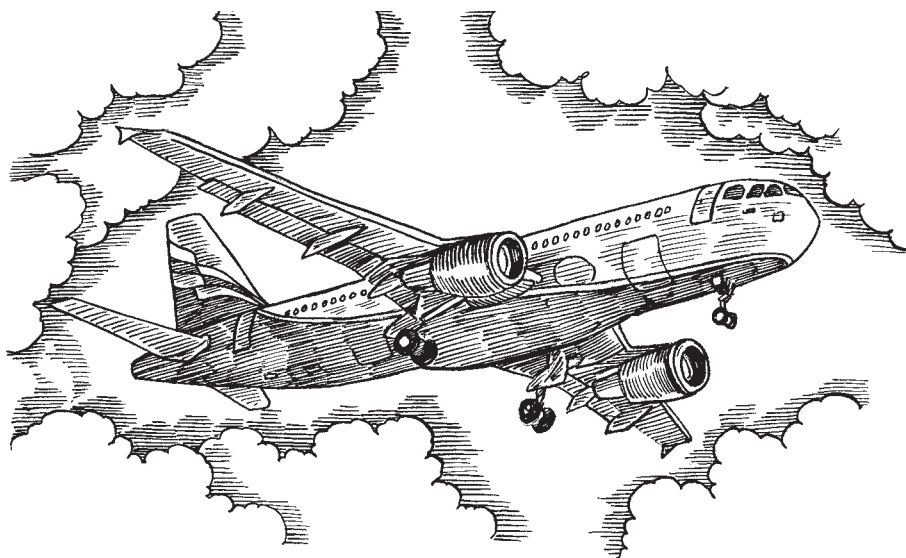


Яков Исидорович  
ПЕРЕЛЬМАН

# ФИЗИКА



Москва  
Издательский Дом  
Мещерякова  
2019



## ГЛАВА ПЕРВАЯ

# СКОРОСТЬ. СЛОЖЕНИЕ ДВИЖЕНИЙ

### Как быстро мы движемся?

---

\* Рекорд 1930 г.

Французский спортсмен Жюль Лядумег заслужил мировую известность тем, что дистанцию в 1 км пробежал в 2 мин 23,6 с! \*

Для сравнения с обычной скоростью пешехода — 1,5 м/с — надо сделать маленькое вычисление; тогда окажется, что спортсмен пробегает в секунду 7 м. Впрочем, скорости эти не вполне сравнимы: пешеход может ходить долго, целые часы, делая по 5 км/ч, спортсмен же способен поддерживать значительную скорость своего бега всего несколько минут. Пехотная воинская часть перемещается бегом втрое медленнее бегуна; она делает 2 м/с, или 7 с лишком километров в час, но имеет перед спортсменом то преимущество, что может совершать гораздо бóльшие переходы.

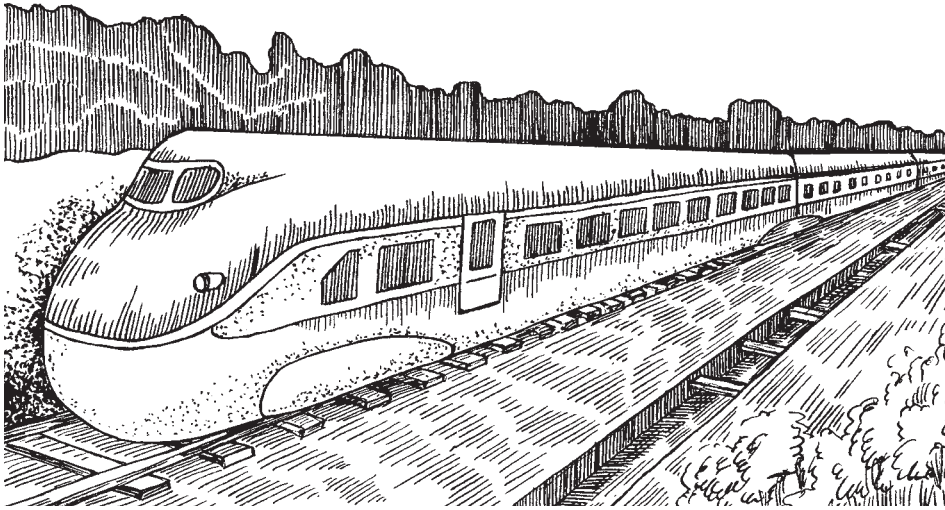


Рис. 1. Сверхскоростной поезд (проект инженера О. Д. Полуяна)

