

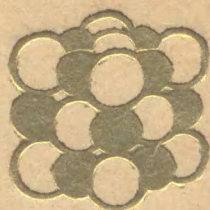
*М. И. Блудов*

**БЕСЕДЫ**

**ПО ФИЗИКЕ**



**М. И. БЛУДОВ**  
**БЕСЕДЫ**  
**ПО**  
**ФИЗИКЕ**



БИБЛИОТЕКА ШКОЛЬНИКА

М. И. БЛУДОВ

**БЕСЕДЫ**  
**по**  
**ФИЗИКЕ**

ЧАСТЬ

**I**

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПРОСВЕЩЕНИЕ»

МОСКВА • 1964

Рукопись книги рецензировали *Е. Я. Минченков*,  
*А. В. Перышкин*, *Д. И. Сахаров*.

*scan: The Stainless Steel Cat*



## К ЮНЫМ ЧИТАТЕЛЯМ КНИГИ

Зимний вечер. Трудовой день окончен: уроки на завтра приготовлены, домашние обязанности выполнены, вы даже успели побывать на катке или пробежаться на лыжах. Как приятно, наконец, отдохнуть дома, в тепле. Сядьте за стол, поближе к свету, и раскройте эту книгу о замечательной науке — физике. Она заставит вас задуматься над положениями, ускользавшими раньше от вашего внимания, она перенесет вас мысленно и в Кембриджский университет, где учился и работал великий И. Ньютон, и в рабочий кабинет основоположника русской науки М. В. Ломоносова. Вас взволнует глубокая личная трагедия основателя закона сохранения энергии Р. Майера, вам интересно будет познакомиться с рассуждениями гениального Сади Карно, который сумел, вопреки ошибочным представлениям о природе тепла, вывести важнейший закон теплотехники. Вы узнаете о достижениях современной физики в познании материи и ее движения.

Некоторые очерки написаны в форме бесед учащихся с учителем, споров и диспутов во время занятий физического кружка, разговоров со старшими. Во время этих бесед ваши сверстники часто попадают в трудное положение, пытаясь разрешить физические парадоксы. И вам будет предложено немало тем и советов для бесед и споров с товарищами и для проведения домашних опытов.

Одной из целей автора книги было также желание пробудить у вас, читателей, интерес к вашей будущей профессии. Быть может, вы захотите стать железнодорожником, моряком, летчиком, строителем, архитектором, астрономом или геологом-разведчиком, подобно тем юношам и

девушкам, мечты которых раскрываются в отдельных очерках этой книги.

Главное же назначение этой книги — быть книгой для чтения в помощь учебным занятиям. Физика — огромная наука. Для книги отобраны лишь некоторые вопросы, обычно затрудняющие вас, учащиеся.

Статьи неодинаковы по трудности содержания и неодинаковы по стилю. Читать их можно или одну за другой, или выборочно. Не следует смущаться, если при первом чтении некоторые места покажутся вам трудными; к ним можно будет вернуться, когда по мере изучения физики вы будете более подготовлены к их пониманию. Физические явления раскроются перед вами не в том порядке, в каком они излагаются в учебниках, а потому, желая показать то или иное явление в его естественном многообразии, автор часто отступает от строгих рамок школьной программы, имея в виду, что данная книга не будет единственным источником ваших знаний по физике.



## МАТЕРИЯ, ДВИЖЕНИЕ, ЭНЕРГИЯ

(вместо введения)

Рассказывают, что однажды на общем приеме император Наполеон обратился к представленному ему немецкому философу Якоби с вопросом: «Что такое материя?» Не получив ответа, император повернулся спиной к озадаченному философу.

Ответить на вопрос «что такое?» в форме краткого рапорта, которого, очевидно, ожидал император, не всегда легко и не всегда возможно.

В жизни мы постоянно имеем дело с различными предметами. Наблюдая и изучая их, мы приобретаем опыт, а через опыт постепенно познаем мир. Мы видим и слышим происходящие вокруг нас явления, осязаем предметы, ощущаем тепло и холод, и в нашем сознании постепенно складывается представление об этом предмете. Так, подумав о снеге, мы представляем его себе белым, холодным, рыхлым; подумав об угле, мы представляем его плотным и черным, способным гореть и согревать наше жилище.

Все в мире находится во взаимной связи и взаимной зависимости. Снег, принесенный в теплую комнату, тает, и из него образуется вода. На горячей плите воду в сосуде можно довести до кипения и превратить в пар. Так состояние, в котором находится тело, зависит от температуры. Познавая и изучая последовательность и взаимосвязь явлений, исследователи открывают законы природы.

Началом всякого познания является вопрос «что такое?». Великий русский ученый, физиолог Иван Петрович Павлов считал, что каждое живое существо обладает способностью отзываться на внешнее раздражение. Он так и называл эту непроизвольную реакцию на внешнее раздражение «исследовательским» рефлексом, рефлексом «что такое?». «Если бы у животного не было этой реакции, то жизнь его каждую минуту, можно сказать, висела бы на волоске. А у нас этот рефлекс идет чрезвычайно далеко, проявляясь, наконец, в виде той любознатель-

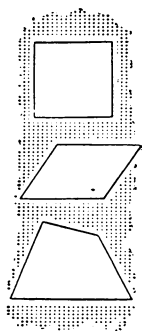


Рис. 1.

ности, которая создает науку, дающую и обещающую нам высочайшую, безграничную ориентировку в окружающем мире.

Первым шагом всякой науки является ответ на вопрос «что такое?».

Ответить на вопрос «что такое?» — это значит выделить предмет или явление из множества других, дать определение его, подвести данное понятие под другое, более широкое. Вспомните какой-нибудь из вопросов, который вам задает обычно учитель в школе, например: «Что называется квадратом?» Вы отвечаете: «Квадратом называется такой параллелограмм, у которого все стороны равны, а углы прямые». Отвечая так, вы подвели понятие «квадрат» под более широкое — «параллелограмм» и, кроме того, указали, к какому виду параллелограммов относится квадрат, потому что ведь не всякий параллелограмм есть квадрат. Если дальше последует вопрос: «А что такое параллелограмм?», то вы и тут не растеряетесь и отнесете его к более широкому роду геометрических фигур, сказав, что параллелограммом называется четырехугольник, у которого противоположные стороны попарно параллельны. Этим самым вы выделите параллелограмм из многих других возможных четырехугольников (рис. 1).

Возвращаясь к вопросу: «Что такое материя?», мы должны признать, что не в состоянии найти более широкое понятие, которое бы включало в себя понятие материи. Вы можете приводить примеры различного вида материальных тел, некоторые из них будут твердые — камень; другие жидкие — вода, керосин; третьи газообразные — водород, кислород; но это будут только примеры материальных тел. «Материя, — говорил В. И. Ленин, — это предельно широкое понятие». Ответом на вопрос: «Что такое материя?» — является ленинское определение: «Материя есть то, что, действуя на наши органы чувств, производит ощущение; материя есть объективная реальность, данная нам в ощущении...», «Мир есть движение этой объективной реальности».

Мир, природа — φυσικῆς («фюзис») по-гречески. Отсюда пошло и название науки — физика. Так назвал ее греческий философ Аристотель, написавший за две с лишним тысячи лет до нас первую «физику».

«Физика» Аристотеля! При чтении этой книги воображение уносит нас в давно минувшие века, в Грецию эпохи завоевательных походов Александра Македонского, воспитанника и ученика великого Аристотеля. В то время как знаменитый македонец вел свои фаланги на Восток и древние царства падали к ногам победителя, его старый учитель, прогуливаясь в тенистых аллеях основанного им в Афинах лицея, учил своих учеников рассуждать о том, что такое мир, время, движение. В эту эпоху и была написана им «физика».

«Физика» Аристотеля! Но не подумайте, что «физика» Аристотеля хоть сколько-нибудь похожа на современные учебники физики. Нет!



В ней вы не найдете ни одного описания опыта или прибора, ни одного рисунка, ни одного чертежа, ни одной формулы, хотя она целиком посвящена учению о движении. В ней — философские рассуждения о предмете, о месте, о времени, о движении вообще. «Так как природа есть начало движения и изменения, а предметом нашего исследования является природа, то нельзя оставлять невыясненным, что такое движение: ведь незнание движения необходимо влечет незнание природы» — так начинается глава о движении.

Под движением Аристотель понимал изменение, происходящее с телом. Более сложный вид движения, по утверждению Аристотеля, включает в себя предыдущий, более простой. Но в подтверждение он не приводил никаких конкретных примеров. Поэтому, чтобы сделать понятной мысль Аристотеля, воспользуемся примерами современной нам физики.

Самым простым является механическое движение, т. е. изменение места или положения тела по отношению к другим телам. Механическое движение мы наблюдаем всюду: в природе, в обыденной жизни, в технике.

Кроме механического движения, существуют более сложные виды движения: тепловое, электрическое, внутриатомное. Такие движения более сложны уже потому, что представляют собой движение невидимых глазу частиц, а главное, потому, что происходят они по законам, отличающимся от механических. Тепловое движение, например, представляет собой движение молекул, из которых состоит тело. Движение одной, отдельно взятой молекулы, конечно, есть движение, для которого справедливы законы механики, но движение всего множества молекул какого-нибудь тела (например, 27 000 000 000 000 000 000 молекул, которые содержатся в  $1 \text{ см}^3$  любого газа при температуре  $0^\circ\text{C}$  и давлении 760 мм рт. ст.) вследствие хаотичности движения нельзя описать по законам механики. Здесь приходится прибегать к законам статистики, теории вероятности, законам больших чисел, в некоторых случаях и к квантовой физике. Для пояснения сказанного ограничимся одним простейшим примером.

Известно, что если два тела, одно из которых нагрето, а другое холодное, привести в соприкосновение, то нагретое тело будет остывать, а холодное нагреваться. Физика объясняет это явление передачей энергии более быстро движущихся молекул горячего тела медленно движущимся молекулам холодного тела. Разумеется, не все молекулы одного тела имеют одинаковые скорости и одинаковую кинетическую



Аристотель  
(384—322 гг. до н. э.).

энергию. Но в горячем теле больше молекул, движущихся с большей скоростью, поэтому более вероятно, что при столкновении молекул на границе соприкосновения горячего и холодного тела энергия будет передвигаться от горячего тела к холодному, а не наоборот. Нагревание холодного тела горячим нельзя объяснить законами механики. Тепловые явления представляют более сложную форму движения.

Не все суждения Аристотеля о движении оказались верными. Так, например, Аристотель утверждал, что тело движется только до тех пор, пока на него действует другое тело. Движение брошенного камня, порвавшего связь с бросившей рукой, или полет стрелы, выпущенной из лука, он объяснял подталкивающим действием воздуха, врывающегося в пустоту, которая образуется позади движущегося тела. «Все движущееся должно приводиться в движение чем-нибудь», — писал он и тем показывал, как далек был древний мир от понимания закона инерции.

Известны также ошибки Аристотеля во взглядах на падение тел. Этот вид движения Аристотель относил к «естественным движениям», не нуждающимся в двигателе, а происходящим в силу «естественного» стремления всякого тела занять «свое место». Такое место, по Аристотелю, для тяжелых тел, например камня, внизу, а для легких, например дыма, вверху. Подчиняясь этому стремлению, тяжелые тела падают вниз и тем быстрее, чем они тяжелее. Лишь через двадцать веков это утверждение Аристотеля было опровергнуто Галилеем. Несмотря на все эти ошибки, мы ценим в Аристотеле глубокого мыслителя, одного из основателей науки о природе.

Различные виды движения могут превращаться друг в друга. Самое замечательное при этом состоит в том, что движение сохраняется, меняется только форма движения. Здесь мы подходим к другому важнейшему понятию физики — к энергии.

Понятие энергии вошло в физику лишь тогда, когда было установлено, что один вид движения может перейти в другой, хотя слово «энергия» можно встретить значительно раньше. Тот же Аристотель писал об энергии, понимая под этим словом движение, еще не завершённое. Слово «энергия» без достаточной ясности употреблялось и Галилеем. Тогда под этим термином смешивали два понятия: «энергия» и «сила».

Термин «энергия» в современном смысле появился лишь в XIX веке. Английский физик Юнг в своих «Лекциях по натуральной философии» (1807 г.) первый определил энергию как работоспособность движущихся масс, измеряемую произведением массы тела на квадрат его скорости. В 1809 году французский ученый Кориолис уточнил это определение и для измерения энергии ввел известную вам формулу

$\frac{mv^2}{2}$ . Однако понятие энергии распространялось только на механическое движение.

В середине XIX века, после опубликования работ Р. Майера, Джоуля, Гельмгольца, когда был установлен закон сохранения и превращения энергии, понятие энергии распространилось на другие виды движения и окончательно утвердилось.

Для выяснения физического содержания понятия энергии исключительно велико было значение работ русского физика Николая Алексеевича Умова (1846—1915).

Умов в 1874 году защитил докторскую диссертацию «Уравнения движения энергии», в которой изложил основы учения о движении энергии. Авторитетные физики того времени считали, что энергия не может перемещаться, так как она является не реальностью, а лишь математической функцией. Защита диссертации продолжалась шесть часов и оставила у Умова на всю жизнь неприятные воспоминания.

В настоящее время понятие энергии является основным понятием физики. Понятие энергии неразрывно связано с понятием о превращении ее из одной формы в другую (при полном сохранении величины энергии). Иногда сравнивают превращение энергии с обменом денег: рублей — на доллары или франки; другая монета, другое название, но основное — покупательная способность — остается. Так и энергия, испытывая превращения, остается все же энергией. Пытаясь дать определение энергии, мы вынуждены обращаться к примерам превращения одних видов движения в другие, отмечая при этом, что понятие энергии неразрывно связано с движением, вечным свойством вечной материи.

По мере развития техники человек научился подчинять себе процессы превращения одних форм движения в другие. Новые научные открытия дают возможность использовать новые виды энергии. В свою очередь, новые технические достижения, вызванные растущими потребностями человечества, побуждают науку к новым открытиям.

Вам, юные читатели, предстоит перешагнуть через порог нового столетия, в 2000 год. Вам предстоит освоить энергию подземных слоев (на глубине более 30 км), солнечную энергию (одна десятая часть солнечной энергии, падающей на землю, в несколько тысяч раз превышает бы количество энергии, получаемой на наших электростанциях сейчас). Когда будет осуществлено управление термоядерной энергией, тогда



в десятки тысяч раз увеличится количество вырабатываемой электроэнергии по сравнению с современным уровнем. Вы будете жить в этом преображенном мире. Но новая наука, новая техника делается людьми. Вы должны стремиться овладеть новой наукой, физикой в первую очередь.



## ЕГО МНОГИЕ НЕ ЗНАЮТ О СКОРОСТИ

### Как произносить букву *v*

Знаете ли вы, почему для обозначения скорости принята латинская буква *v* (ве), ускорения — *a* (а), пути — *s* (эс), времени — *t* (тэ)?

Хотя для обозначения физических величин можно было бы выбрать любые буквы любого алфавита, однако во многих случаях применение латинских букв для этой цели оказалось весьма удачным.

В самом деле, латинский алфавит принят в большинстве стран мира, корни латинских слов перешли в такие распространенные языки, как французский, английский, испанский. Наконец, и для тех, кто не владеет иностранными языками, обозначение некоторых физических величин начальными буквами их латинских названий: *v* — *velocitas* — скорость, *a* — *acceleratio* — ускорение, *t* — *tempus* — время — тоже удобно, так как и в русском языке много технических терминов и слов с такими же корнями. Например, «а к с е л е р а т о р» — педаль (чаще — ножной рычаг), нажимом на которую регулируется поступление горючей смеси в цилиндр двигателя внутреннего сгорания и тем самым изменяется скорость движения автомобиля; «велосипед» — сложное слово: *velox* — скорый и *pedes* — ноги. Таким образом, латинская буква напоминает о физическом смысле обозначаемой ею величины. Поэтому и произносить ее надо правильно: «ве», а не «эф» или «фав».



### «Математика стрéлок»

Вероятно, вам известен вопрос-шутка: «Как правильнее сказать: три да четыре суть пять или три да четыре есть пять?» И когда под веселый смех окружающих вопрошаемый выбирает второй вариант, вы, к его великому смущению, напоминаете, что согласно арифметике



три да четыре будет семь, а не пять. Спрашиваемый попал в ловушку, так как подчеркнутой интонацией слов «суть» и «есть» его внимание было отвлечено от арифметики в сторону грамматики.

Но подождите торжествовать, сейчас и вы узнаете, что три да четыре не всегда в сумме дает семь, что правильный ответ может быть и пять, и вообще любое число между единицей и семью, в зависимости... от угла между слагаемыми (конечно, в том случае, если «три» и «четыре» представляют собой векторные величины).

Различают величины скалярные (например, длина, объем, время), характеризующиеся только размером, и величины векторные, характеризующиеся не только размером, но и направлением. Скалярные величины складываются арифметически ( $3 \text{ м}^3$  да  $4 \text{ м}^3$  всегда будет  $7 \text{ м}^3$ ). Векторные величины складываются геометрически.

Поясним это на простом примере. Поперек реки переправляется лодка. Если бы вода в реке была неподвижна, то лодка перемещалась бы каждую секунду, например, на  $4 \text{ м}$ . В действительности же вода в реке течет и сносит лодку по течению за то же время пусть на  $3 \text{ м}$ . Каково же будет действительное смещение лодки за секунду? Смещение есть величина векторная. В самом деле, ведь важно знать не только расстояние, на которое сместится лодка, но и направление смещения.

Итак, нам надо сложить два вектора:  $\vec{3 \text{ м}}$  и  $\vec{4 \text{ м}}$ . Над векторными величинами в отличие от скалярных принято ставить стрелку. На чертеже векторы обозначают отрезком прямой со стрелкой на конце, указывающей направление вектора.

Складывают векторы или по правилу параллелограмма (рис. 2), или по правилу треугольника (рис. 3). В первом случае результат по величине и направлению выражается диагональю параллелограмма, построенного на смещении лодки в неподвижной воде и на смещении ее, вызванном течением реки. Во втором случае к концу вектора  $\vec{AB}$  приставляют начало вектора  $\vec{BC}$  и соединяют начало первого вектора с концом второго. Замыкающая сторона  $AC$  треугольника и даст нам результирующий вектор. Итак, смещение лодки изобразится в выбранном масштабе вектором  $\vec{AC}$ . Измеряя длину вектора  $\vec{AC}$  в том же масштабе, в каком измеряли векторы  $\vec{AB}$  и  $\vec{BC}$ , найдем, что это смещение лодки за секунду будет равно  $5 \text{ м}$  в указанном стрелкой направлении. Мы можем записать:

$$\vec{4 \text{ м}} + \vec{3 \text{ м}} = \vec{5 \text{ м}}.$$

Чем меньше угол между слагаемыми векторами, тем больше результирующий вектор. Если угол будет равен  $0^\circ$ , то результирующий

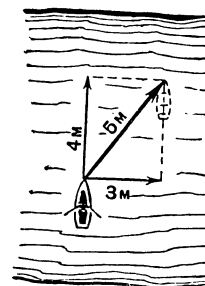


Рис. 2.

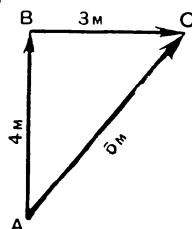


Рис. 3.

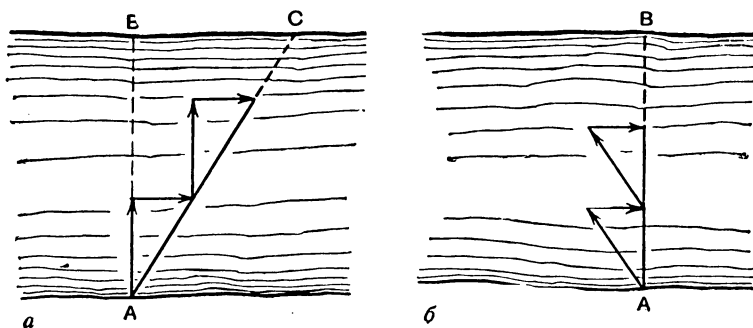


Рис. 4.

вектор по величине будет равен арифметической сумме слагаемых векторов. Наоборот, при увеличении угла между слагаемыми векторами диагональ параллелограмма становится все меньше. Когда векторы окажутся противоположно направленными (угол  $180^\circ$ ), то их геометрическая сумма по величине будет равна их арифметической разности и направлена в сторону большего слагаемого. В нашем примере с лодкой это соответствовало бы движению лодки против течения, и при выбранных нами скоростях лодки и реки смещение ее вверх по реке было бы равно одному метру в секунду.

Обратите внимание на очень существенное обстоятельство: в движении лодки сохранились оба составляющих движения: поперек реки и вдоль реки. В направлении, перпендикулярном берегу, лодка за одну секунду сместится на 4 м, по течению за это же время ее отнесет на 3 м.

Для лучшего закрепления сказанного о сложении векторов представим ту же задачу в такой форме. Пловец пытается быстро переплыть реку шириной 200 метров. Скорость пловца в стоячей воде равна 20 метрам в минуту. Пловец старался плыть перпендикулярно к течению, но течение реки каждую минуту относило его на 12 метров от цели. Поэтому он достигнет противоположного берега в точке C (рис. 4, а).

Если же пловец будет стремиться плыть под некоторым углом к линии AB, так, что течение все время будет сносить его на эту линию, то, плывя с той же относительной скоростью, он окажется в конце концов в точке B (рис. 4, б). В каком случае пловец скорее достигнет противоположного берега? Рассчитав, вы, к своему удивлению, получите такие ответы: в первом случае переправа займет 10 минут, а во втором 12,5 минут. Кратчайшая дорога не всегда скорейшая!

В следующей статье вам понадобится умение вычитать векторы. Покажем, как это надо делать. Пусть из вектора  $\vec{a}$  надо вычесть вектор

$\vec{b}$  (рис. 5). Приставьте начало вектора  $\vec{b}$  к началу вектора  $\vec{a}$ , сохраняя, конечно, их направления. Затем проведите вектор  $\vec{c}$  от конца вектора  $\vec{b}$  (вычитаемого) к концу вектора  $\vec{a}$  (уменьшаемого). Полученный вектор  $\vec{c}$  и есть разность векторов  $\vec{a}$  и  $\vec{b}$ , в чем легко убедиться, проведя вычитание сложением:

$$\vec{b} + \vec{c} = \vec{a}.$$

Ограничимся только этими двумя действиями над векторами.

### Почему скорость — вектор

В любом учебнике физики вы встретите утверждение, что скорость есть вектор. Между тем внимательный взгляд на формулу скорости равномерного движения  $v = \frac{s}{t}$  поставит в тупик вдумчивого ученика. И *путь*, и *время* — *величины скалярные*, поэтому совершенно непонятно, каким образом после операции над скалярными величинами получается величина векторная. Оказывается, приведенная формула показывает, как вычислить величину скорости, и ничего не говорит о направлении скорости.

В новейших учебниках физики дается более строгое понятие скорости, для определения которой надо знать смещение точки и время смещения. В отличие от пути *смещение есть величина векторная*, потому что включает в себя ответ на два вопроса: на сколько переместилась точка (тело) и в каком направлении она переместилась. Рисунок 6 поясняет сказанное для движения точки по криволинейной траектории. Положение материальной точки на траектории вполне определяется радиусом-вектором  $\vec{r}_1$ , т. е. радиусом, проведенным от некоторого, произвольно выбранного начала координат  $O$  до данной точки.

Если точка переместится из  $A$  в  $B$ , то радиус-вектор для ее нового положения будет  $\vec{r}_2$ , а разность их по правилу вычитания векторов будет равна вектору  $\Delta\vec{r}$ , направленному от  $A$  к  $B$ . Эта разность характеризует изменение положения точки в пространстве, т. е. ее смещение. Отношение  $\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$  дает среднюю скорость смещения на участке  $AB$ . Уменьшая все больше и больше промежуток времени  $\Delta t$ , а вместе с ним и  $\Delta\vec{r}$ , мы все ближе будем подходить к правильному определению скорости в данной точке, в данный момент.

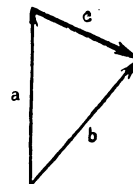
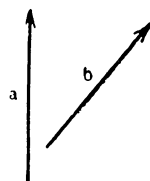


Рис. 5.

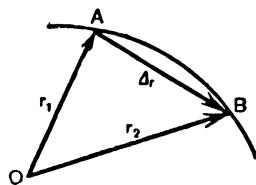


Рис. 6.

Если приведенное рассуждение при первом чтении покажется вам трудным, то постарайтесь запомнить одно: пользуясь обычной формулой  $v = \frac{s}{t}$ , вы получите только величину скорости.

Интересно отметить, что в английских учебниках физики различают два понятия: *velocity* — скорость (векторная величина) и *speed* — быстрота движения (скалярная величина). Корень последнего термина мы встречаем в названии прибора для определения скорости автомобиля или мотоцикла — спидометр.



## СИГНАЛЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Сквозь снежную метель мчится, сверкая огнями, экспресс Москва — Хабаровск. Вдруг поезд резко затормозил и остановился перед красным сигналом светофора. Никто из пассажиров, вероятно, и не подумал, что именно этот сигнал предупредил катастрофу: без него экспресс на полном ходу врезался бы в товарный поезд, оказавшийся на пути движения экспресса.

Прислушиваемся к разговору, который происходит в одном из купе между двумя мальчиками и их папой, инженером.

— Ничего не видно! Кажется, мы стоим в поле. Почему, папа?

— Очевидно, мы стоим перед красным сигналом, запрещающим движение. Участок перед нами, видимо, занят. Видишь ли, весь путь разбит на участки, на границах которых находятся светофоры, они обеспечивают безопасность движения (рис. 7). При зеленом огне светофора машинист не снижает скорости движения поезда. Желтый свет требует снизить скорость. По правилам технической эксплуатации железных дорог желтый свет позволяет следовать со скоростью не больше 40 километров в час, чтобы успеть затормозить и остановить поезд, если следующий сигнал окажется красным.

В о л о д я (мальчик постарше, вмешиваясь в разговор). Игорь! Помнишь, мы дома спорили, что такое средняя скорость. Ты еще никак не мог понять этого. Ну, а теперь ты, наверное, знаешь, что такое средняя скорость и как ее определить?

— Мы учили, что скорость движущегося тела можно узнать, разделив пройденный путь на время его прохождения. Если машинист

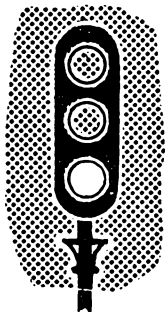


Рис. 7.





знает, что 900 километров — путь от Москвы до Кирова, к которому мы подъезжаем, занял у нас двадцать часов, то, что получится от деления пути на время, и будет, по-моему, средняя скорость.

— И притом «участковая», или «коммерческая», скорость с учетом времени стоянок, — сказал папа. — Вот если бы ты рассмотрел участок Москва — Александров, который наш поезд прошел без остановок за два часа, то средняя скорость поезда («техническая скорость») больше бы соответствовала физическому понятию о средней скорости. Я знаю, что ребята не сразу усваивают такие понятия, как средняя скорость и мгновенная скорость. Кто из вас объяснит мне, в чем разница понятий: средняя скорость курьерского поезда на участке Москва — Александров 56 километров в час и средняя скорость молекул кислорода при  $0^{\circ}\text{C}$  460 метров в секунду?

Игорь. По-моему, разница только в числах.

Володя. Неверно! Средняя скорость поезда — это не действительная скорость поезда, а такая постоянная скорость, с которой он будто бы шел каждую минуту, каждую секунду. На самом же деле скорость поезда на участке все время менялась в зависимости от профиля пути и работы машины локомотива.

Игорь. А средняя скорость молекул?

Володя. Ну, тут речь идет не об одной молекуле. Здесь вычисляется среднее из скоростей множества молекул. Не все молекулы данного газа имеют скорость 460 метров в секунду при  $0^{\circ}\text{C}$ : одни молекулы движутся быстрее, другие — медленнее. 460 метров в секунду — это такая же средняя величина, как средняя продолжительность жизни населения страны, средняя зарплата, и т. п. Так ведь, папа?

— Молодец, Володя, правильно! В механике под средней скоростью переменного движения понимают скорость такого воображаемого равномерного движения, при котором тело (поезд) прошло бы тот же путь и за такое же время, как и при данном переменном движении. А вот вам маленькая задача-ловушка. Ну-ка решите в уме: первый поезд расстояние в 240 километров проходит со скоростью 80 километров в час, а обратно — со скоростью 40 километров в час. Следовательно, в среднем он движется со скоростью 60 километров в час. Второй поезд это же расстояние в оба конца проходит с постоянной скоростью 60 километров в час. Одинаковое ли время затратят они на пробег туда и обратно?

Игорь (спустя несколько минут). Первый поезд движется 3 часа в одном направлении и 6 часов — в обратном, а всего 9 часов. Второй поезд находится в пути всего 8 часов. Странно! Эта задача, кажется, не подходит под определение средней скорости движения.



— Нет, Игорь, ловушка в самом условии: нельзя считать, что первый поезд двигался со средней скоростью 60 километров в час. Подумай, какой путь прошел первый поезд в оба конца?

— 480 километров.

— А за сколько времени?

— За  $3 + 6$ , т. е. за 9 часов.

— Значит, средняя скорость первого поезда, определяемая по формуле  $v = \frac{s}{t}$ , будет равна:  $v = \frac{480 \text{ км}}{9 \text{ ч}} = 53,3 \text{ км/ч}$ , а не 60 км/ч. Второй поезд, двигавшийся с постоянной скоростью 60 километров в час, прошел этот же путь быстрее.

— Что-то мы долго стоим. Пожалуй, успеем повторить всю физику переменного движения, пока путь откроется.

— Вот ты, Игорь, спрашивал: «Как, сидя в вагоне, определить скорость поезда?» Среднюю скорость (я разумею среднюю скорость на каком-нибудь участке) ты мог бы определить приблизительно по счету телеграфных столбов, мимо которых проносится поезд, скажем, за 10 минут. Но лучше считать не телеграфные столбы, расстояние между которыми не всегда одинаково (в среднем 50 метров), а километровые столбы. Если бы у тебя был секундомер, ты мог бы измерять время прохождения участка пути длиной один километр. Формула для определения средней скорости поезда была бы такая:  $v_{\text{ср}} = \frac{1000(n-1) \text{ м}}{t \text{ сек}}$ , где  $n$  — число столбов, а  $(n-1)$  — число километровых промежутков, пройденных за время  $t$ . Еще меньше будет отрезок пути, если считать удары колес о стыки рельсов. Если длина рельса 12,5 метра, то расчетная формула будет:  $v_{\text{ср}} = \frac{12,5(n-1) \text{ м}}{t \text{ сек}}$ .

Чем меньше будет отрезок пути и меньше время, тем больше вычисленная средняя скорость будет приближаться к истинной скорости в данной точке, у данного, скажем, светофора. В высшей математике отношение бесконечно убывающей величины  $s$  к бесконечно убывающему отрезку времени  $t$  называется производной пути по времени, обозначается  $\frac{ds}{dt}$  и дает точное (теоретическое) определение мгновенной скорости. На практике мы лишь более или менее приближаемся к нему. Ну, вот и свисток, путь свободен.

— Поехали!

— Папа, а что же делать, если вот в такую пургу, как сегодня, машинист не увидит предупреждающих сигналов?

— Видеть сигналы в такую погоду, как сейчас, на большом расстоянии от светофора, конечно, невозможно. На локомотиве есть приборы, автоматически останавливающие в случае опасности поезд. Жаль,



Таблица 1.  
Энергия и ее пре-  
вращения

Энергия солнечных лучей, поглощенная растениями миллионы лет назад, пройдя ряд превращений: химических, тепловых, механических, электрических, снова проявляется в потоке света электрических ламп.







### ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВКЛЮЧЕНИЯ СВЕТОФОРОВ НА УЧАСТКАХ ПУТИ

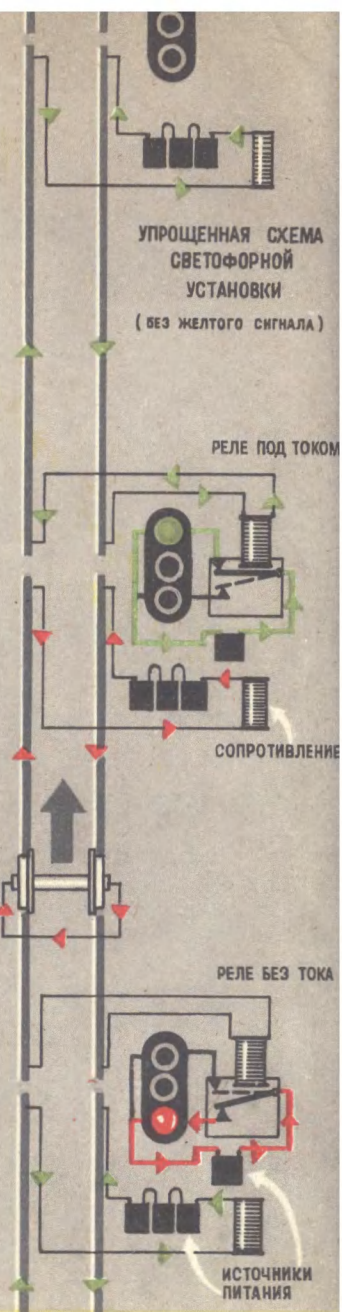
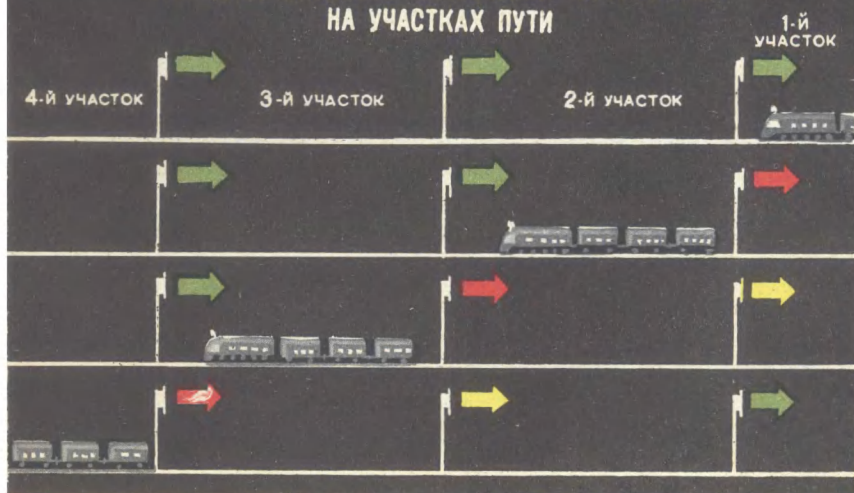
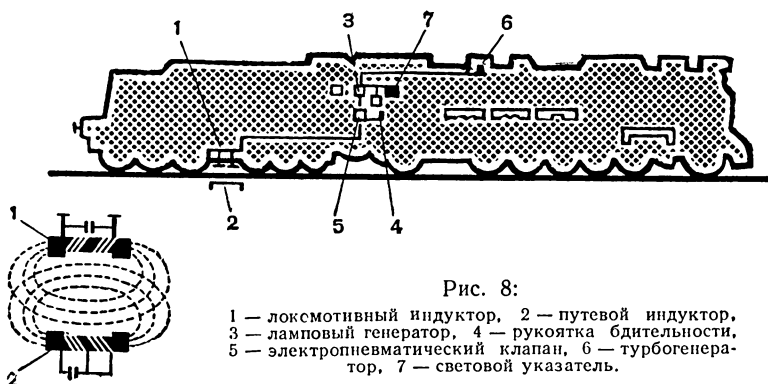


Таблица 2. Сигналы безопасности

Для безопасности движения поездов устанавливают светофоры. Только при зеленом свете светофора машинист ведет поезд с прежней скоростью. Желтый свет требует снижения скорости. Красный сигнал запрещает движение.





нельзя нам с вами побывать в кабине машиниста. Но, по-моему, ваших знаний об электричестве и магнетизме достаточно, чтобы понять принцип устройства и действия прибора, называемого автостопом. Вот послушайте, я расскажу об одной наиболее понятной вам системе автоторможения, хотя сейчас применяются и другие.

На локомотиве внизу, на некотором расстоянии от головки рельсов, подвешена катушка, намотанная на стальной сердечник — локомотивный индуктор (рис. 8). Через катушку от специального источника — лампового генератора — проходит переменный электрический ток частотой 1000 герц, т. е. делающий 1000 колебаний в секунду. Вокруг катушки создается переменное магнитное поле. Кроме этого, на каждом участке, на некотором расстоянии от путевого сигнала, на шпалах тоже укреплены путевые индукторы — катушки, замкнутые на себя. Когда приближается поезд к путевому сигналу с красным светом и локомотивный индуктор окажется над путевым, в последнем возникает индукционный ток. Силовые линии магнитного поля индукционного тока направлены в сторону, противоположную силовым линиям поля у катушки локомотивного индуктора. В результате взаимодействия полей величина электрического тока лампового генератора резко снижается. Ток в ламповый генератор поступает от турбогенератора. Ламповый генератор несет здесь двойную службу: он питает и локомотивный индуктор, и электропневматический клапан, связанный с тормозной системой. Пока ламповый генератор давал достаточно сильный ток, клапан держал тормозную магистраль (систему труб) закрытой, не выпуская находящийся в ней сжатый воздух. Когда же работа лампового генератора прекращается, клапан в течение очень короткого времени, 5—7 секунд, выпускает из магистрали воздух и тормозные

колодки прижимаются к колесам поезда. Вот это и случилось с нашим локомотивом. Поезд остановился.

О приближении поезда к красному сигналу машинист предупреждает свисток, который подается в момент начала взаимодействия лампового индуктора с путевым. Услышав свисток, машинист должен немедленно нажать на специальную рукоятку («рукоятку бдительности») и принять меры для плавного торможения. Если машинист почему-либо не нажмет на рукоятку, то сработает автостоп и поезд быстро остановится.

— Но почему же автостоп приходит в действие именно при красном свете светофора и не работает при зеленом или желтом?

— Секрет здесь простой. Путевой и локомотивный индукторы настроены на одинаковое число колебаний тока, как говорят, «в резонанс», только при включении красного сигнала. Добавлю еще, что в современных локомотивах, кроме автостопа, в кабине машиниста устанавливается световой указатель, в котором загораются лампочки красного, зеленого и желтого света, повторяющие в кабине сигналы светофоров, к которым приближается и мимо которых проходит поезд. Эта локомотивная сигнализация позволяет машинисту видеть показания светофоров в любую погоду и при любом рельефе местности, не выглядывая из будки. Правда, такая система возможна только на участках, оборудованных автоблокировкой.

— А что такое автоблокировка, папа?

— Ну, на этот вопрос я могу тебе сейчас ответить лишь в общих чертах, надо бы показать чертежи. При автоблокировке проходные сигналы открываются и закрываются автоматически под действием самого поезда. При отсутствии на блок-участке поезда ток от путевой батареи доходит по рельсам до электромагнитного реле, замыкая вторую сигнальную цепь на лампу огня зеленого света. Если же на этом участке будет находиться поезд, колесные пары состава шунтируют обмотку сигнального реле и настолько снижают в ней ток, что якорь, притянутый раньше к полюсным наконечникам электромагнита, отпадает и переключает ток сигнальной батареи на лампу красного света. Боюсь, что без схемы такое объяснение тебя не удовлетворит. Вот будешь учиться в железнодорожном техникуме или институте инженеров железнодорожного транспорта, тогда все это узнаешь и полюбишь нашу профессию. Я говорю «нашу» потому, что и дед твой, и отец — железнодорожники, и я хотел бы, чтобы и ты стал потомственным железнодорожником. О чем ты, Володя, задумался?

— Я думаю, как же машинист определяет и регулирует скорость? Ведь не считает же он столбы или стук колес? Есть же, наверное, точные приборы для измерения скорости?

— Конечно, есть. Такой прибор на локомотиве называется скоростемером. Вместе с другими контрольными приборами и приборами управления он находится в кабине машиниста. Когда-нибудь я свожу вас в депо и покажу все это. А сейчас пора укладываться спать. Завтра мы увидим много интересного — переедем Уральский хребет и начнется Сибирь.

Читателям, которые тоже хотели бы узнать, как измеряют скорость автомобиля, локомотива, судна, самолета, ветра, пули, молекулы, посоветуем прочитать следующую статью этой книги.



## КАК ИЗМЕРЯЮТ СКОРОСТЬ

### Скорость автомобиля

Петя еще в первом классе говорил, что когда вырастет большой, то станет шофером. И вот его мечта сбылась. Сегодня Петя и девять его товарищей получили права водителя.

С каким достоинством сел он за руль! Правила уличного движения? Он знает их как свои пять пальцев! Дорожные знаки тоже знает. Вот в кружке на желтом поле буква *P* — место стоянки транспорта (рис. 9), вот та же буква, но перечеркнута красной полосой — стоянка запрещена, вот в треугольнике внутри желтого круга изображены мальчик и девочка с книжками под мышкой — это значит, ты едешь мимо школы, будь осторожен, ведь малыши могут увлечься игрой и выбежать на середину улицы. За 50 метров до этого знака и 50 метров после знака скорость не должна превышать 20 километров в час, чтобы можно было вовремя затормозить и остановить машину. А как узнает водитель скорость машины? Для этой цели перед ним щиток, на котором расположен измеритель скорости — спидометр.

Действие спидометра основано на возбуждении индукционных токов в сплошном алюминиевом диске при вращении перед ним полюсов магнита. Взаимодействие этих токов с магнитом приводит диск во вращение. На таком же принципе, как вы узнаете из курса электротехники, устроены некоторые электродвигатели. Вращению диска препятствует спиральная пружина, возвращающая его в начальное положение. Угол поворота диска тем больше, чем сильнее ток, т. е. чем быстрее вращается магнит. На рисунке 10 показан один из типов

подобных спидометров. Магнит приводится во вращение от гибкого вала, соединенного с валом автомобиля. Стрелка на шкале спидометра показывает скорость машины в километрах в час. Понятно, что спидометр показывает скорость, близкую к мгновенной. Некоторое расхождение с истинной скоростью вызывается инерцией диска (свойственной всякому измерительному прибору) — прибор не успевает мгновенно реагировать на изменение скорости.

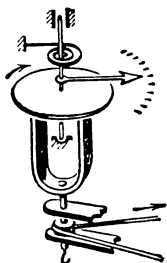


Рис. 10.

### Скорость локомотива

Скорость тепловоза и электровоза определяется специальным прибором — скоростемером. Самопишущий скоростемер, устанавливаемый на современных мощных пассажирских локомотивах, — это универсальный прибор. По циферблату его определяется скорость локомотива в данный момент в километрах в час, а по графику, автоматически записанному на специальной ленте, — скорость на протяжении всего рейса. Кроме того, в циферблат скоростемера вмонтированы часы со шкалой, разделенной на 24 часа, указатель километров, пройденных локомотивом за данный рейс. Сигнальный звонок отрегулирован на определенную предельную скорость. Привод к скоростемеру осуществляется от сцепного колеса локомотива (рис. 11). Движение колеса передается скоростемеру при помощи пальца, ввернутого в ступицу колеса. При вращении колеса палец приводит во вращение червячный редуктор, т. е. механизм, уменьшающий число оборотов приводного вала скоростемера по сравнению с числом оборотов колеса локомотива. Этот редуктор представляет собой соединение червячного винта и зубчатого колеса (рис. 12).

### Скорость судна в море

Нельзя без волнения слушать известную песню наших славных полярников «Раскинулась даль голубая...»:

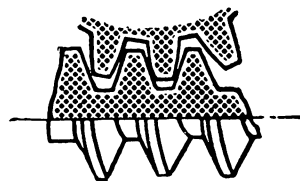
Ночью и днем  
В просторе морском  
Стальные плывут корабли...

Как находят они свой путь, как определяет штурман курс корабля вдали от берегов, когда, куда ни обернешься, только небо да вода? Как измеряют скорость судна?

В морской практике сохранилась старинная мера скорости — *узел*. Что это за мера?



Рис. 11.



Рис

Название «узел» происходит от старинного способа измерения скорости корабля при помощи лага (см. цветную таблицу 3). Тросик, или так называемый лаглинь, с привязанной на конце доской бросают с кормы корабля. Доска по инерции остается позади уходящего корабля, а тросик сматывают с катушки, которую матрос держит в руках. На тросике завязаны узлы, отстоящие друг от друга на определенном расстоянии. Сосчитав число узлов за определенное время, можно определить скорость корабля в «узлах» или милях в час. В настоящее время применяют механические и электрические лоты, но скорость продолжают измерять в узлах. Сравните для интереса скорость крейсера, равную 36 узлам, и скорость пассажирского поезда, равную 36 км/ч.

Узел — самостоятельная единица скорости. Сказать: «Судно идет со скоростью 36 узлов в час» — неправильно. Очень хорошо описана нелепость такого выражения в рассказе «Летучий голландец»\*, отрывок из которого приводится ниже.

«Скажите, капитан, а какая у нас скорость? — подняв очки от записной книжки, вновь спросил гость (корреспондент, посетивший судно).

Гужевой открыл уже рот, чтобы ответить своей обычной остротой, что было шесть узлов в час — в первый, а во втором и трех не дотянули, но Пийчик его предупредил:

— Сколько положено: полный ход, двенадцать узлов».