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

Проворный рядом с улиткой и черепахой, человек предстанет перед нами в ином свете, если сопоставить его движение с другими, даже не очень быстрыми движениями в окружающей

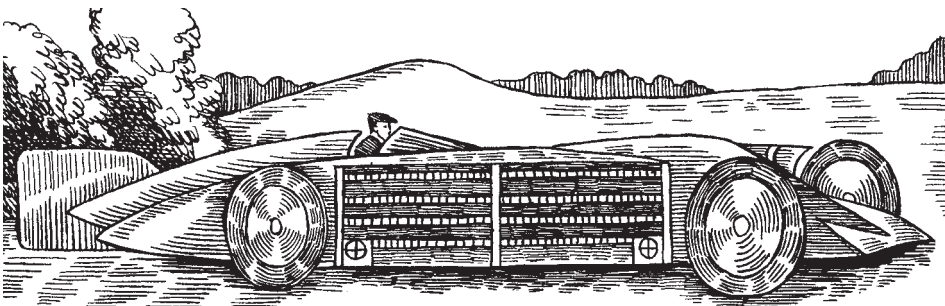
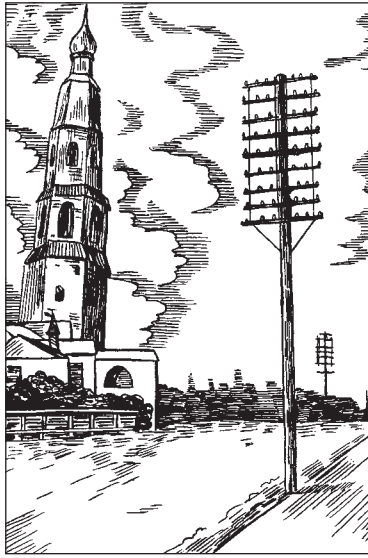


Рис. 2. Автомобиль «Золотая стрела» (Golden Arrow), поставивший в 1929 г. в Америке мировой рекорд скорости — 372,66 км/ч. Рекорд этот в 1933 г. побит «Синей птицей» (438,5 км/ч).



**Рис. 17.** «Падающая» колокольня в Архангельске (со старинной фотографии)



**Рис. 18.** Когда человек стоит, отвесная линия, проведённая из центра тяжести, проходит внутри площадки, ограниченной ступнями

на колеблющейся палубе; естественно, что та же привычка сохраняется при ходьбе по твёрдой земле.

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

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

Значит, вставая, мы должны либо податься грудью вперёд, перемещая этим центр тяжести, либо же пододвинуть ноги назад, чтобы подвести опору под центр тяжести. Обычно мы так

и делаем, когда встаём со стула. Но если нам не разрешают делать ни того, ни другого, то встать мудрено, как вы и убеждаетесь на описанном опыте.

## Ходьба и бег

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

«Предположим, что человек стоит на одной ноге, например на правой. Вообразим себе, что он приподнимает пятку, наклоня в то же время туловище вперёд\*\*.

При таком положении перпендикуляр из центра тяжести, понятно, выйдет из площади основания опоры, и человек должен упасть вперёд. Но едва начинается это падение, как левая нога его, оставшаяся в воздухе, быстро подвигается вперёд

---

\* Текст отрывка заимствован из «Лекций по зоологии» профессора Поля Бера; иллюстрации прибавлены составителем.