«...Скорость корабля выражается относительной мерой — узлами, означающими скорость в морских милях в час. Тросик лага, выпускаемый на ходу с кормы, разбивался узелками на расстояния по  $\frac{1}{20}$  мили (50 футов). Сосчитав число узелков, пробежавших за полминуты ( $\frac{1}{20}$  часа), можно прямо узнать скорость в морских милях в час. Отсюда следует, что выражение «30 узлов в час» явно бессмысленно: получается, что корабль вместо приличного хода — 55 километров в час, тащится по 1500 футов (470 метров) в час, что и невероятно и обидно.

Гужевой хотел сказать, что в первом часу похода еще удавалось держать скорость в шесть узлов, а во втором и того не получилось. Пийчик хорошо сделал, что его остановил, ибо острота его все равно не была бы оценена гостем. Но тот, оперируя записной книжкой, мог бы потом утверждать, что сам слышал, как моряки говорят: «столько-то узлов в час». А это выражение и так уже часто встречается в морских романах».

---

\* Л. С о б о л е в, Морская душа, Гослитиздат, М., 1951, стр. 127—128.



Рис. 13.

## Скорость самолета

Вы летали на «ТУ-104»? От Москвы до Хабаровска он долетает за 11 часов с двумя промежуточными посадками, на которые затрачивает 2,5 часа. Значит, в воздухе он находился всего 8,5 часа. Максимальная скорость этого чудесного советского самолета 1000 километров в час. Можно ли измерить такую скорость?

Скорость движения автомобиля и локомотива определяется по скорости вращения колес (окружная, или линейная, скорость точки на ободе колеса есть в то же время скорость поступательного движения машины); скорость движения судна определяется по удалению от доски, выброшенной в море. Но как определить скорость летящего над Землей самолета? Связь его с Землей может осуществляться только по радио. Приходится признать, что пока нет совершенных способов измерения скорости самолета относительно Земли. Обычно ограничиваются определением только «воздушной скорости», т. е. скорости относительно среды, в которой перемещается самолет. Для определения

этой скорости используется зависимость между скоростью движения самолета и давлением со стороны встречного потока воздуха. Такое давление складывается из двух величин: статического давления, зависящего от плотности воздуха, окружающего самолет, и динамического давления, которое зависит от скорости полета и от плотности воздуха. Сумма этих давлений называется полным давлением:

$$P_{\text{полн}} = P_{\text{ст}} + P_{\text{дин}}.$$

Указатель скорости на самолете состоит из двух основных частей: приемника воздушного давления и чувствительного дифференциального манометра (см. таблицу 3). Приемник воздушного давления представляет собой две трубки, помещенные в общий цилиндрический корпус. Одна трубка воспринимает полное давление. Боковые отверстия в цилиндре и вторая трубка воспринимают статическое давление.



Рис 14.

Разность полного и статического давления представляет динамическое давление и может быть измерена дифференциальным манометром (показывающим разность внутри и снаружи гофрированных коробок). Шкала манометра градуируется не в единицах давления, а в единицах скорости на основе зависимости, выражаемой формулой динамического давления:

$$P_{\text{дин}} = \rho \frac{v^2}{2}.$$

Управление самолетом требует большого искусства, внимания и знаний. Вы составите некоторое представление о сложности обстановки, в которой приходится работать пилоту, взглянув на рисунок 13.

### Скорость ветра

На метеорологических станциях скорость ветра обычно измеряют при помощи флюгера с ветромерной доской. Когда ветра нет, доска висит вертикально. Чем сильнее ветер, тем на больший угол отклоняется доска. По штифтам расположенного около доски указателя можно определить скорость ветра.

Направление ветра определяется по восьмилучевому указателю сторон горизонта: северное, восточное, северо-восточное и т. д. На картах погоды силу ветра принято обозначать в баллах.

Ниже приводится таблица (см. стр. 24) сравнительной оценки силы ветра в баллах, соответствующей определенной скорости (в метрах в секунду и в километрах в час), а на рисунке 14 — действия ветра раз-  
ной силы (в баллах).



Сила ветра в баллах	Признаки для оценки	Скорость ветра в м/сек	Скорость ветра в км/ч
0	Листья на деревьях не колеблются, дым из труб поднимается вертикально, огонь от спички не отклоняется . . . . .	0	0
1	Дым несколько отклоняется, но ветер не ощущается . . . . .	1—2	3,6
2	Ветер ощущается лицом, листья на деревьях колеблются . . . . .	2—3	7—11
3	Ветер качает мелкие ветки и колеблет флаг . . .	3—5	11—18
4	Качаются ветки средней величины, поднимается пыль . . . . .	5—7	18—25
5	Качаются тонкие стволы деревьев и тонкие ветки, образуется рябь на воде . . . . .	8—10	29—36
6	Качаются толстые стволы деревьев . . . . .	10—12	36—43
7	Качаются большие деревья, идти против ветра трудно . . . . .	12—15	43—54
8	Ветер ломает ветви и сучья . . . . .	15—18	54—65
9	Ветер сносит легкие постройки, валит заборы . .	18—22	65—79
10	Деревья вырывает с корнем, сносит прочные постройки . . . . .	22—25	79—80
11	Ветер производит большие разрушения, валит телеграфные столбы, вагоны и т. п. . . . .	25—29	90—104
12	Ураган разрушает дома, опрокидывает каменные стены . . . . .	более 29	более 104

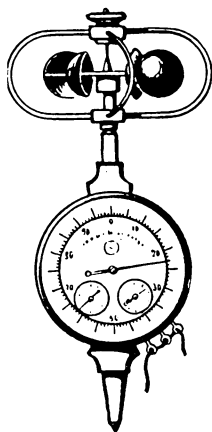


Рис. 15.

Более точно можно определять среднюю скорость ветра при помощи анемометра (рис. 15). Прибор состоит из легко вращающейся крыльчатки («крест Робинзона»), ось которой при вращении приводит в действие зубчатый механизм, подсчитывающий число оборотов крыльчатки за определенное время. Зная число оборотов крыльчатки, можно рассчитать и скорость ветра. При помощи анемометра можно изучать распределение ветров по высоте.

Полученные на метеорологической станции результаты наблюдения за ветром имеют большое научное значение прежде всего для самой метеорологии — науки о погоде и климате, а также для авиации, артиллерии и даже для космических полетов.



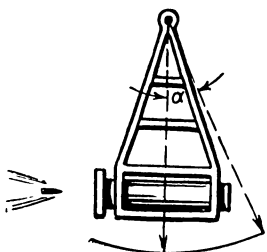


Рис. 16.

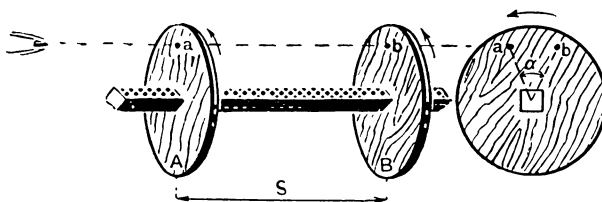


Рис. 17.

### Скорость пули

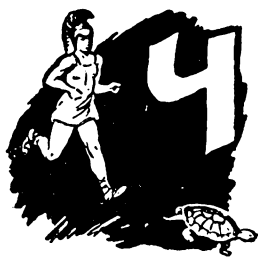
Для определения скорости пули можно применить, примерно, такой же способ, как и при определении скорости ветра. Только отклоняться будет не ветромерная доска, а баллистический маятник — ящик с песком или землей, подвешенный на прочной раме так, что может качаться в вертикальной плоскости (рис. 16). Скорость рассчитывается в зависимости от угла отклонения  $\alpha$ .

Однако мы рассмотрим более простой способ, рекомендуемый для лабораторного определения скорости пули. На четырехгранную ось надевают два фанерных или картонных диска такого размера, чтобы при стрельбе вдоль оси пуля могла пробить оба диска (рис. 17). Расстояние между дисками  $s$  равно 30 см. Число оборотов диска в минуту  $n$  определяется специальным счетчиком оборотов или тахометром. После выстрела пуля пробивает оба диска, но одно отверстие оказывается смещенным по отношению к другому на некоторый угол. Это объясняется тем, что, пока пуля, пробив диск  $A$ , пролетала расстояние  $s$  до диска  $B$ , последний успел повернуться на угол  $\alpha$ . Время, соответствующее этому повороту (оно же — время, за которое пуля пролетела расстояние  $s$ ), определяется так:

$$t = \frac{\alpha}{60n}.$$

Отсюда скорость пули:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{s \cdot 60n}{\alpha} \frac{\text{см}}{\text{сек}}.$$



## ЧЕТЫРЕ ЗАТРУДНИТЕЛЬНЫХ ПОЛОЖЕНИЯ

Движенья нет, сказал мудрец брадатый.  
Другой смолчал и стал пред ним ходить.  
Сильнее бы не мог он возразить;  
Хвалили все ответ замысловатый,  
Но, господа, забавный случай сей  
Другой пример на память мне приводит:  
Ведь каждый день пред нами солнце ходит,  
Однако ж прав упрямый Галилей.

(А. С. Пушкин, Движение.)

«Забавный случай» этот, если верить легенде, произошел в небольшом древнегреческом городке Элее (на юге Италии). Лет за 500 до нашей эры жил здесь знаменитый философ Зенон. «Свой родной город, город ничтожный, он предпочитал надменным Афинам». К Зенону из разных мест стекались юноши и взрослые мужи приобщиться его мудрости. «Я (Сократ) могу тебе назвать Пафодора, сына Иссолоха, и Каллия, сына Каллиана, которые оба стали мудрыми и славными благодаря общению с Зеноном, за что заплатили ему по сто мин каждый».

Станным показалось бы вам учение Зенона в наши дни. Он отрицал возможность познания мира посредством наших чувств: «верить можно только разуму». Мир, по его учению, неизменен и неподвижен. Несмотря на свидетельства наших чувств, утверждал он, нельзя разумом доказать существование движения в мире. Излюбленным приемом доказательства своих слов Зенон избрал доказательство от противного, приведение к абсурду (нелепости). Первая из его знаменитых апорий \* именно и имела целью доказать невозможность движения. «Движения нет...», оно даже не может начаться. Чтобы пройти расстояние  $AB$  (рис. 18), надо сначала пройти половину его,  $AB_1$ , а еще раньше надо пройти одну четвертую часть,  $AB_2$ , и т. д. Продолжая делить пополам все уменьшающиеся отрезки, мы никогда не кончим деления и, следовательно, никогда не начнем движения.

Возмущенный такими словами, другой мудрец \*\* встал и вышел из комнаты: практика, дело — вернейшая проверка теории...

Ошибка Зенона ясна: он возможность бесконечного деления отрезка смешивал с бесконечностью времени на прохождение этого отрезка.

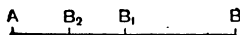


Рис. 18.

\* А п о р и я по-гречески означает «безвыходное положение, тупик, непреодолимая трудность».

\*\* По легенде это был Диоген из Синопа.

Вторая апория Зенона — «Ахиллес и черепаха» представляет собой почти повторение первой, но выражена в столь оригинальной форме, что если вы предложите эту задачу вашим товарищам в классе, то ручаемся, что возникнут весьма горячие споры. Желаем вам выйти победителем из этого спора. Вот эта задача: быстроногий Ахиллес (герой троянской войны) никогда не догонит черепаха, хотя последняя, как известно, считается образцом медленности движения.

Пока Ахиллес проходит расстояние, отделявшее их первоначально, черепаха не ждет, а продолжает ползти, и Ахиллесу надо пройти первоначальное расстояние и образовавшееся новое расстояние. Но, когда Ахиллес пройдет и новое расстояние, черепаха, продолжая ползти, опять уйдет от Ахиллеса, и последнему опять надо будет догонять черепаха, и так можно продолжать рассуждение бесконечно долго, доказывая, что Ахиллесу никогда не настичь черепахи.

Но ведь это неправда! Вы легко опровергнете этот парадокс, если знаете формулу равномерного движения и умеете решать уравнение с одним неизвестным. Конечно, Ахиллес догонит черепаха пусть через какое-то время  $t$ . За это время он пройдет расстояние, измеряемое произведением  $v_A t$ , где  $v_A$  — скорость Ахиллеса. Черепаха за то же время проползет расстояние, измеряемое произведением  $v_ч t$ , где  $v_ч$  — скорость черепахи. Если первоначальное расстояние, отделявшее Ахиллеса от черепахи, обозначить  $d$ , то можно написать:

$$v_A t = v_ч t + d.$$

Отсюда находим:

$$t = \frac{d}{v_A - v_ч}.$$

Можно решить эту задачу иначе. Скорость Ахиллеса  $v_A$  больше скорости черепахи  $v_ч$ , поэтому расстояние между ними сокращается за единицу времени на  $v_A - v_ч$ . Все расстояние между Ахиллесом и черепахой обозначим  $d$ , оно будет пройдено за время  $t = \frac{d}{v_A - v_ч}$ . За это время Ахиллес и догонит черепаха.

Третья апория — «Стрела». Она интересна тем, что раскрывает важнейшее свойство движения — его относительность. Но сначала послушаем Зенона.

Выпущенная из лука стрела (рис. 19) в какой-то данный момент времени находится в точке  $A$ . В это мгновение она покоится. Когда стрела достигнет точки  $B$ , то можно было бы утверждать, что она покоится в этот момент в этой точке  $B$ . В какой бы точке мы ее

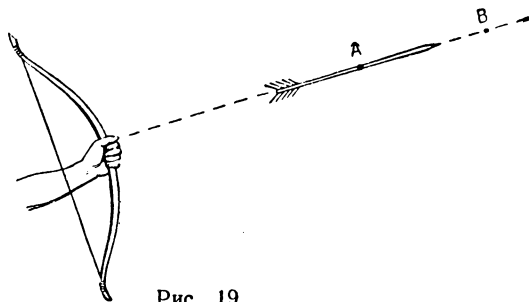


Рис. 19.

ни застали, она покоится в тот момент, в который находится в этой точке, т. е. покоится в любой момент, покоится вообще.

В чем же тут дело? Зенон, очевидно, смешивал точку на стреле с точкой вне стрелы. Да, конечно, стрела неподвижна относительно точки  $A$ , взятой на самой стреле, как неподвижны друг относительно друга предметы в вагоне движущегося поезда.

Обитатели Земли охотно считают Землю неподвижной; она действительно неподвижна относительно стоящих на ней предметов. Но Земля мчится вокруг Солнца, одновременно вращаясь вокруг своей оси. Об этом и думал «упрямый Галилей», когда, согласно преданию, после своего отречения от «ереси вращения Земли» воскликнул: «А все-таки она движется».

Насколько различны оказываются движения тела, если их рассматривать относительно различных, как говорят, тел отсчета, убедительно покажет вам пример колеса, катящегося по рельсам (рис. 20). Как вы думаете, какова траектория какой-нибудь точки катящегося колеса, например точки  $A$ ? Вопрос не имеет смысла, скажете вы, если не указать систему отсчета. Относительно рельсов и вообще «неподвижной» Земли (железнодорожного полотна) траектория точки  $A$  — циклоида. Отметим попутно, что по этой кривой вычерчивают профиль некоторых зубчатых колес, когда хотят добиться плавного качения зуба по зубу в передаче. Относительно оси вагона точка  $A$  описывает окружность.

Относительность движения распространяется и на такую характеристику его, как скорость. О скорости тоже можно говорить определенно только тогда, когда указано, относительно чего определена скорость, т. е. тоже лишь выбрав систему отсчета.

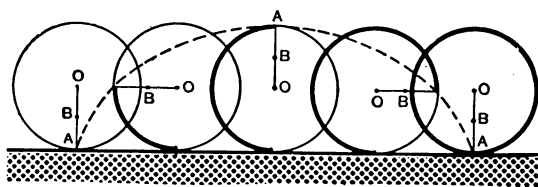


Рис. 20.

Вот четвертая из известных апорий Зенона против движения, называемая «Стадион», по-гречески — «ристалище, бега» (рис. 21).

Представьте себе три параллельных ряда всадников, готовых к старту. Сигнал! Второй ряд мчится направо, третий — с той же скоростью налево, а первый ряд остается на месте. К моменту II всадник второго ряда промчался на половину неподвижного ряда, т. е. на  $\frac{s}{2}$ . Но за то же время он

ускал от головного всадника третьего ряда на

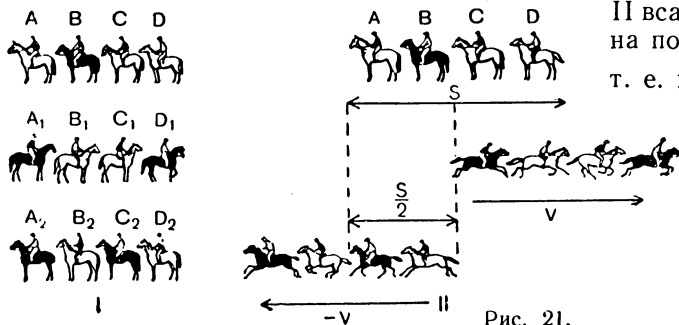


Рис. 21.

целый ряд, т. е. на  $s$ . Так как за одинаковые промежутки времени всадник должен проскакать одинаковые расстояния, то  $\frac{s}{2}=s$ , или  $\frac{1}{2}=1$ . Поскольку это нелепо, то движение само себя отрицает.

Наивно? Да, наивно. Теперь каждый школьник, немного знакомый с физикой, скажет, что если скорость всадника второго ряда относительно первого, неподвижного ряда равна  $v$ , то относительно третьего ряда, движущегося в том же аллюре, она равна  $2v$ , и перемещение относительно движущегося ряда вдвое больше, чем относительно неподвижного. Не будем, однако, очень строги к Зенону. Во-первых, это было почти две с половиной тысячи лет назад, а во-вторых, мы должны оценить заслугу Зенона, который одним из первых указал на противоречивость движения. Однако, не сумев выразить эту противоречивость, он пришел к «опровержению» движения.

В жизни нам не раз приходится сталкиваться с относительным характером движения и становиться жертвой не всегда легко разрешимых иллюзий (обмана чувств). Не приходилось ли вам из окна движущегося поезда наблюдать движение другого поезда, идущего по параллельному пути? В какое-то время этот поезд обгоняет ваш, пассажиры его посылают вам прощальные приветствия. Однако машинист, словно угадав ваше желание, прибавляет ход, и вы торжествуете: скорость вашего «соперника» становится все меньше и меньше, вот уже оба поезда кажутся неподвижными относительно друг друга, и, наконец, — «ура», обогнали! Вагоны соседнего поезда «уплывают» назад! Вся эта сценка — результат относительности скоростей.

Приведем еще один пример. На рисунке 22 изображена схема рассадопосадочной машины. Растение, предназначенное для посадки, находится на ленте транспортера. Скорость движения ленты  $v$  равна скорости движения всей машины  $v_m$ , только направлена она в противоположную сторону. В пункте  $A$  лента находится в покое относительно Земли ( $v_A=v_m$ ), это и позволяет правильно опускать растения в заранее приготовленные лунки. Не будь этого относительного покоя, потребовалось бы большое искусство, чтобы на ходу сбросить растение точно в лунку и при этом не повредить его.

Еще сложнее примеры, в которых надо рассматривать движения, направленные под углом друг к другу. Каждый из вас наблюдал наклонные струйки дождя на оконном стекле движущегося вагона. А для «неподвижного» наблюдателя, стоящего на платформе, капли дождя в безветренную погоду падают вертикально.

Вы можете сделать простой прибор, хорошо поясняющий это наблюдение. Вырежьте два равных прямоугольника из плотной бумаги. На одном проведите жирную наклонную

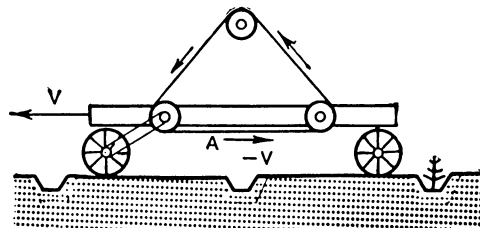


Рис. 22.

черту  $AB$  (рис. 23), изображающую след капли на стекле движущегося вагона. На другом листке сделайте вертикальный прорез  $CD$ . Наложите второй листок на первый. Вытягивайте теперь нижний листок из-под верхнего в направлении движения вагона, и вы увидите в прорез перемещающуюся черную точку (каплю).

Так и для наблюдателя, стоящего неподвижно вне вагона, капля движется вертикально вниз, а для наблюдателя, движущегося вместе с вагоном, капля движется по наклонной линии  $AB$ .

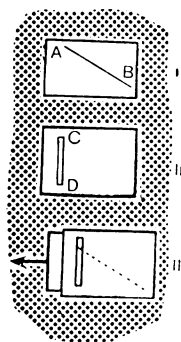


Рис. 23.



## БЕСЕДА В ВЕНЕЦИАНСКОМ АРСЕНАЛЕ

### Урок физики в IX классе

Сегодня я расскажу вам кратко о развитии механики.

История не сохранила нам имени того первобытного «инженера-конструктора», которому первому пришла в голову мысль взять в руки палку, чтобы отвалить тяжелый камень и поймать юркнувшую под него ящерицу. Да и было ли еще имя у этого «инженера»? Я умышленно употребил это «звание», потому что слово «инженер» происходит от французского слова «гений», а первая мысль об использовании палки в качестве орудия, увеличивающего силу руки, поистине была гениальной мыслью. (Возможно, что описанной сценки никогда не было.)

Постепенно, на протяжении многих, многих веков, в практике изготовления орудий охоты, постройки жилищ, а впоследствии городов, в постройке судов, изготовлении орудий труда накапливался опыт и практические умения. Они передавались из поколения в поколение. Конечно, это еще не было наукой. В древних государствах Востока, в Египте зарождающаяся наука была достоянием жрецов, использовавших накопленные знания в корыстных целях. Жрецы были первыми астрономами, ввели летосчисление. Они умели предсказать время разлива Нила и время наступления полевых работ.





С целью восстановления границ земельных участков, которые ежегодно размывались, приходилось на земле вычерчивать разные геометрические фигуры, отсюда ведет свое начало геометрия, что в переводе означает «землемерие». Развитию математики способствовало развитие астрономии, торговли, строительства.



В Греции в отличие от Египта развивающаяся наука не была привилегией жрецов. Греческие ученые были одновременно и философами, и математиками, и естествоиспытателями. Особенным почетом пользовалась у них геометрия. Механика как наука выделилась из геометрии.

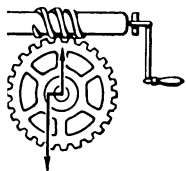


Рис. 24.

«Механика» — слово греческое, в переводе на русский язык означает «сложное, затейливое приспособление, хитрую штуку», впоследствии — «мастерство», относящееся к машинам. В настоящее время механика — это наука о простейшей форме движения материи — механическом движении.

В древней Греции механика считалась не наукой, а ремеслом. В рабовладельческой Греции ремесло, труд, а вместе с ними и физический эксперимент считался делом низким, недостойным свободного гражданина. По словам греческого историка Плутарха, «механика, изгнанная из геометрии, отделилась от нее и долгое время находилась в пренебрежении, став лишь одной из практических отраслей военного искусства». Знаменитый геометр Греции Архимед известен изобретениями многих механизмов и машин: бесконечного винта (рис. 24), водоподъемной машины (рис. 25), полиспаста и др. Но тот же историк называет механические изобретения Архимеда «игрушками геометрии». А о том, как пригодились машины Архимеда при защите осажденных римлянами Сиракуз, я прочитаю вам отрывок из сочинения того же Плутарха:

«В это время Архимед и привел в действие свои машины. В неприятельскую пехоту неслись пущенные им различного рода стрелы и невероятной величины камни с шумом и страшной быстротой. Решительно ничто не могло вынести силы их удара. На море внезапно поднимались со стен осажденного города бревна, загнутые наподобие рога. Одни из них ударяли в некоторые корабли сверху и силой удара топили их. Другие железными лапами или клювами,

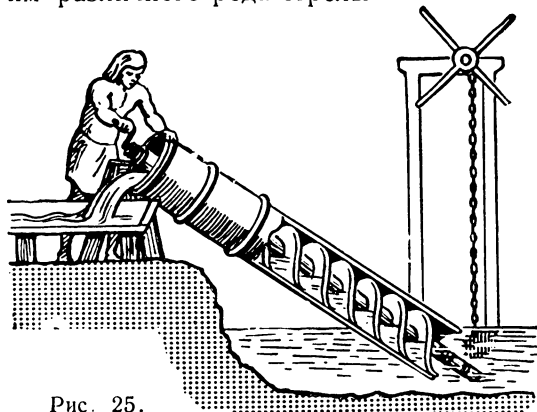


Рис. 25.

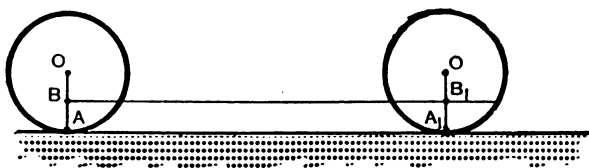


Рис. 26.

наподобие журавлиных, схватывали корабли за носы, поднимали их в вертикальном направлении на воздух, ставили на корму и затем (удалив крюк) топили».

Живший на сто лет раньше Архимеда греческий философ Аристотель механику определял так: «Под механикой разумею мы ту

часть практического искусства, которая помогает нам разрешать затруднительные вопросы». Познакомимся с одним из таких затруднительных вопросов, известных под названием «колесо Аристотеля» (рис. 26).

Представим себе колесо, катящееся по прямой линии. Пусть колесо сделает один полный оборот. Тогда точка  $A$  соприкосновения колеса с прямой снова коснется прямой в точке  $A_1$  и расстояние  $AA_1$  будет равно длине окружности колеса. В то же время какая-нибудь другая точка колеса, например точка  $B$ , лежащая на середине радиуса первой окружности, тоже совершит полный оборот, и может показаться, что расстояние  $BB_1$  равно длине описанной ею окружности. Получается нелепый вывод, что длины окружностей разных радиусов равны между собой. Как согласовать эти развертывания окружностей и перемещения точек? (Предлагаем и вам, читатель, найти выход из создавшегося затруднения.)

Минуя больше чем тысячелетний период средних веков, почти ничем не замечательный в истории механики, перенесемся мысленно в Италию, в местечко Арчетри, близ Флоренции, где с 1633 года под надзором инквизиции доживал свои дни Галилео Галилей.

Под страхом отлучения от церкви и пытки, которой ему угрожали, он должен был отречься от учения Коперника о движении Земли, но навсегда остался верным новому мировоззрению. К этому времени Галилей приобрел широкую известность своими открытиями в области механики и астрономии. С помощью сконструированного им телескопа с достаточно большим увеличением он открыл горы на Луне, пятна на Солнце, спутников Юпитера и фазы Венеры. Велика роль Галилея и в развитии механики. Если Архимеда считают основоположником статики, т. е. механики тел, находящихся в равновесии, то Галилея называют основоположником динамики — механики движущихся тел. Он вполне осознал и применил к решению практических задач закон инерции, хотя и не выразил его с такой четкостью, с какой это сделал Ньютон. Он изучал движение тел под действием силы тяжести: падающих и скатывающихся с наклонной плоскости и качания маятника. В своих выводах он резко разошелся с господствовавшим в то время





Таблица 3. Измерение скорости транспортных машин

С развитием техники совершенствовались приборы для определения скорости машины. От старинного ручного лага 5, применяемого на кораблях, и песочных часов 4 перешли к электрифицированным лагам и хронометрам 6. На автомобиле устанавливают магнитный спидометр 1. Современные локомотивы снабжены самопишущими скоростемерами 2. Авиационные указатели скорости основаны на законах аэродинамики.






Таблица 4. Из истории развития механики (до Ньютона)

Механика возникла и развивалась в результате практики людей: постройки жилищ, совершенствования орудий труда, развития военной техники. Расцвет механики начался после «темной ночи» средневековья, когда стали усиленно развиваться промышленность, торговля, международные связи. Великие географические открытия, изобретение книгопечатания, расширение астрономических знаний способствовали развитию науки. Галилей, изучая законы движения, заложил основы кинематики и динамики.

$$V = gt$$

$$S = \frac{gt^2}{2}$$

$$V^2 = 2gS$$

учением схоластов, придерживавшихся ложного учения Аристотеля. Поскольку учение Аристотеля поддерживалось всеильной тогда католической церковью, то выступление против этого учения считалось опасной ересью.

Чтобы оценить смелость учения Галилея, надо знать эпоху, в которую он жил.

Это было триста с лишним лет назад. В Италии еще свежа была память о кровавых правителях Медичи, преступных папах Борджия; в Риме в 1600 году был сожжен живым Джордано Бруно. Во Франции еще не изгладилась память об ужасах варфоломеевской ночи. Галилей был современником первых Бурбонов — Генриха IV и Людовика XIII и их министра кардинала Ришелье, описанных в романе Дюма «Три мушкетера» и др. В Испании и других государствах Европы пылали костры инквизиции, на которых сжигали «колдунов» и «ведьм». В Германии современник и друг Галилея астроном Кеплер едва мог спасти от этой участи свою мать, обвиненную в «колдовстве».

Так вот в эту далекую мрачную пору и жил современник Шекспира, Бэкона Веруламского и Декарта — Галилео Галилей, профессор математики в Падуге, затем во Флоренции, основоположник новой науки, опирающейся не на авторитеты древних писателей, а на опыт, эксперимент. После отречения от учения Коперника, вынужденный удалиться в изгнание, больной, уже слепнувший семидесятилетний Галилей не бросает занятия наукой. В 1638 году в Голландии выходит из печати самое знаменитое из его произведений — «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки, относящихся к механике и местному движению».

У меня в руках эта знаменитая книга Галилея (в русском переводе). Книга написана в виде бесед четырех друзей, собирающихся для этой цели в венецианском арсенале (помещении, где хранятся орудия военного назначения). Сам выбор места бесед показывает, что Галилей понимал, какую роль играет в развитии наук техника.

Главной темой беседы первого дня была «Новая отрасль науки, касающаяся сопротивления твердых тел разрушению».

Прочность твердого тела объясняли тогда боязнью пустоты между отделившимися частями. Галилей боролся с господствовавшим в то время учением и в лице одного из собеседников приводит разговор, из которого следует, что, несмотря на боязнь пустоты, вода не может быть поднята насосом на высоту, большую 18 локтей (10,33 м).



Памятник Галилею.

Надо иметь в виду, что все рассуждения Галилея о прочности относятся ко времени, когда еще ничего не знали о молекулах и силах сцепления между ними. Эти рассуждения не всегда ясны и не всегда соответствуют современному объяснению.

Познакомлю вас кратко еще с одной беседой, в которой говорится о свободном падении тел. Галилей в лице Сагредо и Сальвиати вступает в спор по этому вопросу с Симпличио, сторонником учения Аристотеля.

**С и м п л и ч и о.** ...Аристотель доказывает, что существование движения противоречит допущению пустоты. Его доказательство таково. Он рассматривает два случая: один — движение тел различного веса в одинаковой среде; другой — движение одного и того же тела в различных средах. Относительно первого случая он утверждает, что тела различного веса движутся в одной и той же среде с различными скоростями, которые относятся между собой, как веса тел, так что, например, если одно тело в десять раз тяжелее другого, то и движется оно в десять раз быстрее...

**С а л ь в и а т и.** ...Я сильно сомневаюсь, чтобы Аристотель видел на опыте справедливость того, что два камня, из которых один в десять раз тяжелее другого, начавшие одновременно падать с высоты, предположим, ста локтей, двигались со столь различной скоростью, что, в то время как более тяжелый достиг бы земли, более легкий прошел бы всего десять локтей.

**С и м п л и ч и о.** Из ваших слов выходит, что вы производили подобные опыты, потому что вы говорите «**в и д е л б о л е е т я ж е л ы й**», а **в и д е т ь** можно только тогда, когда производишь опыты.

**С а г р е д о.** Но я, синьор Симпличио, не производивший никаких опытов, уверяю вас, что пушечное ядро весом в сто, двести и более фунтов не опередит и на одну пядь мушкетную пулю весом меньше полфунта при падении на землю с высоты двухсот локтей.

**С а л ь в и а т и.** Да и без дальнейших опытов путем краткого, но убедительного рассуждения мы можем ясно показать неправильность утверждения, будто тела более тяжелые движутся быстрее, нежели более легкие... В самом деле, скажите мне, синьор Симпличио, признаете ли вы, что каждому падающему твердому телу присуща от природы определенная скорость, увеличить или уменьшить которую возможно только введением новой силы или препятствия?

**С и м п л и ч и о.** Я не сомневаюсь в том...

**С а л ь в и а т и.** Таким образом, если мы имеем два падающих тела, естественные скорости которых различны, и соединим движущееся быстрее с движущимися медленнее, то ясно, что движение тела,

падающего быстрее, несколько задержится, а движение другого несколько ускорится. Вы не возражаете против такого положения?

С и м п л и ч и о. Думаю, что это вполне правильно.

С а л ь в и а т и. Но если это так и если вместе с тем верно, что больший камень движется, скажем, со скоростью восемь «градусов», 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 имеет скорость в восемь «градусов», и, следовательно, выходит, что более тяжелое тело движется с меньшей скоростью, чем более легкое, а это противно вашему предположению. Вы видите теперь, как из положения, что более тяжелые тела движутся с большей скоростью, чем легкие, я мог вывести заключение, что более тяжелые тела движутся менее быстро.

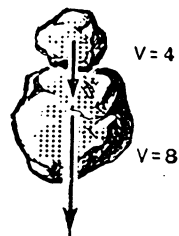
С и м п л и ч и о. Я чувствую себя совершенно сбитым с толку. Мне кажется, что малый камень, присоединенный к большему, увеличивает вес последнего; но, увеличивая вес, он должен, если не увеличить скорость, то во всяком случае не уменьшить ее.

С а л ь в и а т и. Здесь вы совершаете новую ошибку, синьор Симпличио, так как неправильно, что малый камень увеличивает вес большего.

С и м п л и ч и о. Ну это уже превосходит мое понимание.

С а л ь в и а т и. Нисколько, все будет понятно, как только я избавлю вас от заблуждения, в которое вы впали. Дело в том, что необходимо делать различие между телами, пребывающими в покое и находящимися в движении. Большой камень, взвешиваемый на весах, приобретает больший вес от наложения на него не только другого камня: положенная на него связка пакли увеличивает его вес на шесть—десять унций, которые весит сама пакля. Но если вы заставляете камень свободно падать с некоторой высоты вместе с наложенной на него паклей, то думаете ли вы, что при движении пакля будет давить на камень и тем увеличивать скорость его движения или что она его замедлит, поддерживая камень? Мы чувствуем тяжесть на плечах, когда сопротивляемся движению, к которому стремится давящая тяжесть; но если мы опускались бы с такой же скоростью, с какой перемещается свободно падающий груз, то каким образом тяжесть могла бы давить на нас? Не видите ли вы, что это подобно тому, как если бы мы хотели поразить копьём кого-либо, кто бежит впереди нас с равной или большою скоростью? Выведите из этого заключение, что при свободном и естественном падении малый камень не давит на больший и, следовательно, не увеличивает его веса, как то бывает при покое.

С и м п л и ч и о. Но если положить больший камень на меньший?



С а л ь в и а т и. Он увеличил бы вес меньшего, если бы движение его было более быстрым; но мы уже нашли, что если бы меньший двигался медленнее, то он замедлил бы отчасти движение большего. Таким образом, целое двигалось бы медленнее, будучи больше своей части, что противно вашему положению. Выведем из всего этого, что тела большие и малые, имеющие одинаковый удельный вес, движутся с одинаковой скоростью».

Очень интересно и продолжение этой беседы, и все остальные. Любознательным советую взять в библиотеке «Беседы» Галилея и прочитать их. Там найдете много интересных высказываний ученого XVI века об ускорении тел, о полете брошенных тел, об ударе и других вопросах механики.

Я уже говорил вам, что от Архимеда до Галилея, на протяжении почти двух тысяч лет, ничего замечательного не было открыто в механике. Чем это объясняется?

Конечно, можно назвать еще несколько крупных механиков, живших после Архимеда во II и I веках до нашей эры, например Герон Александрийский, римский инженер Витрувий, но их теоретический вклад в науку не так уж велик. Первые века нашей эры совпадают с разложением рабовладельческого общества. Рабство, которому обязана своим развитием греко-римская культура, в конце концов и привело ее к гибели. Труд раба малопродуктивен и, несмотря на жесточайшую эксплуатацию, переставал оправдывать себя. Восстания рабов и покоренных народов расшатывали устои мировой империи. Одновременно участились нападения варварских племен. Возникшая в низах угнетенного населения христианская религия проникала и в высшие классы, пораженные упадочническими настроениями и предчувствием своей неминуемой гибели. Христианство, уже на первых своих этапах выступившее как непримиримый враг науки, стало господствующей религией.

Переход от рабовладельческого строя к феодальному не принес существенных побудительных мотивов для развития науки и техники. Нехитрые потребности феодала (помещика, жившего трудом своих крепостных и разбойничьими набегами) вполне удовлетворялись натуральным хозяйством. Это значит, что все продукты феодал получал со своей земли, крепостные ткачи изготавливали ему ткани для одежды, крепостные столяры делали мебель для его замка. Не было необходимости в фабриках, заводах, почти не существовало торговли. Пути сообщения находились в самом жалком состоянии.

Лишь в XIII веке нашей эры начинается расширяться торговля, начинается рост городов, появляются школы и университеты. Но наука находилась под контролем невежественной церкви. Школа (схоластическая) готовила человека не к активной деятельности, а

к будущей загробной жизни. В университетах изучались труды древних богословов. Из светских книг признавались достойными изучения только творения Аристотеля, приспособленные и подогнанные под каноны христианской церкви.

Только с зарождением новой общественной формы — капитализма — начали быстрыми темпами развиваться наука и техника. Мы признаем капитализм за общественный строй, обреченный на гибель, но на первых порах своего развития, в период своего становления, в период борьбы с феодализмом, капитализм был явлением прогрессивным. С развитием капитализма начала развиваться промышленность. Развитие промышленности требовало хороших машин, а чтобы построить хорошую машину, надо знать механику. Наступило время опытного, экспериментального исследования природы. Появились такие гиганты мысли, как Леонардо да Винчи и другие деятели эпохи Возрождения. Коперник выступил со своим революционным мировоззрением. И вот мы подошли к эпохе, с которой начали беседу в начале урока, говоря о жизни и трудах Галилея. Галилей заложил фундамент современной механики, а о путях ее дальнейшего развития мы поговорим другой раз, когда будем говорить об Исааке Ньютоне.



## ТО ТАКОЕ ИНЕРЦИЯ

Мир полон движения. Двигутся звезды, планеты. И на Земле мы всюду видим движение: течет вода в реках, ветер гонит облака и качает деревья, по дорогам едут автомобили, по рельсам — поезда, в воздухе летят самолеты. Научкой доказано движение невидимых глазом частиц — молекул, атомов — и еще более мелких, чем атомы, частиц. Мы не найдем нигде ни одной материальной частицы, которая не была бы в движении. Д в и ж е н и е е с т ь о с н о в н о е с в о й с т в о м а т е р и и.

Механическое движение характеризуется скоростью. И вот другое основное положение: д в и ж у щ е е с я т е л о н е м о ж е т с а м о п о с е б е и з м е н и т ь с в о ю с к о р о с т ь. Если на движущееся тело не действуют никакие другие тела, то тело не может ни ускорить, ни замедлить, ни изменить направление своего движения, оно будет двигаться с какой-то определенной скоростью. Только воздействие



других тел может изменить эту скорость. Свойство тел сохранять величину и направление своей скорости называется **и н е р ц и е й**.



Рис. 27.

До Галилея (XVII в.) считали, что тело может двигаться только под действием внешней силы. Мы же утверждаем теперь как раз обратное: **т о л ь к о в н е ш н и е с и л ы м о г у т и з м е н и т ь д в и ж е н и е**, точнее, **и з м е н и т ь в е л и ч и н у и л и н а п р а в л е н и е с к о р о с т и д в и ж е н и я**. Если футбольный мяч, прокатившись на некоторое расстояние по полю, остановится, то это значит, что на него подействовали какие-то силы, т. е. воздействия каких-то других тел задержали и остановили его (трение о Землю, сопротивление воздуха).

Конечно, «остановили» относительно поля, но он продолжает двигаться вместе с Землей.

Галилей первый объяснил явление инерции. Ньютон сформулировал «закон инерции»: всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока действия со стороны других тел не изменят этого состояния.

Ни один предмет сам собой не придет в движение. Стоящий в комнате стол никогда сам собой не начнет двигаться по комнате. Но движущееся тело не может само собой остановиться. Вспомните, как трудно бывает бегущему быстро остановиться, если не ухватиться руками за столб, дерево или какой-нибудь другой неподвижный предмет. Когда водитель резко затормозит вагон трамвая, то находящиеся в нем пассажиры наклонятся вперед, продолжая движение по инерции. Когда резко тронется вагон с места, пассажиры отклянутся назад. На крутом повороте дороги можно вылететь из саней в сугроб.

Предоставляем читателям самим объяснить неудачи неопытного конькобежца, изображенного на рисунке 27 («споткнулся», «поскользнулся»).

Скачок или поворот в сторону иногда спасает убегающую лисицу или зайца от преследующей собаки.

Число примеров проявления инерции можно было бы увеличить. Инерция — неотъемлемое свойство движущейся материи.

Как же используется явление инерции в технике? Чтобы ответить на этот вопрос, надо знать, что явление инерции в одних случаях может принести вред, и тогда нашей задачей будет предупредить, устранить или уменьшить этот вред. В других случаях инерцию можно будет поставить на службу человеку, сделать ее нашим помощником.

Наиболее распространенное движение в технике — вращательное. Такое движение возможно только при наличии связи, удерживающей движущееся тело на окружности. Чтобы заставить, например, камень



описывать окружности в воздухе, его надо привязать к веревке. При этом, стремясь двигаться по инерции, по прямой линии, касательной к окружности, камень будет натягивать веревку и может ее разорвать. Вследствие инерции слетает грязь с вращающихся колес велосипеда (рис. 28). Быстро вращающийся шкив, маховое колесо, циркулярная пила и вращающиеся части машин могут разорваться. Поэтому точными расчетами на прочность определяют размеры частей машин и допустимую скорость их вращения.

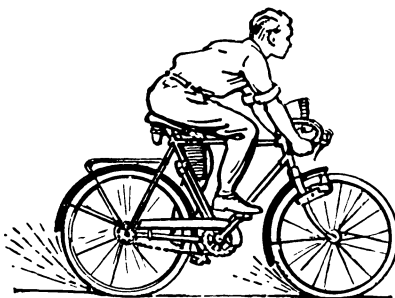


Рис. 28.

Чтобы поезд не сошел с рельсов на поворотах, наружный рельс на закруглении приподнимают.

Ну, а полезное применение инерции? Прежде всего — для продолжения движения. Машинист, ведущий поезд, прекращает работу двигателя на некотором расстоянии до остановки, чтобы поезд прошел это расстояние по инерции. Водители автомашин для экономии бензина часть пути проезжают с выключенным двигателем.

На валах поршневых машин устанавливают маховики, чтобы повысить равномерность вращения вала. В водяных и паровых турбинах, ветряных двигателях используется инерция движения воды, пара и воздуха. Работа центробежного насоса, центрифуги, веялки, сепаратора — все это примеры использования инерции.

В различных применениях удара, начиная от выколачивания пыли и полоскания белья и кончая различными ударными техническими устройствами, используется инерция.

Представьте на минуту, что бы произошло в мире, если бы мгновенно исчезло свойство тел, которое мы называем инерцией? Луна упала бы на Землю. Планеты упали бы на Солнце. Движение тела могло бы осуществляться только под действием силы и прекращалось бы с исчезновением последней. Ничего нельзя было бы бросить, можно было бы только уронить.

Впрочем, и ходить было бы нельзя: ведь при ходьбе мы отталкиваемся от земли, а всякий отрыв от нее лишал бы нас движения вперед. Движение было бы возможным только при совместном перемещении тела, приводимого в движение, с телом, приводящим его в движение. Но так как второе тело в свою очередь может двигаться только при действии на него какого-либо третьего движущегося тела и т. д., то исчезновение инерции означало бы исчезновение движения вообще. Таким образом, инерция есть не что иное, как выражение неразрывности материи и движения.



## ОЧЕМУ ЛУНА НЕ ПАДАЕТ НА ЗЕМЛЮ

Доклад на кружке «Юный физик» в IX классе

Докладчик. Широко известен рассказ о том, что на открытие закона всемирного тяготения Ньютона навело падение яблока с дерева. Насколько достоверен этот рассказ, мы не знаем, но остается фактом, что вопрос, который мы собрались сегодня обсудить: «Почему Луна не падает на Землю?», интересовал Ньютона и привел его к открытию закона тяготения. Ньютон утверждал, что между Землей и всеми материальными телами существует сила тяготения, которая убывает обратно пропорционально квадрату расстояния.