---

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

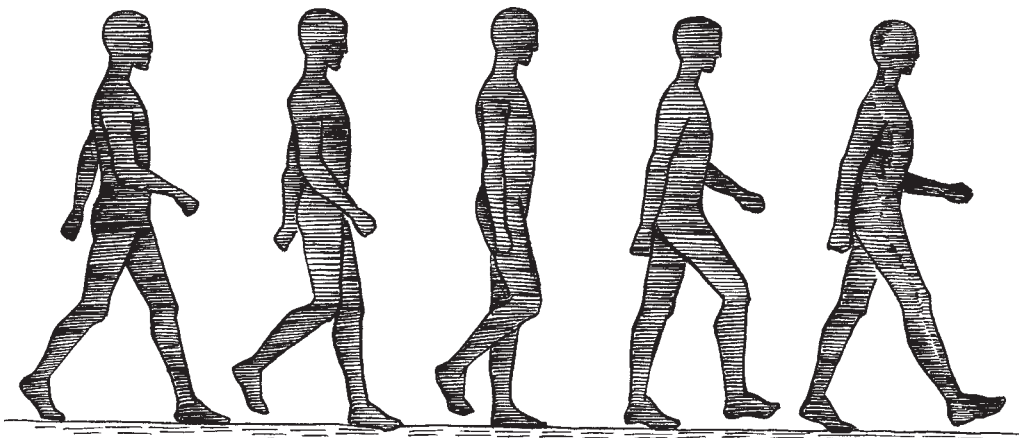


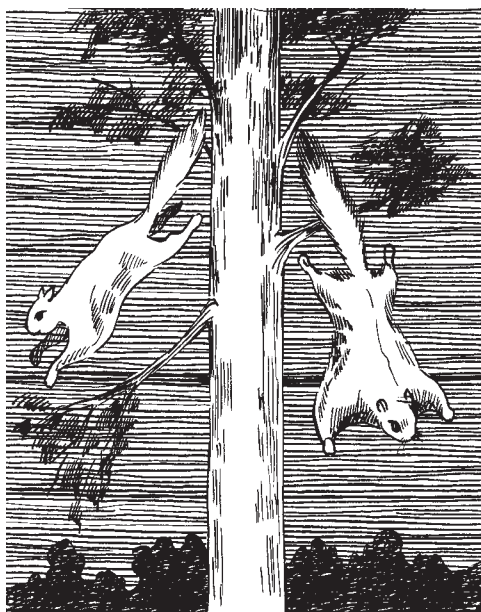
Рис. 19. Как человек ходит. Последовательные положения тела при ходьбе

сила  $OD$  толкает наш змей назад и, следовательно, уменьшает *первоначальную* его скорость. Другая же сила,  $OP$ , увлекает аппарат вверх; она уменьшает его вес и, если достаточно велика, может преодолеть вес змея и поднять его. Вот почему змей поднимается *вверх*, когда мы тянем его за верёвочку *вперёд*. Здесь дана лишь грубая схема явления; есть другие обстоятельства, обуславливающие подъём самолёта, впервые отмеченные Н. Е. Жуковским.

Самолёт — тот же змей, только движущая сила нашей руки заменена в нём движущей силой пропеллера или реактивного двигателя, которая сообщает аппарату движение вперёд и, следовательно, подобно змею, заставляет его подниматься вверх.

## Живые планёры

Вы видите, что самолёты устроены вовсе не наподобие птицы, как обыкновенно думают, а скорее наподобие белок-летяг, шерстокрылов или летучих рыб. Впрочем, названные животные



**Рис. 34.** Белки-летяги во время полёта. Летяги делают с высоты прыжки на расстояние в 20–30 м

пользуются своими летательными перепонками не для того, чтобы подниматься вверх, а лишь для того, чтобы совершать большие прыжки — «планирующие спуски», как выразился бы лётчик.

У них сила  $OP$  (рис. 33) недостаточна для того, чтобы вполне уравновесить груз их тела; она лишь уменьшает их вес и тем помогает совершать огромные прыжки с возвышенных пунктов (рис. 35). 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 развёртывает свой «планёр», его ширина достигает полуметра.

Такие крупные размеры летательной перепонки позволяют животному совершать, несмотря на сравнительно большой вес, перелёты метров в 50. А шерстокрыл, который водится на Зондских и Филиппинских островах, делает прыжки длиной даже до 70 м.

## Безмоторное летание у растений

Растения также нередко прибегают к услугам планёров — 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 планёры можно наблюдать у хвойных, клёнов, вязов, берёзы, 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 неподалёку. Такие полёты 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 путём. Горизонтально же текущие воздушные массы способны переносить реюющие в воздухе плоды и семена на весьма большие расстояния.

У некоторых растений крылья и парашюты остаются в соединении с семенами только на время полёта. 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.