Ньютон рассчитал ускорение, сообщаемое Луне Землей. Ускорение свободно падающих тел у поверхности Земли равно  $980 \frac{\text{см}}{\text{сек}^2}$ . Луна удалена от Земли на расстояние, равное примерно 60 земным радиусам. Следовательно, рассуждал Ньютон, ускорение на этом расстоянии будет:  $\frac{980}{60^2} = 0,27 \frac{\text{см}}{\text{сек}^2}$ . Луна, падая с таким ускорением, должна бы приблизиться к Земле за первую секунду на  $\frac{0,27}{2} \approx 0,13 \text{ см}$ . Но Луна, кроме того, движется и по инерции, т. е. по прямой, касательной в данной точке к ее орбите вокруг Земли (рис. 29). Двигаясь по инерции, Луна должна удаляться от Земли, как показывает расчет, за первую секунду на 1,3 мм. Разумеется, такого движения, при котором за первую секунду Луна двигалась бы по касательной, а за вторую секунду — по радиусу к центру Земли, мы не наблюдаем. Оба движения непрерывно складываются. Луна движется по кривой линии, близкой к окружности.

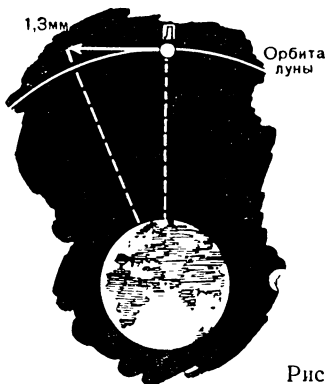


Рис. 29.

Проведем опыт, в котором сила притяжения, действующая на тело под прямым углом к направлению движения по инерции, превращает прямолинейное движение в криволинейное (рис. 30). Шарик, скатившись с наклонного желоба, по инерции продолжает двигаться по прямой линии. Если же поднести к шарiku магнит, то под действием силы притяжения к магниту траектория шарика искривляется.

Как ни стараться, нельзя бросить пробковый шарик так, чтобы он описывал в воздухе окружности, но, привязав к нему нитку, можно заставить

шарик вращаться вокруг руки по окружности. Опыт (рис. 31): грузик, подвешенный к нитке, проходящей через стеклянную трубочку, натягивает нить. Сила натяжения нити вызывает центростремительное ускорение, которое характеризует изменение линейной скорости по направлению.

Луна обращается вокруг Земли, удерживаемая силой притяжения. Стальной канат, который заменил бы эту силу, должен иметь диаметр около 600 километров. Но, несмотря на такую огромную силу притяжения, Луна не падает на Землю, потому что имеет начальную скорость и, кроме того, движется по инерции.

Зная расстояние от Земли до Луны и число оборотов Луны вокруг Земли, Ньютон определил величину центростремительного ускорения Луны. Получилось то же число — 0,27 сантиметров в секунду за секунду.

Прекратись действие силы притяжения Луны к Земле — и она по прямой линии умчится в бездны космического пространства. Улетит по касательной шарик (рис. 31), если разорвется нить, удерживающая шарик при вращении по окружности. В известном вам приборе (рис. 32) на центробежной машине только связь (нить) удерживает шарики на круговой орбите. При разрыве нити шарики разбегаются по касательным. Глазом трудно уловить их прямолинейное движение, когда они лишены связи, но если мы сделаем такой чертеж (рис. 33), то из него следует, что шарики будут двигаться прямолинейно, по касательной к окружности.

Прекратись движение по инерции — и Луна упала бы на Землю. Падение продолжалось бы четверо суток девятнадцать часов пятьдесят четыре минуты пятьдесят семь секунд — так рассчитал Ньютон.

Докладчик. Доклад окончен. У кого есть вопросы?

Вопрос. С какой силой Земля притягивает Луну?

Учитель. Это можно определить по формуле, выражающей закон тяготения:  $F = f \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ , где  $f$  — гравитационная постоянная,  $m_1$  и  $m_2$  — массы Земли и

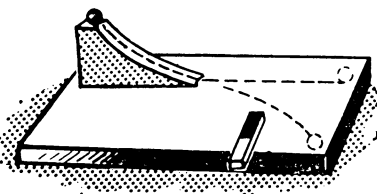


Рис. 30.

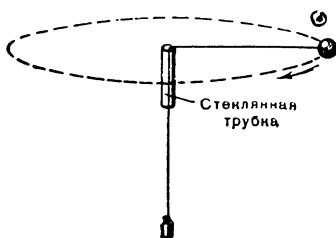


Рис. 31.

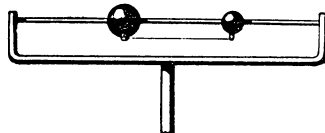


Рис. 32.

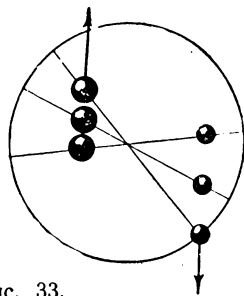


Рис. 33.

Луны,  $r$  — расстояние между ними. Я ожидал этого вопроса и сделал вычисление заранее. Земля притягивает Луну с силой около  $2 \cdot 10^{16}$  тонн.

В о п р о с. Закон всемирного тяготения применим ко всем телам, значит, и Солнце тоже притягивает Луну. Интересно, с какой силой?

О т в е т. Масса Солнца в 300 000 раз больше массы Земли, но расстояние между Солнцем и Луной больше расстояния между Землей и Луной в 400 раз. Следовательно, в формуле  $F = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$  числитель увеличится в 300 000 раз, а знаменатель — в  $400^2$ , или 160 000 раз. Сила тяготения получится почти в два раза больше.

В о п р о с. Почему же Луна не падает на Солнце?

О т в е т. Луна падает на Солнце так же, как и на Землю, т. е. лишь на столько, чтобы оставаться примерно на одном расстоянии, обращаясь вокруг Солнца.

— Вокруг Земли! — решил кто-то с места поправить.

— Неверно, не вокруг Земли, а вокруг Солнца. Вокруг Солнца вращается Земля вместе со своим спутником — Луной.

В о п р о с. Луна не падает на Землю, потому что, имея начальную скорость, движется по инерции. Но по третьему закону Ньютона силы, с которыми два тела действуют друг на друга, равны по величине и противоположно направлены. Поэтому с какой силой Земля притягивает к себе Луну, с такой же силой Луна притягивает Землю. Почему же Земля не падает на Луну? Или она тоже обращается вокруг Луны?

У ч и т е л ь. Дело в том, что и Луна, и Земля вращаются вокруг общего центра масс, или, упрощая, можно сказать, вокруг общего центра тяжести. Вспомните опыт с шариками и центробежной машиной. Масса одного из шариков в два раза больше массы другого. Чтобы шарики, связанные ниткой, при вращении оставались в равновесии относительно оси вращения, их расстояния от оси, или центра вращения, должны быть обратно пропорциональны массам. Точка, или центр, вокруг которого вращаются эти шарики, называется центром масс двух шариков.

Третий закон Ньютона в опыте с шариками не нарушается: силы, с которыми шарики тянут друг друга к общему центру масс, равны. В системе Земля — Луна общий центр масс обращается вокруг Солнца.

В о п р о с. Можно силу, с которой Земля притягивает Луну, назвать весом Луны?

Д о к л а д ч и к. По-моему, можно. Впрочем, нет, нельзя! Весом мы называем вызванную притяжением тела Землей силу, с которой тело давит на какую-нибудь опору, чашку весов например, или растягивает пружину динамометра. Если подложить под Луну (со стороны, обращенной к Земле) подставку, то Луна на нее не будет давить. Не будет Луна растягивать и пружину динамометра, если бы смогли ее подвесить. Все дей-

ствие силы притяжения Луны Землей выражается лишь в удержании Луны на орбите, в сообщении ей центростремительного ускорения. Про Луну можно сказать, что по отношению к Земле она невесома так же, как невесомы предметы в космическом корабле-спутнике, когда прекращается работа двигателя и на корабль действует только сила притяжения к Земле, но эту силу нельзя называть весом. Все предметы, выпускаемые космонавтами из рук (авторучка, блокнот), не падают, а свободно парят внутри кабины. Все тела, находящиеся на Луне, по отношению к Луне, конечно, весомы и упадут на ее поверхность, если не будут чем-нибудь удерживаться, но по отношению к Земле эти тела будут невесомы и упасть на Землю не могут.

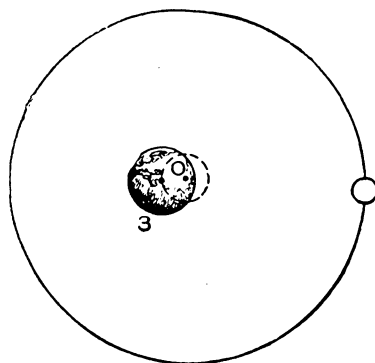


Рис. 34.

В о п р о с. Когда камень, привязанный к веревке, вращается вокруг руки, то упругая сила веревки, заставляющая камень вращаться по окружности, будет центростремительной силой. Но камень с силой натягивает веревку и может разорвать ее. Эту силу называют центробежной. Где центробежная сила в системе Земля — Луна, на что она действует?

О т в е т. В системе Земля — Луна силы взаимного притяжения Земли и Луны равны и противоположно направлены, а именно к центру масс. Обе эти силы центростремительные. Центробежной силы здесь нет.

В о п р о с. Как подсчитать, где находится центр масс в системе Земля — Луна.

О т в е т. Расстояние от Земли до Луны равно примерно 384 000 км. Отношение массы Луны к массе Земли равно 1 : 81. Следовательно, расстояния от центра масс до центров Луны и Земли будут обратно пропорциональны этим числам. Разделив 384 000 км на 81, получим примерно 4700 км. Значит, центр масс находится на расстоянии 4700 км от центра Земли.

— А чему равен радиус Земли?

— Около 6400 км.

— Следовательно, центр масс системы Земля — Луна лежит внутри земного шара (рис. 34).

В о п р о с. Что легче: улететь с Земли на Луну или с Луны на Землю?

О т в е т. Известно, для того чтобы ракета стала искусственным спутником Земли, ей надо сообщить начальную скорость  $\approx 8 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$ .

Чтобы ракета вышла из сферы притяжения Земли, нужна так называемая вторая космическая скорость, равная 11,2 км/сек. Для запуска ракет с Луны нужна меньшая скорость. Сила тяжести на Луне в шесть раз меньше, чем на Земле.

В о п р о с. Я плохо понимаю, почему внутри ракеты тела не имеют веса? Может быть, это только в той точке на пути к Луне, в которой сила притяжения к Луне уравнивается силой притяжения к Земле?

У ч и т е л ь. Нет. Тела внутри ракеты становятся невесомыми с того момента, когда прекращают работу двигатели и ракета будет свободно лететь по орбите вокруг Земли, находясь при этом в поле тяготения Земли. При свободном полете вокруг Земли и спутник, и все предметы в нем относительно центра массы Земли движутся с одинаковым центростремительным ускорением и потому невесомы.

Однако мы начинаем уклоняться в сторону от основной темы. Побережем эти интересные вопросы для другого занятия, на котором будем говорить о космических полетах.

Далее учитель отвечает на два вопроса, которые имеют большое значение для всего курса физики.

1-й в о п р о с. Как двигались несвязанные ниткой шарики на центробежной машине: по радиусу или по касательной к окружности? Ответ зависит от выбора системы отсчета, т. е. относительно какого тела отсчета мы будем рассматривать движение шариков. Если за систему отсчета принять поверхность стола, то шарики двигались по касательным к описываемым окружностям. Если же принять за систему отсчета сам вращающийся прибор, то шарики двигались по радиусу. Без указания системы отсчета вопрос о движении вообще не имеет смысла. Двигаться — значит перемещаться относительно других тел, и мы должны обязательно указать, относительно каких именно. Хорошо, чтобы кто-нибудь из вас взялся сделать дома прибор, наглядно поясняющий то, что я сказал о движении шариков...

2-й в о п р о с. Вокруг чего обращается Луна? Если рассматривать движение относительно Земли, то Луна обращается вокруг Земли. Если же за тело отсчета принять Солнце, то вокруг Солнца. Поясню сказанное рисунком из книги «Занимательная астрономия» Перельмана (рис. 35). Скажите, относительно какого тела показано здесь движение планет?

— Относительно Солнца.

— Верно. Но нетрудно заметить, что Луна все время меняет свое положение и относительно Земли.

Г о л о с с места. Могут когда-нибудь Земля и Луна столкнуться? Их орбиты вокруг Солнца пересекаются, и даже не один раз.

У ч и т е л ь. Конечно, нет. Столкновение возможно только в том случае, если бы орбита Луны относительно Земли пересекала Землю. При положении же Земли или Луны (заметьте, я говорю «или», а не «и»)



Рис. 35.



в пункте пересечения показанных орбит (относительно Солнца) расстояние между Землей и Луной в среднем равно 380 000 км. Чтобы лучше в этом разобраться, начертите к следующему занятию диаграмму этого сложного движения. Орбиту Земли изобразите в виде дуги окружности радиусом 15 см (расстояние от Земли до Солнца, как известно, равно 150 000 000 км). На дуге, равной  $1/12$  части окружности (месячный путь Земли), отметьте на равных расстояниях пять точек, считая и крайние. Эти точки будут центрами лунных орбит относительно Земли в последовательные четверти месяца. Радиус лунных орбит нельзя изобразить в том же масштабе, в каком вычерчена орбита Земли, так как он будет слишком мал. Чтобы начертить лунные орбиты, надо выбранный масштаб увеличить примерно в десять раз, тогда радиус лунной орбиты составит около 4 мм. Укажите на каждой орбите положение Луны, начав с полнолуния, и соедините отмеченные точки плавной пунктирной линией.

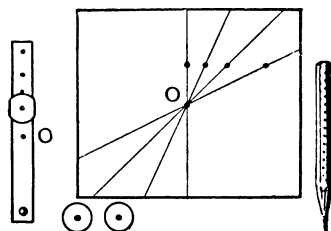


Рис. 36.

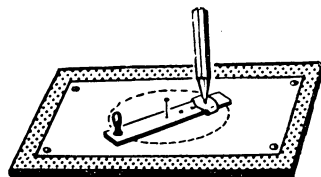


Рис. 37.

На следующем занятии кружка два ученика рассказали о выполненных работах.

Нашей главной задачей было разделить тела отсчета. В опыте с центробежной машиной оба тела отсчета одновременно проектируются на плоскость стола, поэтому очень трудно сосредоточить внимание на одном из них. Мы решили свою задачу так. Линейка из плотной бумаги (ее можно заменить полоской жести, плексигласа и т. п.) будет служить стержнем, по которому скользит картонный кружок, напоминающий шарик (рис. 36). Кружок двойной, склеенный по окружности, но с двух диаметрально противоположных сторон оставлены прорезы, через которые продета линейка. Вдоль оси линейки сделали отверстия. Телами отсчета служат линейка и лист чистой бумаги, который мы кнопками прикрепили к листу фанеры, чтобы не портить стола. Насадив линейку на булавку, как на ось, воткнули булавку в фанеру (рис. 37). При повороте линейки на равные углы последовательно рас-

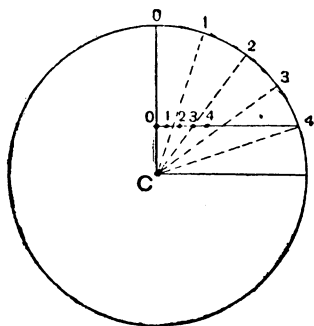


Рис. 38.

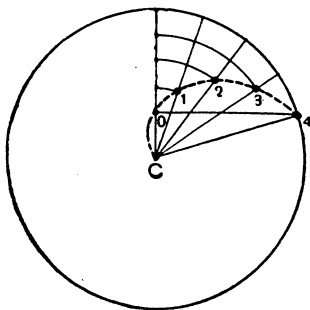


Рис. 39.

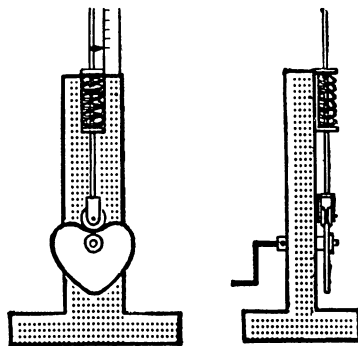


Рис. 40.

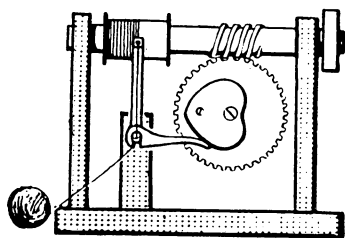


Рис. 41.

положенные отверстия оказывались на одной прямой линии. Но при повороте линейки вдоль нее скользил картонный кружок, последовательные положения которого и требовалось отмечать на бумаге. Для этой цели в центре кружка тоже сделали отверстие. При каждом повороте линейки острием карандаша отмечали на бумаге положение центра кружка. Когда линейка прошла через все заранее намеченные для нее положения, линейку сняли. Соединив метки на бумаге, убедились, что центр кружка перемещался относительно второго тела отсчета по прямой линии, а точнее, по касательной к начальной окружности.

Но во время работы над прибором мы сделали несколько интересных открытий. Во-первых, при равномерном вращении стержня (линейки) шарик (кружок) перемещается по нему не равномерно, а ускоренно. По инерции тело должно двигаться равномерно и прямолинейно — это закон природы. Но двигался ли наш шарик только по инерции, т. е. свободно? Нет! Его подталкивал стержень и сообщал ему ускорение. Это всем будет понятно, если обратиться к чертежу (рис. 38). На горизонтальной линии (касательной) точками 0, 1, 2, 3, 4 отмечены положения шарика, если бы он двигался совсем свободно. Соответствующие положения радиусов с теми же цифровыми обозначениями показывают, что в действительности шарик движется ускоренно. Ускорение шарiku сообщает упругая сила стержня. Кроме того, трение между шариком и стержнем оказывает сопротивление движению. Если допустить, что сила трения равна силе, которая сообщает шарiku ускорение, движение шарика по стержню должно быть равномерным.

Как видно из рисунка 39, движение шарика относительно бумаги на столе криволинейное. На уроках черчения нам говорили, что такая кривая называется «спиралью Архимеда». По такой кривой вычерчивают профиль кулачков в некоторых механизмах, когда хотят равномерное вращательное движение превратить

в равномерное поступательное движение. Если приставить друг к другу две такие кривые, то кулачок получит сердцевидную форму. При равномерном вращении детали такой формы упирающийся в нее стержень будет совершать поступательно-возвратное движение. Мы сделали модель такого кулачка (рис. 40) и модель механизма для равномерной намотки ниток на катушку (рис. 41).

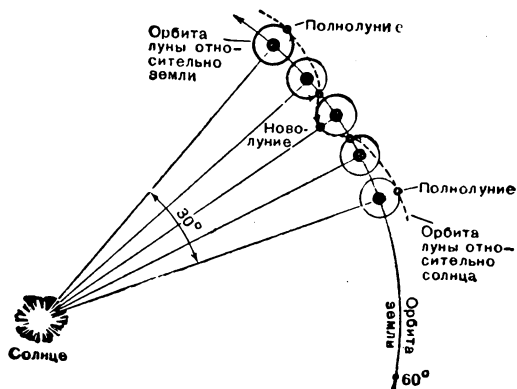
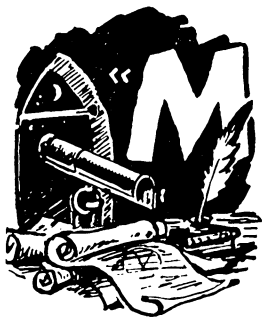


Рис. 42.

Рассказ ученицы, чертившей диаграмму. Я никаких открытий при выполнении задания не сделала. Но я многому научилась, пока составляла эту диаграмму (рис. 42). Надо было правильно определить положение Луны в ее фазах, подумать о направлении движения Луны и Земли по их орбитам. В чертеже есть неточности. О них я сейчас скажу. При выбранном масштабе неправильно изображена кривизна лунной орбиты. Она должна быть все время вогнута по отношению к Солнцу. Кроме того, в году не 12 лунных месяцев, а больше. Но одну двенадцатую часть окружности легко построить, поэтому я условно приняла, что в году 12 лунных месяцев. И, наконец, вокруг Солнца обращается не сама Земля, а общий центр масс системы Земля — Луна.



## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАЧАЛА НАТУРАЛЬНОЙ ФИЛОСОФИИ»

В 1642 году умер Галилей, в 1643 году родился Ньютон. В 1687 году была издана гениальная работа Ньютона «Математические начала натуральной философии». Академик С. И. Вавилов в биографии Ньютона писал: «В истории естествознания не было события более крупного, чем появление «Начал» Ньютона. Причина была в том, что эта книга подводила итоги всему сделанному за предшествующие тысячелетия в учении о простейших формах движения материи». «...Возникла «классическая физика» по образу и подобию «Начал», продолжавшая свое победное развитие в течение веков до нашего времени».

Что же это за книга, получившая такой восторженный отзыв? Кем был ее автор? Надгробная эпитафия так отвечает на второй вопрос:

«Здесь покойся сэр Исаак Ньютон, дворянин, который почти божественным разумом первый доказал с факелом математики движение планет, пути комет и приливы океанов.

Он исследовал различие световых лучей и появляющиеся при этом различные свойства цветов, чего раньше никто не подозревал. Привлекательный, мудрый и верный истолкователь природы, древности и св. Писания, он утверждал своей философией величие всемогущего Бога, а нравом выражал евангельскую простоту. Пусть смертные радуются, что существовало такое украшение рода человеческого.

Родился 25 декабря 1642 г., скончался 27 марта 1727 г.».



И. Ньютон (1643—1727).

Попытаемся очень кратко рассказать о Ньютоне. Личная жизнь Ньютона была не богата событиями. На ней, по-видимому, не отразились политические бури, которые потрясли в тот век его родину. А между тем в Англии за долгую, восьмидесятилетнюю жизнь Ньютона произошли две революции, сменилось шесть королей. Ньютон был современником Петра I и Людовика XIV. Скрамная обстановка в доме матери, вдовы небогатого фермера, школа в городе Грентэме, дружба, позднее перешедшая в любовь, с маленькой мисс Сторей, воспитанницей аптекаря, у которого поселился юноша, — таковы краткие биографические сведения.

Окончив университет, Ньютон получил ученое звание бакалавра, затем магистра. С 1669 года стал во главе кафедры физики и математики в Кембриджском университете. Внешне жизнь Ньютона протекала спокойно, мирно и однообразно. Но ее заполняли непрестанный труд, математические изыскания, физические и химические опыты, вызывающие восхищение его современников. Университетский учитель Ньютона, впоследствии его друг, профессор Барроу был пленен талантом молодого ученого. «Ряды в математике, силы в физике, бог в мироздании и лучи света, пронизывающие пространство...» — эти слова Барроу как нельзя лучше отражали интересы Ньютона в этот период его жизни. Имя Ньютона еще при жизни было окружено ореолом национального героя.

Плодом его неутомимой деятельности явились «Метод флюксий и бесконечные ряды (основы дифференциального и интегрального исчисления — по принятой теперь терминологии)», «Оптика» и «Математические начала натуральной философии», определившие все дальнейшее развитие науки. Давая общую оценку роли Ньютона в науке, академик С. И. Вавилов писал: «На всей физике лежал отпечаток его мысли, без Ньютона наука развивалась бы иначе».

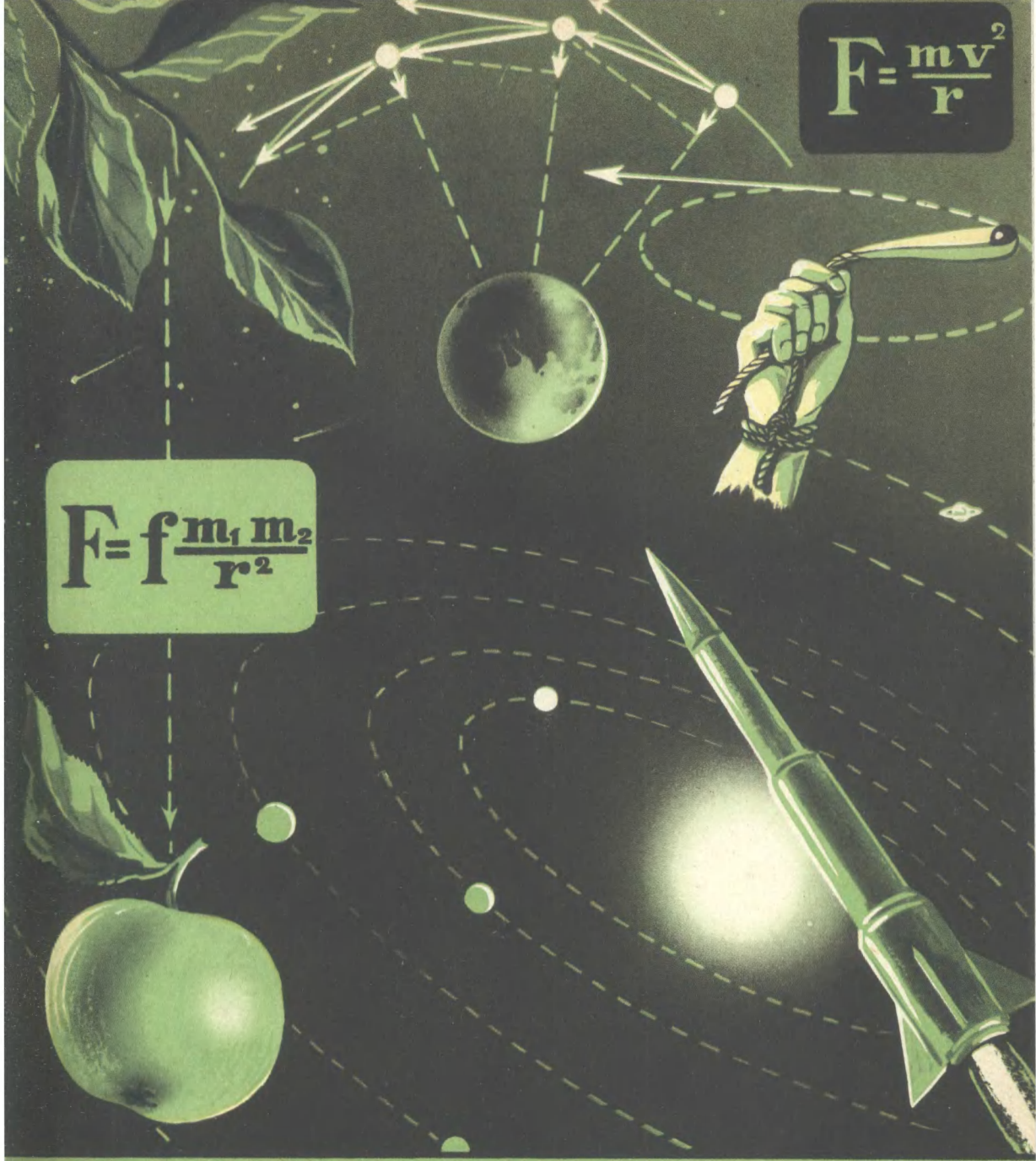
«Математические начала натуральной философии». Почему так назвал свою книгу Ньютон? Название «натуральная философия» в значении «физика» сохранилось в английском языке до сих пор (наряду с термином *physics*\*. Это название довольно точно передает содержание физики как науки, изучающей простейшие и наиболее общие свойства материи и формы ее движения.

Почему эти «Начала» математические?

Ньютон, великий физик, был в то же время не менее великим математиком, физику он хотел построить по образу и подобию геометрии:

---

\* Заметьте, что по-английски *physic* (без *s*) означает «медицина».



$$F = \frac{mv^2}{r}$$

$$F = f \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Таблица 5. Почему Луна не падает на Землю

Слева — яблоневая ветка, с которой падает на землю яблоко, — эпизод (достоверность которого нам неизвестна), приведший Ньютона к открытию закона всемирного тяготения. Справа — ракета, устремленная в космос, преодолевает земное притяжение. В центре — солнечная система. Все небесные тела движутся по закону, открытому Ньютоном. Формула этого закона написана слева. Справа, наверху, вы видите формулу для определения центростремительной силы, удерживающей планеты на их орбитах, подобно тому как ремень при вращении прачи вокруг руки удерживает камень.



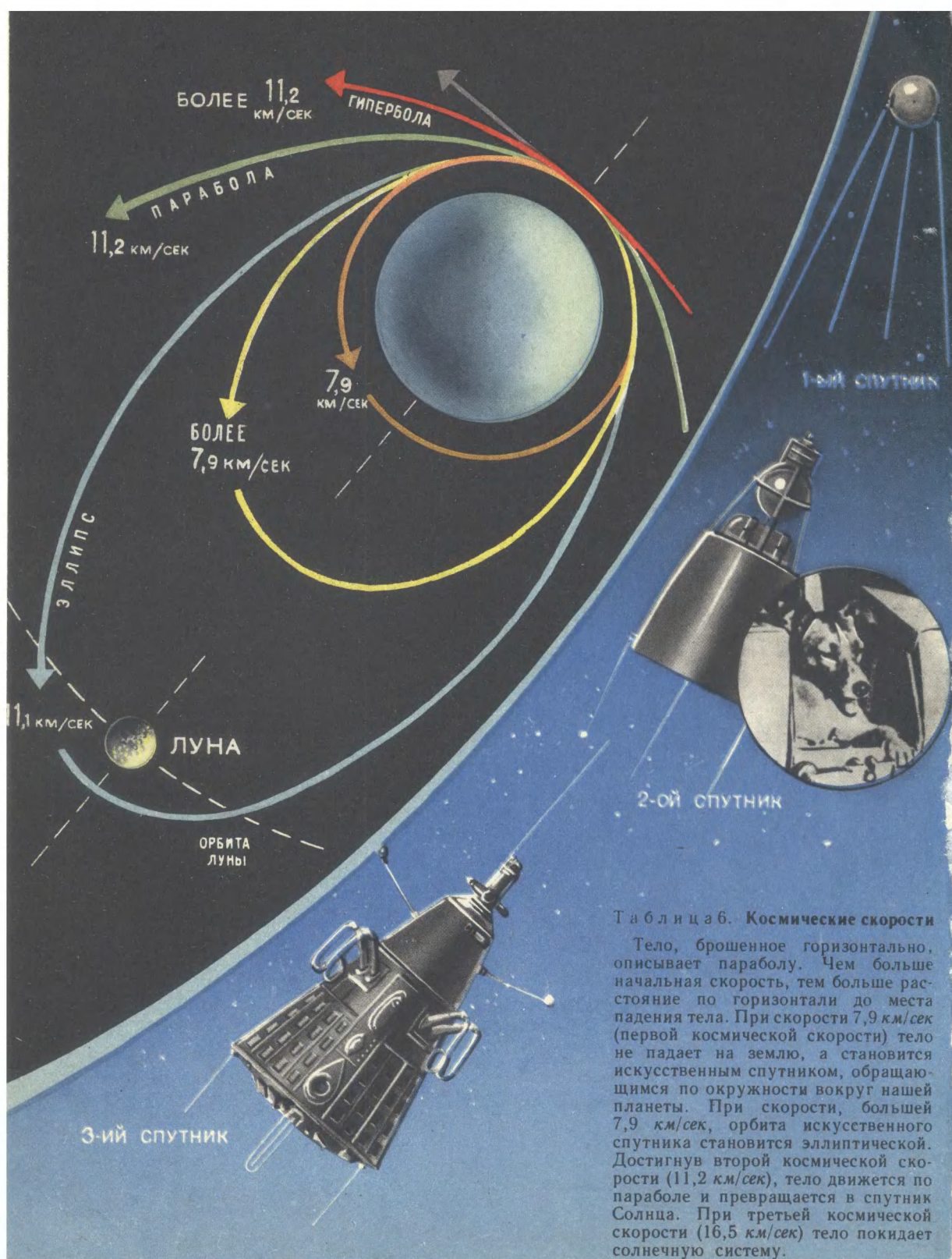


Таблица 6. Космические скорости

Тело, брошенное горизонтально, описывает параболу. Чем больше начальная скорость, тем больше расстояние по горизонтали до места падения тела. При скорости 7,9 км/сек (первой космической скорости) тело не падает на землю, а становится искусственным спутником, обращающимся по окружности вокруг нашей планеты. При скорости, большей 7,9 км/сек, орбита искусственного спутника становится эллиптической. Достигнув второй космической скорости (11,2 км/сек), тело движется по параболе и превращается в спутник Солнца. При третьей космической скорости (16,5 км/сек) тело покидает солнечную систему.

из нескольких не нуждающихся в доказательстве аксиом — принципов (основных положений), представляющих обобщение многовекового опыта человечества, математическим путем вывести теоремы и правила. Таков метод, положенный Ньютоном в основу его труда.

Замысел «Начал» — доказать, что закон всемирного тяготения неизбежно вытекает из применения принципов механики к движениям небесных тел.

Книга состояла из трех частей: книга первая, книга вторая и книга третья. В вводной части читатель найдет определения основных физических понятий: массы, количества движения, силы и др. Эти понятия сопровождаются соответствующими пояснениями или «поучениями». Затем идут знаменитые аксиомы, или законы движения. Каждый из трех законов, как и каждое определение, сопровождается пояснениями, затем написаны следствия из закона и общее «поучение».

В первой части, или первой книге, Ньютон описал движения тел под влиянием только действующих сил, во второй части — те же движения в сопротивляющейся среде. Первая и вторая книги представляют собой энциклопедию физических знаний того времени. Написав первые две части, Ньютон хотел на этом закончить первое издание книги. Но для большинства современников Ньютона в таком виде она осталась бы малопонятной, поэтому ученым была написана третья часть — «О системе мира».

Книгу читать нелегко. Сам Ньютон рекомендовал лицам, не имеющим глубоких математических знаний, ограничиться выборочным чтением. «Достаточно,— пишет он,— если кто тщательно прочтет определения, законы движения и первые три отдела 1-й книги и затем перейдет к 3-й книге о системе мира; из прочих же предложений предыдущих книг, если того пожелает, будет справляться в тех, на которые есть ссылки».

Повторим три основных закона Ньютона.

«Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние».

Это дословная формулировка закона, записанная в «Началах» самим Ньютоном. Но все ли понятно в такой формулировке? Что означают, например, слова «пока и поскольку»? Даже академик Крылов, переводя этот закон с латинского языка на русский, признавал, что ему трудно было подобрать русские слова для глубоко выразительной мысли Ньютона, записанной по-латыни. По Ньютону, этот закон объединяет два понятия: стойкость, или упорство, в сохранении телом данного состояния и продолжительность сохранения этого состояния. Разделив эти понятия, можно было бы сформулировать два закона:

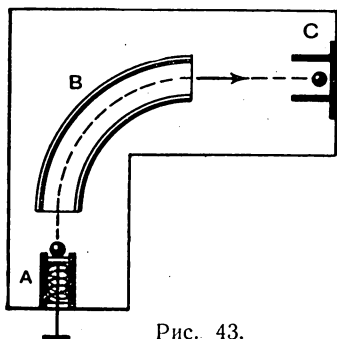


Рис. 43.

«Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока примененные силы не изменят этого состояния».

«Всякое тело удерживает свое состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения, поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние».

Сейчас мы избегаем приписывать телам какое-то упорство и формулируем первый закон Ньютона так, как он записан в учебнике: «Всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения, если действие со стороны других тел не изменяет этого состояния».

Можно самим сконструировать приборы, подобрать новые интересные примеры из техники о применении законов, составить новые задачи.

На рисунке 43 изображен прибор, иллюстрирующий первый закон Ньютона, согласно которому свободное движение тела может происходить только по прямой линии, в направлении вектора скорости. Прибор действует так: под действием упругой силы сжатой пружины шарик по инерции движется от трубки *A* до трубки *B*. Движение по инерции — это движение по прямой линии. Трубка *B* изогнута по дуге окружности. Поэтому шарик, пройдя трубку *B*, дальше движется по касательной к этой окружности, попадает в трубку *C* и через нее в лузу.

Теперь ответьте на такие вопросы: «Неужели тело движется равномерно и прямолинейно только в том случае, когда на него совсем не действуют силы?», «Почему практически равномерно и прямолинейно перемещает сеялку трактор?»

— Трактор передвигает сеялку равномерно и прямолинейно, если сила тяги будет равна силе преодолеваемого трения. Вообще, если на тело действуют уравновешенные силы, то тело будет оставаться в покое или двигаться равномерно и прямолинейно. В этом случае нет причины, которая изменяла бы движение, т. е. изменяла бы скорость по величине или направлению.

На этот случай можно придумать задачу: парашютист весом 700 *н* спускается затяжным прыжком с самолета. Чему была равна сила сопротивления воздуха в тот момент, когда парашютист достиг максимальной скорости? Если поставить условием использовать для решения задачи только первый закон Ньютона, то, несмотря на простоту условия, задачу можно признать хорошей.

Теперь вспомним второй закон Ньютона. «Ускорение, сообщаемое телу, прямо пропорционально действующей силе и обратно пропорцио-





нально массе», — говорится в учебнике. Ньютон несколько по-другому сформулировал этот закон: «Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует». Количеством движения называется произведение массы тела на скорость. Математически этот закон можно записать так:  $\Delta(mv) = F \cdot \Delta t$ .

Значок  $\Delta$  (дельта) обозначает изменение, приращение или убыль чего-нибудь. Так,  $\Delta(mv)$  есть изменение количества движения,  $F$  — постоянная сила,  $\Delta t$  — приращение, или промежуток времени, в течение которого происходит данное изменение количества движения.

А нельзя ли массу вынести за скобки и написать  $m(\Delta v)$ , ведь масса есть величина постоянная? В классической механике она считалась величиной постоянной, а вообще масса зависит от скорости. При скорости, близкой к скорости света, увеличение массы весьма значительно, введение в формулу такой записи  $m \cdot \Delta v$  ограничивало бы применение закона Ньютона. Произведение  $m \cdot v$  надо писать в скобках, тогда изменение количества движения  $mv$  получает совершенно самостоятельный смысл. В наше время этой величине дано название «импульс». Только не спутайте:  $F\Delta t$  тоже называют «импульсом», но «импульсом силы».

Теперь давайте посмотрим второй прибор. Этот прибор (рис. 44) можно назвать моделью устройства для сортировки деталей, имеющих разную массу. На принципе, подобном этому, устроена сортировка зерна (рис. 45). Разница только в том, что при сортировке зерна действует сила тяжести, а в этом приборе — упругая сила пружины.

Пусть в трубку поочередно попадают разные детали, например стальной, затем стеклянный шарики. При действии на них одинаковыми силами металлический шарик прогибает пружину сильнее и попадает во второе отделение, тогда как стеклянный шарик, имеющий меньшую массу, меньше прогибает пружину и попадает в первое отделение. Этот прибор поможет нам лучше понять некоторые разделы физики атома.

Кстати, в сортировке ускорения зерен обратно пропорциональны их массам, более тяжелые зерна описывают более крутые траектории. В предложенном приборе стальные шарики с большей силой действуют на пружину, больше ее отклоняют, поэтому описывают дуги меньшей кривизны и падают дальше.

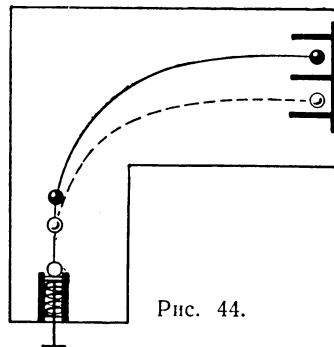


Рис. 44.

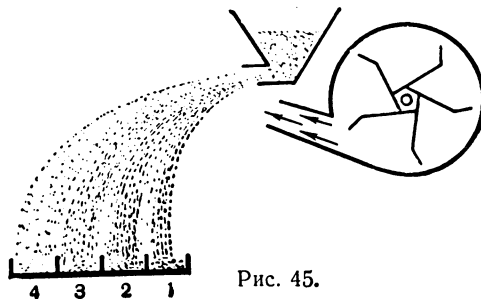


Рис. 45.

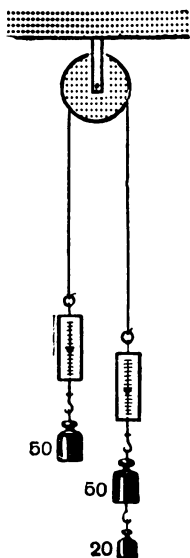


Рис. 46.

На следующем приборе (рис. 46) можно проверить и третий, и второй законы Ньютона.

Через блок перекинут шнур, к концам которого прикреплены динамометры. К динамометрам подвешены грузы по 50 Г. Грузы уравновешены и неподвижны; действие равно противодействию. Каждый из динамометров показывает величину действующей силы — 50 Г. Если на правый груз положить перегрузок в 20 Г и закрепить шнур у блока так, чтобы он не мог двигаться, то на правый шнур будет действовать сила 70 Г. Когда мы отпустим шнур, то правая часть системы будет опускаться, а левая — подниматься равномерно-ускоренно. Сила, движущая всю систему, равна весу перегрузка, т. е. 20 Г. Масса всей системы, приводимой в движение, 120 г. Если бы перегрузок падал свободно, увлекая только свою массу, то ускорение его движения было бы равно:  $g = 980 \frac{\text{см}}{\text{сек}^2}$ . В нашем опыте сила в 20 Г действует на всю систему, масса которой равна 120 г. Следовательно, ускорение перегрузка будет не  $g$ , а  $a = \frac{20}{120} g = \frac{g}{6} \frac{\text{см}}{\text{сек}^2}$ .

Посмотрим, не изменились ли показания динамометров во время движения системы? Оказывается, изменились. Поднимающийся груз стал как бы тяжелее, а опускающийся — легче, показания обоих динамометров стали одинаковыми — по 60 Г.

Натяжение правой части шнура должно быть равно натяжению левой части. Попробуем подсчитать его. Если массу, для простоты расчетов, будем выражать в граммах, то силу надо измерять в динах.

Для левой части результирующая сила направлена вверх и равна разности между силой натяжения шнура  $F$  и весом груза  $P$ :

$$F - 50 \text{ г.}$$

По второму закону Ньютона

$$F - 50 \text{ г} = 50 \cdot \frac{g}{6},$$

откуда

$$F = \frac{350 \text{ г}}{6} = 58,3 \text{ г дин} \approx 60 \text{ Г.}$$

Для правой части результирующая сила равна разности между весом груза и силой натяжения шнура:

$$70 \text{ г} - F.$$

По второму закону Ньютона

$$70 \text{ г} - F = \frac{70 \text{ г}}{6},$$

откуда

$$F = \frac{350 \text{ г}}{6} \text{ дин} \approx 60 \text{ Г.}$$

Вопрос о натяжении шнура или троса не простой. Поэтому в заключение мы решим с вами еще одну задачу. Запишите ее условие.

Определить силу натяжения каната в начале подъема кабины лифта при установившемся равномерном движении в конце подъема. Вес кабины с пассажирами 1500 кг. Ускорение кабины в начале подъема  $1,7 \text{ м/сек}^2$ , а в конце подъема  $-1,7 \text{ м/сек}^2$ .

Зачем здесь даны ускорения, почему лифт идет то ускоренно, то равномерно? При посадке пассажиров лифт был неподвижен, т. е. начальная скорость его была равна нулю. Чтобы достичь какой-то скорости  $v_1$ , необходимо некоторое время. Как бы мало оно ни было, движение за этот промежуток времени было ускоренным с ускорением  $a = \frac{v_1 - v_0}{t}$ . Вот об этом ускорении и сказано в условии задачи, что

оно равно  $1,7$ . Точно так же и остановка никогда не бывает мгновенной, какие бы тормоза ни замедляли движение. Но замедление — это движение с отрицательным ускорением, поэтому для третьего периода движения лифта ускорение равно  $-1,7 \text{ м/сек}^2$ .

На рисунке 47 изображен график скорости движения лифта. Сделаем чертеж к задаче. Во-первых, обозначим на чертеже действующие силы. Их две: сила притяжения к Земле  $P$  и сила натяжения каната  $Q$ . Равнодействующая их и будет силой, которая поднимает кабину с ускорением.

Равнодействующая определяется равенством:

$$R = Q - P.$$

По второму закону Ньютона

$$R = ma.$$

Если решать задачу в системе МКС, то масса кабины равна 1500 кг. Силы надо выразить в ньютонах:

$$1 \text{ кг} = 9,8 \text{ н} \approx 10 \text{ н}.$$

Итак,

$$Q - 1500 \cdot 10 = 1500 \cdot 1,7,$$

$$Q = 17\,550 \text{ н} = 1760 \text{ кг}.$$

Изменится ли, и если изменится, то как, натяжение каната, когда кабина достигнет максимальной скорости и будет подниматься равномерно?

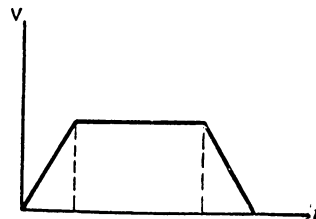


Рис. 47.

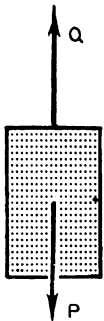


Рис. 48.