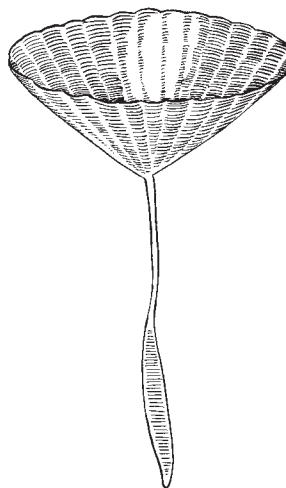
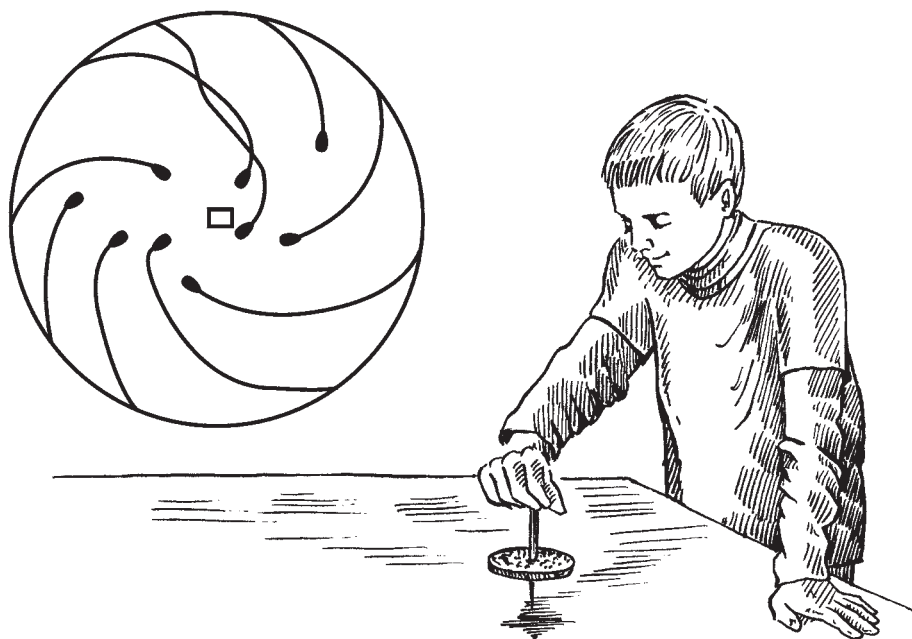


Рис. 35. Плод козлобородника

\* Антон Кернер фон Марилаун (Anton Kerner von Marilaun) (1831–1898) — австрийский ботаник, член Венской академии наук (1872), профессор университетов в Инсбруке (с 1860) и Вене (с 1878), один из пионеров изучения фитоценозов, ввёл представление об их ярусности. Открыл явление листовой мозаики. Указывал на роль гибридизации в эволюции растений.



**Рис. 44.** Как растекаются чернильные капли на вращающемся бумажном кружке

диска, обладающие большей круговой скоростью, чем скорость самой капли. В этих местах кружок выскальзывает из-под капли, опережает её. Дело происходит так, как если бы капля отставала от кружка, отступала назад от радиуса. Путь её поэтому искривляется, и мы видим на кружке след криволинейного движения.

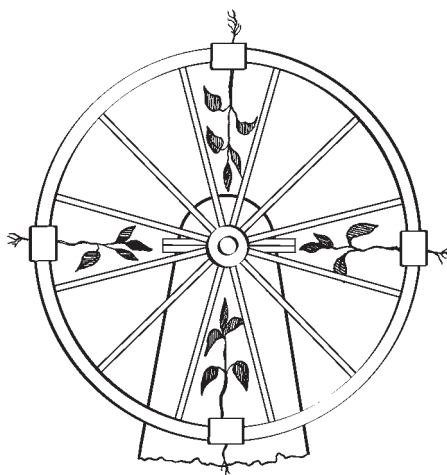
То же самое претерпевают воздушные потоки, расходящиеся от места высокого давления атмосферы (в антициклонах) или сходящиеся к месту низкого давления (в циклонах). Чернильные завитки — уменьшенное подобие этих исполинских воздушных вихрей.

## Обманутое растение

При быстром вращении центробежный эффект может достигать такой величины, что превосходит действие тяжести. Вот интересный опыт, показывающий, какая значительная отбрасывающая сила развивается при вращении обыкновенного колеса. Мы знаем, что молодое растение всегда направляет стебель в сторону, противоположную силе тяжести, то есть, проще

говоря, растёт вверх. Но заставьте семена прорасти на ободке вращающегося колеса, как это сделал впервые английский ботаник Найт в 1806 г. Вы увидите изумительную вещь: корешки ростков будут направлены наружу, а стебельки — внутрь, вдоль радиусов колеса (рис. 45).

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



**Рис. 45.** Бобовые семена, проросшие на ободке вращающегося колеса. Стебли направлены к оси, корешки — наружу

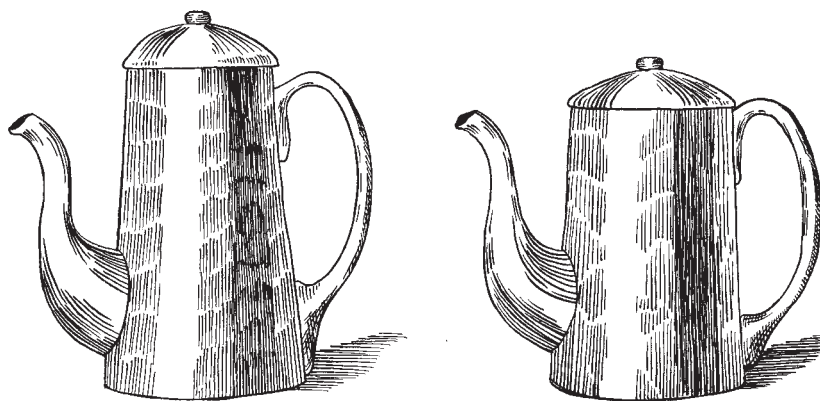
---

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

## Вечные двигатели

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

На рис. 46 изображён мнимый самодвижущийся механизм — один из древнейших проектов вечного двигателя, иногда и теперь возрождаемый неудачливыми фанатиками этой



**Рис. 53.** В какой из этих кофейников можно налить больше жидкости?

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

## Чего не знали древние

Жители современного Рима до сих пор пользуются остатками водопровода, построенного ещё древними: 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 рис. 54, воспроизведённый с картины Германского музея\* в Мюнхене. Вы видите, что римский водопровод прокладывался не в земле, а над ней, на высоких каменных столбах. Для чего это делалось? Разве не проще было прокладывать в земле трубы, как делается теперь? Конечно, проще, но римские инженеры того времени имели весьма смутное представление о законах сообщающихся сосудов. Они опасались, что в водоёмах, соединённых очень длинной трубой, вода не установится на одинаковом уровне. Если трубы проложены в земле, следуя уклонам почвы, то в некоторых участках вода ведь должна течь вверх — и вот римляне боялись, что вода вверх не потечёт. Поэтому они обычно придавали водопроводным трубам равномерный уклон вниз на всём их пути (а для этого требовалось нередко либо вести воду в обход,

---

\* Немецкий музей достижений естественных наук и техники (нем. Deutsches Museum von Meisterwerken der Naturwissenschaft und Technik), или Немецкий музей (Deutsches Museum), — самый крупный музей естествознания и техники в мире, расположенный в Мюнхене.