Когда нет ускорения, нет и движущей силы. Это по первому закону Ньютона. Силы  $P$  и  $Q$  уравниваются (рис. 48):

$$Q = P = 1500 \text{ кг}.$$

Такова сила натяжения каната на всем пути до начала торможения. При торможении ускорение отрицательно. Следовательно, теперь  $P > Q$ . Применяем второй закон Ньютона:

$$P - Q = ma,$$

$$Q = 1500 \cdot 10 - 1500 \cdot 1,7 = 12450 \text{ н} \approx 1240 \text{ кг}.$$

Почему мы подставили в формулу ускорение  $a = 1,7 \text{ м/сек}^2$ , а не  $-1,7 \text{ м/сек}^2$ , как сказано в условии задачи? Согласно второму закону Ньютона, направление ускорения одинаково с направлением силы. Знак минус в условии говорит только о том, что ускорение направлено против движения, т. е. против вектора скорости. Мы не строго придерживались правил векторного исчисления. Равнодействующая сил, приложенных к одной точке, равна геометрической сумме составляющих, и если придерживаться обычного правила знаков, то силу, направленную вверх, надо считать положительной ( $Q$ ), вниз — отрицательной ( $P$ ).

Задачу следовало бы решать так:

Равнодействующая все время:

$$R = P + Q.$$

По второму закону Ньютона

$$R = ma; \quad P = mg.$$

Следовательно,

$$P + Q = ma,$$

или

$$Q = ma - mg = m(a - g).$$

В начале подъема, при  $Q = +1,7 \text{ м/сек}^2$ :

$$Q \approx 1500 (1,7 + 9,8) \text{ н} \approx 17000 \text{ н}.$$

В середине пути, при равномерном движении, когда  $a = 0$ :

$$Q \approx 1500 (0 + 9,8) \text{ н} \approx 15000 \text{ н}.$$

В конце подъема, при торможении, когда  $a = -1,7 \text{ м/сек}^2$ ,

$$Q \approx 1500 (-1,7 + 9,8) \text{ н} \approx 12000 \text{ н}.$$

Постарайтесь запомнить, что при решении задач надо, выбрав какое-нибудь направление за положительное, считать его положительным для всех векторных величин, входящих в данную задачу. В данном случае

движение происходит по вертикали вверх, поэтому удобно (хотя и не обязательно) принять за положительное направление для всех векторных величин (силы, ускорения) направление вверх.

Обратите внимание на следующую неточность языка. Мы хотели найти силу натяжения каната, т. е. силу, которая натягивает канат и может при недостаточной прочности каната разорвать его. Ведь в этом весь практический смысл нашего расчета на прочность. Мы же нашли силу, с которой канат тянет кабину. Иначе мы и не могли поступить, мы обязаны были применять законы динамики к одному какому-нибудь телу, в данном случае к кабине, а не вмешивать еще силы, действующие на второе тело (канат). Теперь же, когда найдена сила, с которой канат действует на кабину, мы можем, сославшись на третий закон Ньютона, узнать, с какой силой кабина натягивает канат, что и спрашивалось в задаче.



## ЧЕЛОВЕК НЕ ВСЕГДА ОСТАНЕТСЯ НА ЗЕМЛЕ

Открылась бездна, звезд полна,  
Звездам числа нет, бездне — дна.

.....  
Так я, в сей бездне углублен,  
Теряюсь, мыслью утомлен...

(М. В. Ломоносов.)

Быстро пролетел короткий зимний день. Стемнело. Одевшись потеплее и выйдя на свежий воздух, можно любоваться зимними звездами. Какая красота! Все небо усыпано звездами! Они горят и искрятся, как самоцветные камни. Взгляните на юг: перед вами

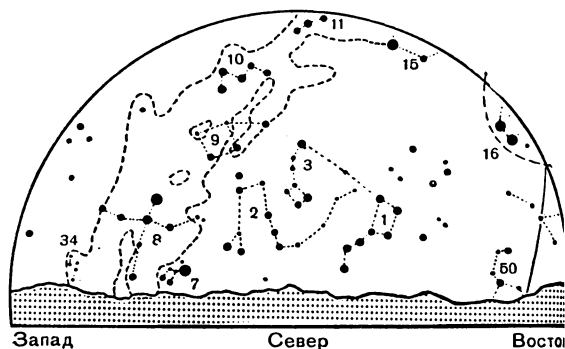
Сириус — дерзкий сапфир, синим горящий огнем,  
Альдебарана рубин, алмазная цепь Ориона  
И уходящий на юг призрак серебристой — Арго!

(И. А. Бунин, На ушербе.)

Как интересно находить яркие звезды и распознавать созвездия (рис. 49, 50). Вот известная группа из семи звезд — Большая Медведица, по ней легко разыскать, и Малую Медведицу с Полярной звездой. Когда смотришь на Полярную звезду, то лицо твое обращено к северу.

Рис. 49. Вид звездного неба 15 января 1960 г. (20 час. по московскому времени).

1 — Большая Медведица, 2 — Дракон, 3 — Малая Медведица, 7 — Лири, 8 — Лебедь, 9 — Цепей, 10 — Кассиопея, 11 — Персей, 15 — Возничий, 16 — Близнецы, 34 — Дельфин, 50 — Лев.



Недавно я нашел свою записную книжку 1907 года. Еще учеником VII класса Владимирской гимназии я наблюдал Луну в самодельный телескоп из очковых стекол и сделал набросок Луны (рис. 51). Вспоминаю долгие вечера, проведенные у телескопа. Интересно было наблюдать за растущей Луной, видеть все новые и новые ландшафты. По карте Луны я узнавал их названия. Вот «Море Ясности» и часть «Моря Дождей», разделенные горными цепями «Альп» и «Апеннин».

Красивейший пейзаж на Луне — это уже рисунок с фотографии, полученной через 40-дюймовый телескоп Иеркской обсерватории (рис. 52). На ней видны характерные для лунного пейзажа кольцевые горы: кратеры и цирки, «Архимед» с гладким дном, «Эратосфен» с горой в центре. Диаметр цирка «Архимеда» равен 80 километрам, а высота отдельных горных вершин «Апеннин» достигает 6 километров.

Обратите внимание на резкие черные тени, отбрасываемые горами, и скажите, с какой стороны находится Солнце. Резкие черные тени доказывают, что на Луне нет плотной атмосферы. На фотографии в верхнем

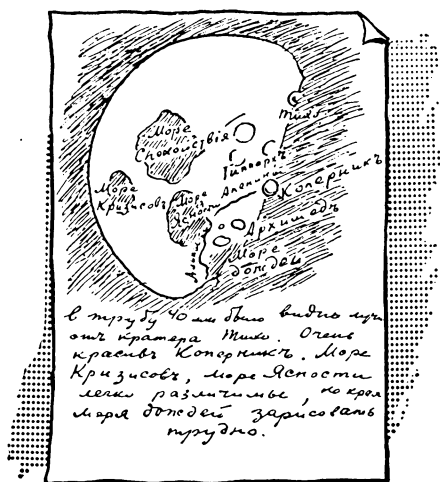


Рис. 51.

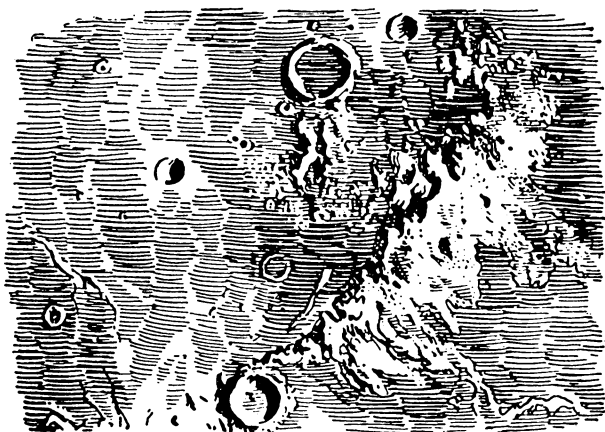


Рис. 52.

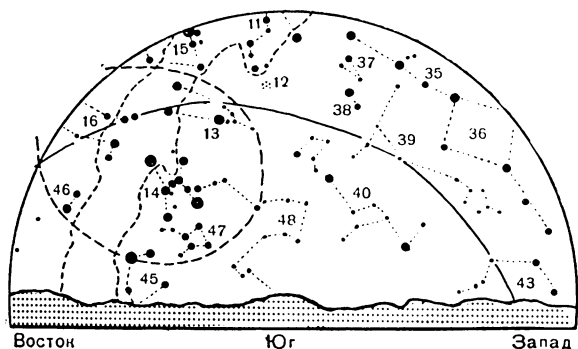


Рис. 50. Вид звездного неба 15 января 1960 г. (20 час. по московскому времени).

11 — Персей, 12 — Плеяды, 13 — Телец, 14 — Орion, 15 — Возничий, 16 — Близнецы, 35 — Андромеда, 36 — Пегас, 37 — Треугольник, 38 — Овен, 39 — Рыбы, 40 — Кит, 43 — Водолей, 45 — Большой Пес, 46 — Малый Пес, 47 — Заяц, 48 — Единорог.

правом углу можно увидеть намечающиеся отроги самой красивой горы — «Коперник». Солнце только восходило над этим величественным цирком в день его фотографирования. На следующий день он был залит лучами Солнца.

Нельзя забыть серпик Венеры (рис. 53), похожий на маленькую Луну, который я отчетливо видел в телескоп, и ясно различимый диск Юпитера с его ближайшими спутниками (рис. 54), открытыми еще Галилеем. А двойные звезды!.. Разыгравшееся воображение рисовало фантастические световые эффекты в мирах, освещенных двойными солнцами. Едва видимые невооруженным глазом туманные пятнышки рассыпались в поле зрения телескопа золотым песком звездных скоплений.

Любовь к астрономии пронес я через всю свою жизнь. Вы, мои молодые друзья, живете в более счастливое время. Путешествие в космос теперь уже не мечта, а действительность. Осуществилась мечта нашего замечательного ученого Константина Эдуардовича Циолковского: «Человечество не останется вечно на Земле, но в погоне за светом и пространством сначала робко проникнет за пределы атмосферы, а затем завоюет себе все околосолнечное пространство». Вспомним некоторые данные, показывающие этапы освоения космоса советскими людьми.

4 октября 1957 года первый советский искусственный спутник (рис. 55), шар весом 83,6 килограмма, достигший высоты 947 километров, вызвал восторженное удивление всего мира. 92 дня летал он вокруг нашей планеты, появляясь в той или другой точке неба, всегда точно в предсказанный срок.

3 ноября 1957 года. Второй искусственный спутник (рис. 56) весом 308,3 килограмма с подопытным животным — собакой Лайкой — в герметически закрытой кабине летал 5 месяцев 11 дней. Высота этого спутника в апогее составляла 1671 километр от Земли, в перигее — 225 километров.



Рис. 53.

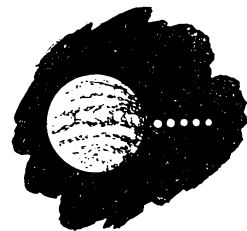


Рис. 54.

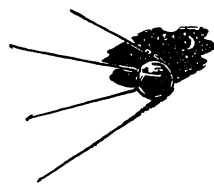


Рис. 55.

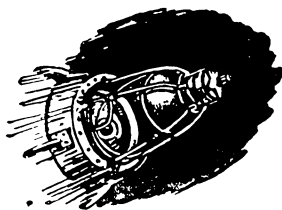


Рис. 56.

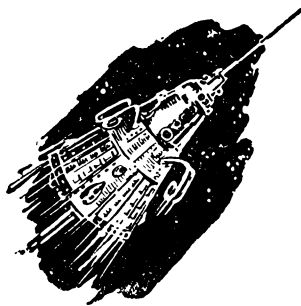


Рис. 57.

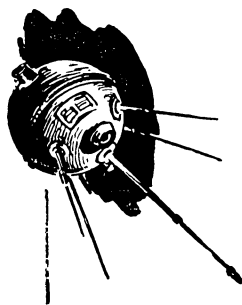


Рис. 58.



Рис. 58.

15 мая 1958 года. Был дан старт третьему искусственному спутнику Земли (рис. 57). Вес спутника — 1327 килограммов, апогей — 1880 километров, перигей — 226 километров. Просуществовал третий спутник более 22 месяцев.

2 января 1959 года. Этот день ознаменовался запуском первой в истории человечества космической ракеты, которая вывела на орбиту вокруг Солнца первую искусственную планету (рис. 58). Эта планета стала вечным спутником Солнца с периодом обращения 15 месяцев.

14 сентября 1959 года вторая космическая ракета после двухсуточного полета достигла поверхности Луны и доставила туда вымпел с гербом Советского Союза (рис. 59). Так была доказана возможность прилуниться в заранее намеченной области.

4 октября 1959 года стартовала третья космическая ракета с автоматической межпланетной станцией на борту. Орбита этой ракеты огибала Луну. С борта ракеты была сфотографирована поверхность Луны, невидимая с Земли. В течение 40 минут с расстояния 60—70 тыс. километров производились снимки лунной поверхности. Пленка была автоматически обработана (проявлена, закреплена и высушена) и сохранилась в кассете. По команде с Земли негативное изображение телевизионным способом было передано на Землю с расстояния 470 000 километров. Советские ученые дали название открытым объектам: «Море Москвы», «Кратер Ломоносова», «Кратер Циолковского», «Море Мечты» и др. (рис. 60).

15 мая 1960 года осуществлен запуск огромного космического корабля-спутника весом 4540 килограммов. На борту корабля была установлена кабина с оборудованием для будущего полета человека. Запуск имел целью проверить работу систем, обеспечивающих безопасный полет человека на корабле-спутнике и надежность управления им. Спустя три месяца запустили второй космический корабль-спутник весом 4600 килограммов. На борту этого корабля находились две собаки, мыши, растения, грибовые культуры и другие объекты. После того как корабль сделал 17 оборотов вокруг Земли, т. е. через сутки, была подана команда для спуска и первые путешественники — собаки Белка и Стрелка (рис. 61) благополучно приземлились в точно указанном месте.

1960—1961 годы. Еще корабль-спутник, третий, четвертый, пятый. Вес 4563, 4695, 4700 кг! В космос отправлены живые существа: собаки, мухи, мыши, различные растения, в том числе зеленая водоросль — хлорелла. Последняя будет,



вероятно, снабжать кислородом и пищей путешественников на далекие планеты. В пути и по возвращении все подопытные живые объекты находились под наблюдением. После тщательного изучения результатов наблюдения выясняются особенности жизни в условиях космического полета.

Источником энергии, необходимой для работы различной аппаратуры космического корабля, являются солнечные батареи. Обращенные к Солнцу, они преобразуют энергию солнечных лучей в электрическую.

Пока инженеры, техники, медики, биологи исследовали условия космического полета, на Земле шла подготовка человека к полету. Надо было проверить влияние на человеческий организм перегрузок при взлете, вибраций (колебаний), оглушающего грохота при работе двигателей и почти абсолютной тишины после выхода корабля на орбиту, состояние невесомости.

Мир напряженно ждал наступления этого дня. И вот свершилось!

12 апреля 1961 года. В 9 часов 07 минут по московскому времени космический корабль-спутник «Восток» (рис. 62) с человеком на борту поднялся в космос и, совершив полет вокруг земного шара, вернулся на Землю. Пионером освоения космоса был Юрий Алексеевич Гагарин.

Успехи нашей страны в освоении космического пространства огромны. Они стали возможны благодаря очень высокому развитию техники, науки, в частности физики.

6 августа 1961 года. В 9 часов по московскому времени мощной советской ракетой на орбиту Земли был выведен новый космический корабль-спутник «Восток-2», пилотируемый легчиком-космонавтом Германом Степановичем Титовым.

Советский космический корабль-спутник «Восток-2» более 17 раз облетел вокруг земного шара, преодолев расстояние свыше 700 тыс.



Рис. 60.



Рис. 61.

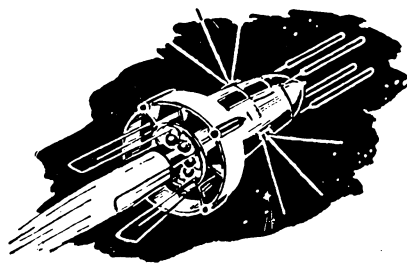


Рис. 62.

километров, т. е. равное почти удвоенному расстоянию от Земли до Луны.

Выполнив намеченную программу, летчик-космонавт успешно приземлился на территории нашей Родины. В этом подвиге отразились новые огромные достижения нашей науки и техники.

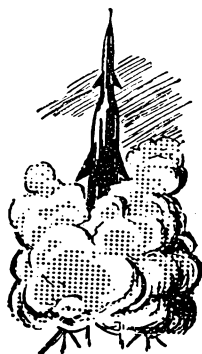
Все народы земного шара с огромным воодушевлением и восторгом отметили первый полет человека в космическое пространство. Замечательный полет космонавта-2 показал, что недалеко то время, когда космические корабли, управляемые человеком, проложат межпланетные трассы к Луне, Марсу, Венере, когда человек покорит космическое пространство.

Прошел год. И новый триумф советской науки и техники, новый подвиг летчиков-героев — беспрецедентный групповой полет на кораблях «Восток-3» и «Восток-4»! 71 час «небесные братья» Андриян Григорьевич Николаев и Павел Романович Попович совершали групповой полет. Полет доказал возможность длительного пребывания человека в космосе.

А в июне 1963 года весь мир восхищался новым подвигом советских людей — групповым полетом первой в мире женщины-космонавта Валентины Владимировны Терешковой и Валерия Федоровича Быковского.

Но вернемся к физике. В настоящей статье я коснусь лишь элементарных сведений о физике космических полетов. Даже если некоторые расчеты покажутся вам трудными, я рекомендую терпеливо разобраться в них, так как они помогут вам лучше понять физику, а ведь это главная цель данной книги.

Из школьного курса вы знаете, какова траектория тела, брошенного горизонтально над поверхностью земли. Движение такого тела, например камня, складывается из движения в горизонтальном направлении с начальной скоростью и движения вертикально вниз по законам свободного падения. Камень приближается к земле, и проходимые им в этом направлении пути через 1, 2, 3 и т. д. секунд относятся как квадраты этих чисел  $1 : 4 : 9$  и т. д. В результате сложения этих двух движений получается траектория, называемая параболой. Можно подумать, что продолжительность полета зависит от скорости, с которой брошен камень. Однако камень, брошенный горизонтально, пролетит столько же времени, сколько ему надо, чтобы упасть на землю. Один взгляд на рисунок 63 покажет вам, что камень, брошенный с вдвое большей скоростью, пролетит вдвое большее расстояние, а время полета в обоих случаях окажется одинаковым. При небольшой скорости движения тела поверхность Земли можно принимать за горизонтальную. Для шарообразной Земли продолжительность полета, конечно, зависит от скорости, и при некоторой — очень большой — скорости



брошенное горизонтально тело может вообще не упасть на Землю, а станет описывать круговые траектории, оставаясь на одной и той же высоте над поверхностью Земли. Это случится, когда ускорение, сообщаемое телу силой тяжести, будет равно центростремительному ускорению, необходимому для удержания тела при данной его скорости на круговой орбите:  $g = a_{\text{ц}} = \frac{v^2}{R}$ , где  $R$  — радиус орбиты. Из приведенного равенства для данного случая можно найти величину необходимой скорости:

$$v^2 = gR; \quad v = \sqrt{gR}.$$

Принимая  $R$  равным радиусу Земли (6300 км), получим:

$$v = \sqrt{9,8 \cdot 6300000} = 7930 \text{ м/сек} \approx 7,9 \text{ км/сек}.$$

Осуществить такой полет было давнишней мечтой человека. Посмотрите на старинный рисунок 64. На нем изображены два человека — военный и монах — около пушки, направленной к зениту. Они смотрят вверх, как будто следят за полетом только что выпущенного ядра. На гравюре имеется надпись, которая в переводе на русский язык означает: «Упадет ли обратно?» Монах — это ученый Марсенн, а военный — офицер Пти. Они повторили этот опасный опыт несколько раз — ядро не возвращалось. Очевидно, пушка была направлена не строго вертикально, и ядро, описав крутую параболу, падало за сотни метров в стороне. Однако Марсенн и Пти решили, что ядро осталось в воздухе.

Известный математик XVII века Вариньон, поместивший этот рисунок на заглавном листе своего сочинения «Предположения о причинах тяжести», не оспаривает этого факта, но удивляется: «Ядро, висящее над нашими головами! Это поистине удивительно!»

В учебниках элементарной физики траектория снаряда, выпущенного из огнестрельного орудия горизонтально или под углом к горизонту, рассматривается относительно Земли в предположении, что Земля плоская и что ускорение  $g$  постоянно. Но для космических ракет оба эти предположения неприемлемы, и приходится учитывать, что Земля — шар, а ускорение изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния.

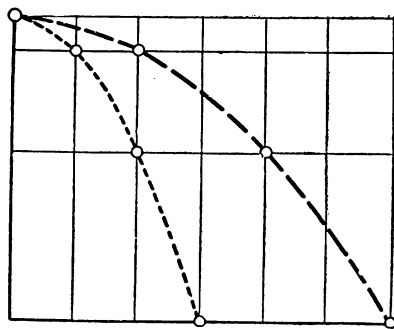


Рис. 63.

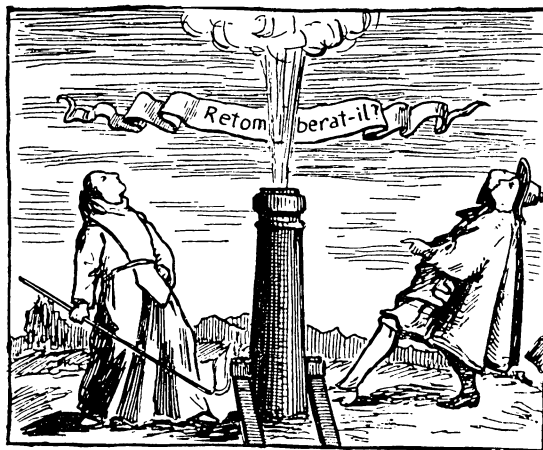


Рис. 64.



Рис. 65.

Ракета запускается обычно вертикально, затем на соответствующей высоте по заданной программе поворачивается на некоторый угол к вертикали и по прекращении работы двигателя движется свободно по эллиптической траектории, в дальнем фокусе которой находится центр Земли (рис. 65). Таково простейшее изложение, без учета существенных факторов, влияющих на полет ракеты, особенности полета баллистических космических ракет.

При достаточно большой начальной скорости, например 7,93 километра в секунду и больше, ракета не возвращается на Землю, а становится спутником нашей планеты (рис. 66). Вращаясь по эллиптической орбите, спутник находится в поле земного тяготения. Чем больше была начальная скорость ракеты, тем дальше ракета удалится от Земли и эллипс приблизится по форме к параболе.

Познакомимся с элементарным выводом формулы скорости, необходимой для того, чтобы ракета перешла на бесконечную параболическую траекторию и, следовательно, улетела из поля земного тяготения в мировое пространство.