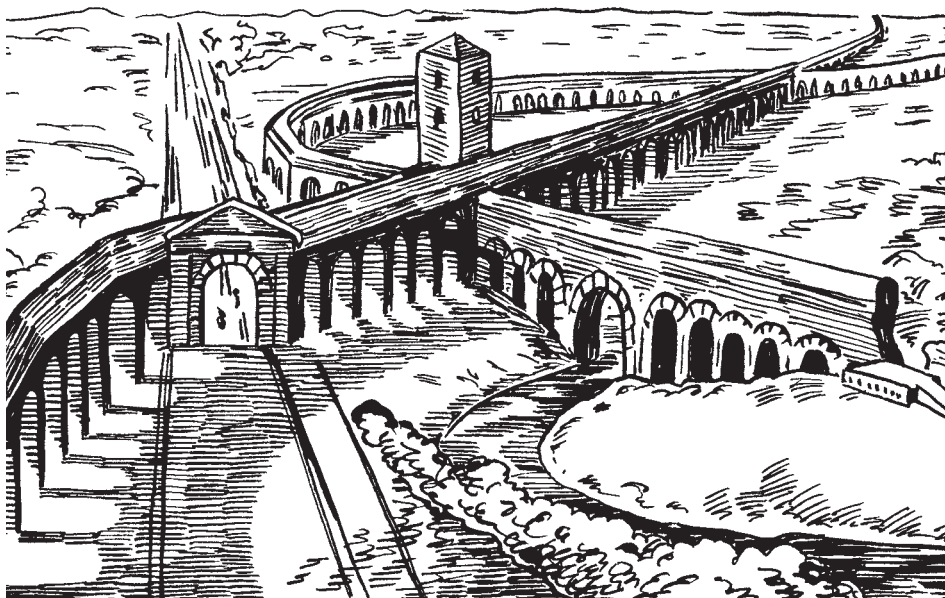


Рис. 54. Водопроводные сооружения древнего Рима в их первоначальном виде

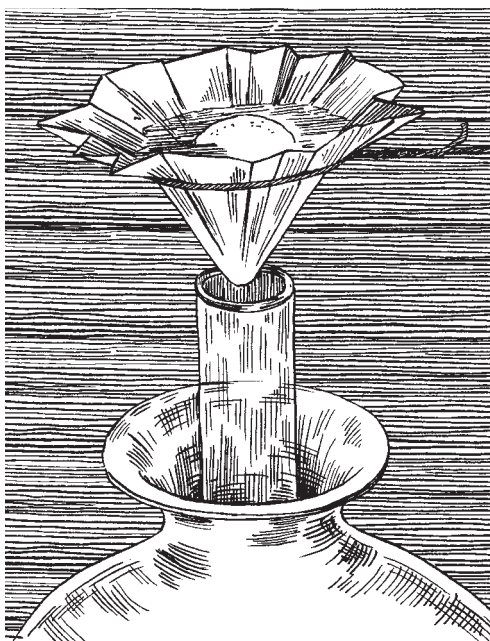
либо возводить высокие арочные подпоры). Одна из римских труб, Аква Марциа, имеет в длину 100 км, между тем как прямое расстояние между её концами вдвое меньше. Полсотни километров каменной кладки пришлось проложить из-за незнания элементарного закона физики!

## Жидкости давят... вверх!

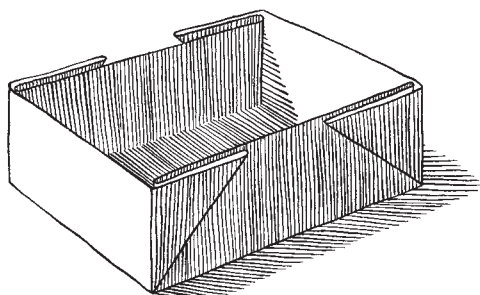
О том, что жидкости давят вниз, на дно сосуда, и вбок, на стенки, знают даже и те, кто никогда не изучал физики. Но что они давят и *вверх*, многие даже не подозревают. Обыкновенное ламповое стекло поможет убедиться, что такое давление действительно существует. Вырежьте из плотного картона кружок таких размеров, чтобы он закрывал отверстие лампового стекла. Приложите его к краям стекла и погрузите в воду, как показано на рис. 55. Чтобы кружок не отпадал при погружении, его можно придерживать ниткой, протянутой через его центр, или просто прижать пальцем. Погрузив стекло до определённой 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.

## Бумажная кастрюля

Взгляните на рис. 123: яйцо варится в воде, налитой в бумажный колпак! «Но ведь бумага сейчас загорится, и вода зальёт лампу», — скажете вы. Попробуйте же сделать опыт, взяв для него плотную пергаментную бумагу и надёжно прикрепив её к проволоке. Вы убедитесь, что бумага несколько не пострадает от огня. Причина в том, что вода может быть нагрета в открытом сосуде только до температуры кипения, то есть до  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; поэтому нагреваемая вода, обладающая к тому же



**Рис. 123.** Яйцо варится в бумажной кастрюле



**Рис. 124.** Бумажная коробка для кипячения воды

большой теплоёмкостью, поглощая избыток теплоты бумаги, не даёт ей нагреться заметно выше  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , т.е. настолько, чтобы она могла воспламениться. (Практичнее будет пользоваться небольшой бумажной коробкой в форме, изображённой на рис. 124.) Бумага не загорается, если даже пламя лижет её.

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

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

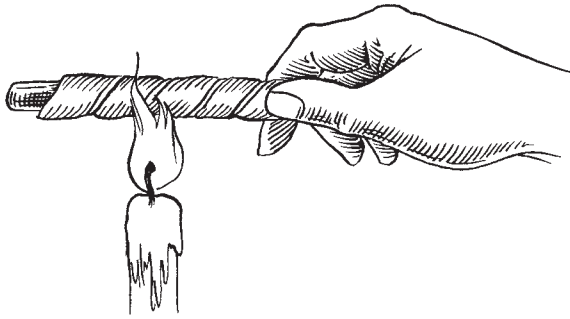


Рис. 125. Несгораемая бумажка

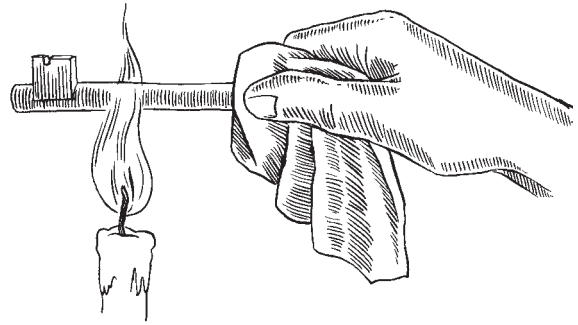


Рис. 126. Несгораемая нитка

тепла, быстро отнимает от бумаги тепло, не давая ей нагреться заметно выше температуры плавления, т.е.  $+335\text{ }^{\circ}\text{C}$  (для свинца); такая температура недостаточна для воспламенения бумаги.

Хорошо удаётся также следующий опыт (рис. 125): толстый гвоздь или железный (ещё лучше медный) прут обмотайте *плотно* узкой бумажной полоской, наподобие винта. Затем внесите прут с бумажной полоской в пламя. Огонь будет лизать бумагу, закоптит её, но не сожжёт, пока прут не раскалится. Разгадка опыта — в хорошей теплопроводности металла; со стеклянной палочкой подобный опыт не удался бы. Рисунок 126 изображает сходный опыт с «несгораемой» ниткой, *туго* намотанной на ключ.

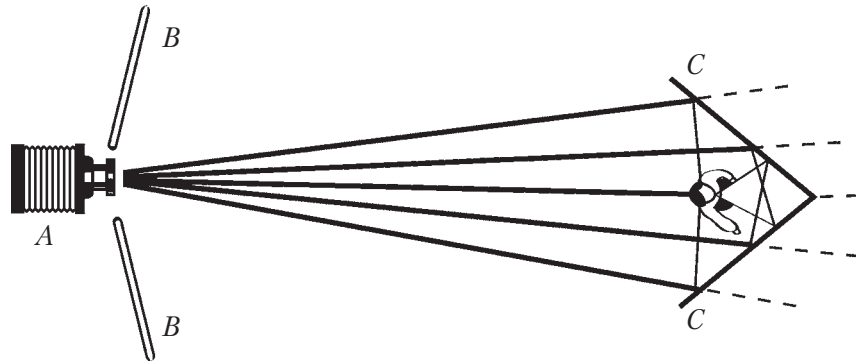
## Единственное скользкое тело в природе

На гладко натёртом полу легче поскользнуться, нежели на обыкновенном. Казалось бы, то же самое должно происходить на льду, то есть *гладкий* лёд должен быть более скользок, нежели лёд бугорчатый, шероховатый.

Но если вам случилось 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 лёд 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



**Рис. 140.** Пятикратная фотография одного и того же лица



**Рис. 141.** Способ получения пятикратных фотографий.  
Снимаемый помещается между зеркалами *CC*

различным образом по отношению к аппарату. Эти изображения плюс натуральный объект и фотографируются аппаратом, причём 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  $\frac{360^\circ}{4} = 90^\circ$  мы получили бы четыре изображения, при угле  $\frac{360^\circ}{6} = 60^\circ$  — шесть изображений, при  $\frac{360^\circ}{8} = 45^\circ$  — восемь и т.д. Однако при большом числе отражений изображения тусклы и слабы; поэтому обычно ограничиваются пятикратными снимками.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

От редакции .....	5
Глава первая. Скорость. Сложение движений .....	6
Глава вторая. Тяжесть и вес. Рычаг. Давление .....	26
Глава третья. Сопротивление среды .....	51
Глава четвёртая. Вращение. Вечные двигатели .....	62
Глава пятая. Свойства жидкостей и газов .....	81
Глава шестая. Тепловые явления .....	162
Глава седьмая. Лучи света .....	215
Глава восьмая. Отражение и преломление света. Зрение....	237
Глава девятая. Волнообразные движения .....	377
Глава десятая. Основные законы механики .....	413
Глава одиннадцатая. Сила. Работа. Трение .....	434
Глава двенадцатая. Круговое движение .....	453
Глава тринадцатая. Всемирное тяготение .....	475
Глава четырнадцатая. Путешествие в пушечном снаряде ...	490
Глава пятнадцатая. Магнетизм. Электричество .....	498