Тело, поднятое над землей, обладает потенциальной энергией, величина которой определяется работой, совершенной при поднятии тела. Поднимая тело на небольшую высоту, можно не принимать в расчет уменьшение веса, а работу подсчитать так: умножить вес тела на высоту падения. На расстоянии в несколько тысяч километров от Земли сила притяжения тел к Земле заметно уменьшается. Возьмем для примера два тела, массы которых  $M$  и  $m$ , и подсчитаем работу, необходимую для перенесения тела массой  $m$  из точки  $a$  в точку  $b$  (рис. 67).

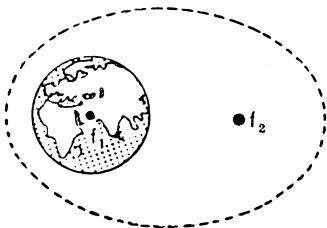
По закону всемирного тяготения

$$F = f \frac{Mm}{r^2},$$

где  $f$  — гравитационная постоянная.

Разделим расстояние  $ab$  на несколько участков и подсчитаем работу, произведенную на каждом участке отдельно, так как сила притяжения будет все время уменьшаться. В точке  $a$  эта сила равна:  $F_a = f \frac{Mm}{r_a^2}$ ,

а в точке  $b$  она равна:  $F_b = f \frac{Mm}{r_b^2}$ .



Для вычисления работы определим среднее значение силы. Но какое среднее значение определить: среднее арифметическое, равное полусумме крайних значений, или среднее геометрическое, равное корню квадратному из произведения этих значений? Точно

Рис. 66.

подсчитать работу переменной силы можно только средствами высшей математики, которая подтвердила, что правильным является выбор среднего геометрического, а не среднего арифметического.

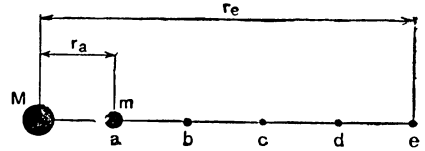


Рис. 67.

Итак, средняя сила на участке  $ab$ :

$$F_{ab} = \sqrt{\frac{fMm}{r_a^2} \cdot \frac{fMm}{r_b^2}} = f \frac{Mm}{r_a \cdot r_b},$$

а работа на этом участке:

$$A_{ab} = f \frac{Mm}{r_a \cdot r_b} (r_b - r_a) = fMm \left( \frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right).$$

Таким же образом для участка  $bc$  найдем:

$$A_{bc} = fMm \left( \frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_c} \right)$$

и т. д. Сложив полученные значения работы на отдельных участках, получим общую работу:

$$A_{ac} = fMm \left( \frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_c} \right),$$

так как все промежуточные члены в скобках взаимно уничтожаются.

Как велика работа для перенесения массы  $m$  из точки  $a$  в бесконечность? Ученик, который сказал бы, что для удаления тела в бесконечность совершается бесконечно большая работа, получил бы заслуженную «двойку». В самом деле, при  $r_e = \infty$   $\frac{1}{r_e} = 0$ , поэтому работа для удаления массы из данной точки в бесконечность имеет вполне конечную величину:

$$A_{\infty} = fMm \frac{1}{r_a}.$$

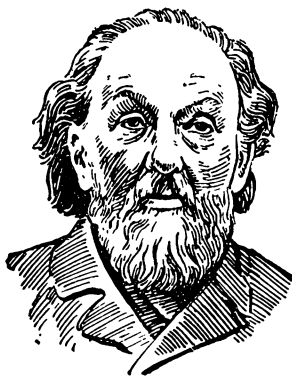
Начальная скорость, приводящая тело к выходу из поля тяготения, получила название скорости убегания или ускользания. Она может быть вычислена на основе закона сохранения энергии. Работа для удаления тела в бесконечность, очевидно, совершается за счет сообщенной при запуске массе  $m$  кинетической энергии  $\frac{mv^2}{2}$ :

$$f \frac{Mm}{r_a} = \frac{1}{2} mv^2.$$

Откуда скорость убегания:

$$v^2 = \frac{2fM}{r_a}.$$

Можно показать, что  $\frac{fM}{r_a} = gr_a$ , где  $r_a$  есть радиус Земли. Действительно, на поверхности Земли сила притяжения тела к центру Земли



К. Э. Циолковский  
(1857—1935).

равна весу тела:  $P=mg$  и

$$\frac{fMm}{r_a^2} = mg. \quad \text{Отсюда} \quad \frac{fM}{r_a} = gr_a.$$

Подставляя это в предыдущую формулу, получим для скорости убегания:

$$v^2 = 2gr, \quad \text{или} \quad v = \sqrt{2gr}.$$

Сравнивая скорость убегания с первой космической скоростью  $v = \sqrt{gr}$ , мы видим, что скорость убегания больше космической скорости в  $\sqrt{2} = 1,4$  раза. Следовательно, численное значение скорости убегания будет:

$$v_y = 8 \cdot 1,4 = 11,2 \text{ км/сек.}$$

Именно с такой или несколько большей скоростью были отправлены космические ракеты, которые вырвались из плена тяготения Земли и превратились в спутники Солнца. Конечно,  $v_y$  — это скорость при запуске. Выйдя на орбиту вокруг Солнца, ракета движется со скоростью Земли. Она имела эту скорость еще будучи на Земле.

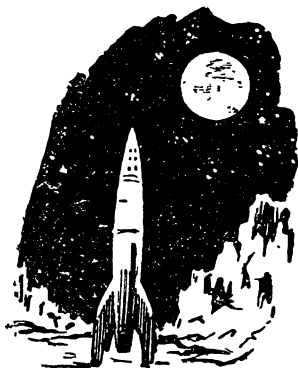
Все вышеприведенные рассуждения относились к телу, масса которого остается неизменной. В действительности же масса ракеты, по мере того как сгорает топливо, уменьшается. Динамика переменной массы создана в конце XIX столетия русским профессором И. В. Мещерским и К. Э. Циолковским. Приведем без доказательства формулу Циолковского для определения максимальной скорости, которую получит ракета по израсходовании топлива:

$$v_{\max} = 2,3 v_1 \lg \frac{M_0}{M_1},$$

где  $v_1$  — скорость истечения газов,  $M_0$  — масса ракеты в момент старта с полным запасом топлива,  $M_1$  — масса ракеты после израсходования топлива. Отношение  $\frac{M_0}{M_1}$  получило название числа Циолковского. Для читателей, знакомых с логарифмами, интересно будет подсчитать это отношение при скорости истечения газов 2,5 километра в секунду:

$$11,2 = 2,3 \cdot 2,5 \lg \frac{M_0}{M_1}.$$

$\frac{M_0}{M_1}$ , т. е. вес ракеты с топливом, должен в 88 раз превосходить вес самой ракеты! Ясно, что по конструктив-







**Таблица 7. Первые советские космонавты**

Незабываемые дни в истории человечества: 12 апреля 1961 г. — день полета первого космонавта Ю. А. Гагарина на корабле-спутнике «Восток»; 6 августа 1961 г. — день полета корабля-спутника «Восток-2», на котором второй советский космонавт Г. С. Титов сделал 17 витков вокруг Земли.





Таблица 8. Строительные работы прежде и теперь

Рычагом и наклонной плоскостью пользовались еще в древнем Египте при постройке пирамид. Но присмотритесь к механизмам, работающим сейчас на строительной площадке, — подъемным кранам, лебедкам, блокам, во всех этих сложных механизмах имеются рычаги.



ным соображениям построить такую ракету невозможно. Если увеличить вдвое скорость истечения газов, то отношение  $\frac{M_0}{M_1}$  уменьшится до 10. Такую ракету построить можно.

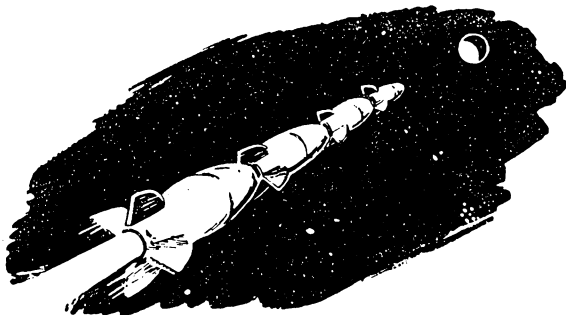
Но есть и другой путь увеличения скорости ракеты, указанный тоже Циолковским, — это устройство многоступенчатых ракет. По мере отработки ступени она отделяется от ракеты. Тогда вступает в действие следующая ступень. Современная космонавтика использует именно составные ракеты.

Полет на Луну и на другие планеты солнечной системы — дело ближайших лет. В более далеком будущем, вероятно, окажется возможным направить ракету и к другим звездным мирам. Для этого потребуется начальная скорость более 34 километров в секунду. Но можно ли осуществить такой полет? Даже ближайšie звезды отстоят от нас так далеко, что свет, проходя за одну секунду 300 000 километров, идет от них до Земли десятки и сотни лет. Полет на современной ракете занял бы в этом случае столько времени, что одной человеческой жизни на этот полет было бы мало. Однако научная мечта рисует нашему воображению ракеты, летящие в пространстве со скоростью, близкой к скорости света (фотонные ракеты), а по теории относительности, о которой мы еще будем говорить с вами, время для движущихся наблюдателей течет медленнее.

Мы не рассмотрели всех вопросов физики космических полетов.

Целью настоящей статьи было показать, как физика и ее законы позволяют нам превратить в действительность мечты и грезы, навеянные чарующими красотами звездных ночей.

Любознательным рекомендуем прочитать книги: К. Э. Циолковский, Грезы о Земле и небе; Б. А. Воронцов-Вельяминов, Очерки о Вселенной; А. А. Штернфельд, Искусственные спутники; А. А. Космодемьянский, К. Э. Циолковский — его жизнь и работы по ракетной технике; В. И. Левантовский, Ракетой к Луне; Ю. А. Гагарин, Дорога в космос; Г. С. Титов, Семнадцать космических зорь.





## ДИВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПАРЫ СИЛ

В учебниках физики описан такой способ определения центра тяжести: пластинку произвольной формы подвешивают на нитке за какую-нибудь ее точку (рис. 68). Когда установится равновесие на пластинке, через эту точку подвеса проводят вертикаль. Центр тяжести находится, конечно, на этой отвесной линии. Потом пластинку подвешивают за другую точку. Снова проводят вертикальную линию, проходящую через эту точку. На пересечении двух линий и находится центр тяжести. Я проводил опыты иначе. Пластинку я положил на поверхность стола и тянул за нитку так, чтобы пластинка скользила по горизонтальной плоскости.

Но лучше я покажу вам это на опыте (рис. 69). Смотрите, пластинка поворачивается, и вот направление натянутой нити проходит через центр тяжести, помеченный мной заранее на основании обычного опыта с отвесом.

Прикрепим теперь нитку в другой точке и повторим опыт. Направление натянутой нити даст нам новую прямую, и в точке пересечения этих прямых находится центр тяжести пластинки.

Между этими способами имеется большое сходство. Но как объяснить такой поворот пластинки в моем опыте? Мне кажется, здесь скрывается что-то интересное. Постараюсь объяснить этот вопрос так, чтобы вам все было понятно. Я расскажу вам про удивительные свойства пары сил. Знание этих свойств имеет огромное значение для техники. Всюду: в машинах, станках, на заводе, на транспорте вы видите, как вращаются валы, оси, шкивы. А чем вызывается вращение? Парой сил! Даже когда вам кажется, что вращение происходит под действием только одной силы, например, когда вы открываете или закрываете дверь за ручку, то в действительности и тут имеется пара сил — вторая сила возникает на петлях двери.

Парой сил, или просто парой, в механике называют две равные, параллельные, но направленные в противоположные стороны силы (рис. 70). Равнодействующей пара сил не имеет. Под действием пары сил тело вращается. И уравновесить пару одной силой нельзя. Для этого потребуется другая пара сил, которая бы вращала тело в обратную сторону. Конечно, величина вращательного действия этой второй пары

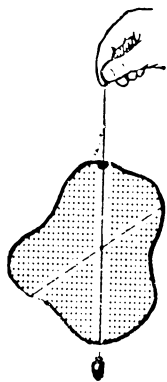


Рис. 68.

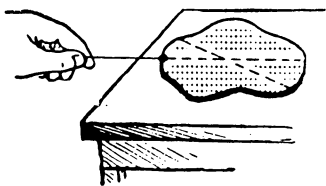


Рис. 69.

должна быть равна первой. А от чего зависит величина вращательного действия пары сил? Конечно, от величины сил, составляющих пару сил.

Но не только от этого. Вращательное действие пары зависит и от расстояния между силами, составляющими пару. Чтобы увеличить действие пары сил, буравы, винтовые прессы и т. п. снабжают рукоятками (рис. 71), и, чем длиннее рукоятка, тем больше будет расстояние между прилагаемыми силами, тем сильнее будет вращательное действие пары. Расстояние между параллельными силами пары (по перпендикулярному к ним направлению, конечно) называют плечом пары сил.

Вращательное действие пары измеряют произведением силы на плечо и выражают его в  $\text{н} \cdot \text{м}$ ,  $\text{кг} \cdot \text{м}$ ,  $\text{кг} \cdot \text{см}$ , в зависимости от выбранных единиц силы и длины. Такое произведение называют «моментом пары».

Термин «момент» в механике и слово «момент» в разговорной речи имеют совсем разные значения. «Момент» в разговорной речи означает «очень короткий промежуток времени». Например, говорят: «В один момент!», «Моментально». В механике же термин «момент» взят как сокращенное латинское выражение *movimentum*. В переводе на русский язык оно означает «вращательное действие». Запомните это. Когда будете учиться в техникуме или в институте и изучать технические предметы, вам придется много раз встречаться с этим термином. Если вы будете помнить, что «момент» связан с вращательным действием, то вам будет легче понимать, почему при расчетах балок, осей так важно находить «изгибающие моменты», при расчете валов — «крутящие моменты» и т. д. Однако мы уклонились от темы нашей беседы, вернемся опять к парам сил.

В школе вы изучали моменты сил и даже решали задачи на равновесие рычагов при помощи правила моментов. Это такие же моменты? Ведь вы тогда о парах сил еще ничего не знали.

Да, это такие же моменты. Я уже говорил, что и при действии одной силы, если она не проходит через ось вращения тела, мы имеем в сущности пару сил. Вторая сила возникает в качестве противодействия оси телу, деформирующему ось. Ведь если бы не было оси, то тело стало бы удаляться под действием приложенной силы. Ось же удерживает его.

Определение, данное в учебнике, что плечом силы называется перпендикуляр, опущенный из оси вращения на линию действия силы, полностью совпадает с определением плеча пары сил, как кратчайшего расстояния между параллельными силами, составляющими пару.

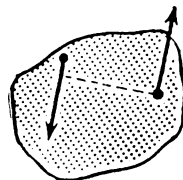


Рис. 70.

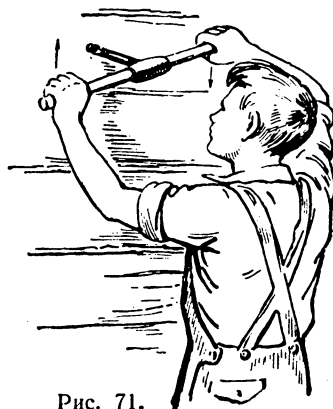


Рис. 71.

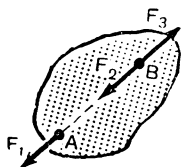


Рис. 72.

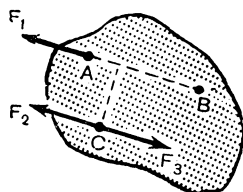


Рис. 73.

Теперь я предложу вам новый вопрос: что вы знаете о переносе точки приложения силы?

Точку приложения силы можно перенести по линии действия силы. Мы хотим перенести точку приложения силы  $F_1$  из точки  $A$  в точку  $B$  (рис. 72). Приложим в точке  $B$  две противоположные силы  $F_2$  и  $F_3$ , равные силе  $F_1$ . Это не окажет никакого влияния на тело, ведь силы уравновешены. Но можно считать, что уравновешены и силы  $F_1$  и  $F_3$ . Значит, их можно отбросить, и тогда останется одна только сила  $F_2$ , равная  $F_1$ , но приложенная в точке  $B$ .

А теперь я покажу вам, что случится, если мы перенесем силу  $F_1$  не в точку  $B$  на линии действия силы, а в какую-нибудь точку  $C$  вне этой линии (рис. 73). Будем рассуждать так. Приложим в точке  $C$  две противоположные силы, равные и параллельные силе  $F_1$ . Можно ли теперь отбросить силы  $F_1$  и  $F_3$ , как это только что делали? Конечно нет! Это не уравновешенные силы, это пара сил, и она должна вызывать вращение тела.

Тут вас ждет еще несколько неожиданностей. Вот мы узнали, что если силу перенести не по линии ее действия, то это не проходит безнаказанно: появляется еще так называемая «присоединенная пара». Действие этой пары тем больше, чем дальше в сторону от линии  $AB$  мы выберем точку  $C$ , потому что силы-то те же, но плечо, а значит, и момент больше. В случае если точку приложения выбрать на линии действия сил, плечо обращается в нуль и никакой пары не присоединяется. Вот почему и говорят, что точку приложения силы можно переносить только по линии действия силы.

Таким же способом я могу вам доказать, что в отличие от одной силы пару можно переносить в любое место плоскости, в которой она расположена, и притом совершенно безнаказанно.

При этом не обязательно даже сохранять прежнее направление сил, т. е. пару можно поворачивать как угодно, лишь бы момент пары и направление вращения, ею вызываемого (по или против часовой стрелки), оставались прежними. Пары, имеющие равные моменты, называются эквивалентными парами (рис. 74).

Вот смотрите: приложим в точках  $C$  и  $D$  ( $CD=AB$ ) по две противоположные силы, т. е. как бы две противоположные пары. Одна из них,

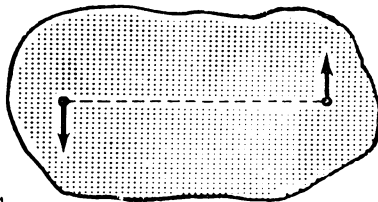
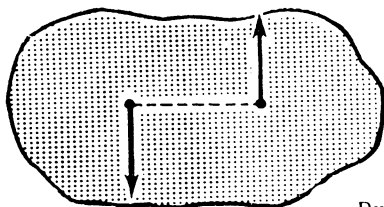


Рис. 74.

отмеченная черточками (рис. 75), стремится вращать тело в одну сторону, другая — в противоположную. Следовательно, пары уравниваются, но можно считать уравновешенными и первоначальную пару с плечом  $AB$ , и противоположную ей с плечом  $CD$  (перечеркнутую). Тогда останется лишь одна пара с плечом  $CD$ , вращающая тело в ту же сторону, что и первоначальная. Значит, можно сказать, что мы пару с плеча  $AB$  перенесли на плечо  $CD$ . Разве это не удивительное свойство пары сил?

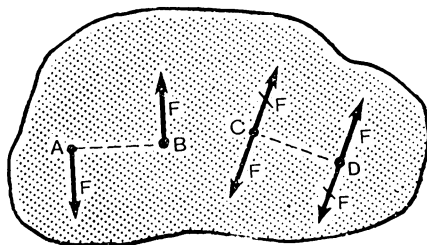


Рис. 75.

Неужели новая пара действует так же, как первоначальная? Ведь ось-то вращения тоже переместилась? Всякая пара сил, где бы она ни была расположена в той же плоскости, вращает тело вокруг оси, проходящей через центр тяжести тела, т. е. через точку  $O$  (рис. 76).

Вот и еще удивительное свойство пары сил.

Но почему же?! Какое отношение имеет к этому всему центр тяжести?

Правильнее было бы сказать центр масс, или центр инерции. Но это трудно пока для вас, и потому будем пользоваться привычным выражением «центр тяжести». В земных условиях эти центры совпадают.

Подтвердить мое утверждение можно так: когда тело движется поступательно, то все его точки движутся по параллельным траекториям с одинаковой скоростью, и потому можно заменить движение тела движением одной только точки, в которой как бы сосредоточена вся масса тела, а действие всех сил, приложенных к разным точкам тела, можно заменить равнодействующей их, приложенной к этой точке. Такая точка и называется центром масс. Согласитесь, что это упрощает решение задач по механике.

Но пара сил не имеет равнодействующей. Следовательно, в этом случае удастся свести движение тела к движению центра масс (центра тяжести). А раз на центр тяжести не действует никакая сила, то он должен оставаться в покое, быть неподвижным. Других неподвижных точек у тела быть не может, так как две неподвижные точки, не лежащие на оси вращения, не позволили бы телу вращаться.

Значит, где же проходит ось вращения (ведь ось вращения неподвижна)? Только через центр тяжести и нигде больше! Если направление приложенной силы не проходит через центр тяжести, то мы можем ее перенести, как я объяснял, в центр тяжести, но тогда появится присоединенная пара. Тело начнет поворачиваться, как вы и видели

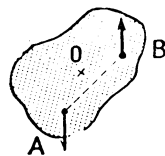


Рис. 76.

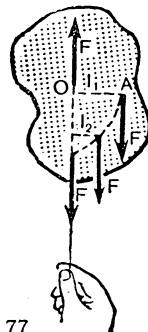


Рис. 77.

сейчас на опыте. При этом плечо пары и ее момент будут все уменьшаться (рис. 77), пока направление тянущей нити не станет проходить через центр тяжести. Тогда вращение прекратится, и тело будет двигаться поступательно. (Советуем читателям проверить новый способ нахождения центра тяжести.)

Вот и все, что я хотел рассказать вам об удивительных свойствах пары сил. То, что вы узнали, имеет большое значение в технике. Для плавного хода машин необходимо, чтобы вращающиеся части были хорошо уравновешены (балансированы), т. е. чтобы ось вращения проходила через центр масс вала, шкива, якоря электрического генератора или двигателя, иначе установка будет вибрировать («бить») и может быть разрушена.



## ИНТЕРЕСНЫЕ И ПОЛЕЗНЫЕ ПАРАЛЛЕЛИ

Расскажу вам о вращательном движении.

На первый взгляд может даже показаться, что вращательное движение нарушает законы механики.

В чем же нарушение и каких законов? Ну, скажем, закон инерции. Ведь всякое тело, если на него не действуют неуравновешенные силы, должно или покоиться, или двигаться равномерно и прямолинейно. А вот пример: я даю боковой толчок этому глобусу, и он начинает вращаться. Если бы не трение, он, вероятно, вращался бы вечно, как вращается земной шар, никем не подталкиваемый. Как же быть с первым законом Ньютона? Или есть два закона инерции: один для прямолинейного, а другой для вращательного движения?

Не торопитесь, мы сейчас выясним, в чем тут дело, и убедимся, что беспокоиться за законы Ньютона не приходится.

Вращательное движение отличается от поступательного. Однако есть в них и много общего, и весьма полезно сопоставить эти два вида движения. Много путаницы в головах учащихся происходит оттого, что в курсе физики средней школы не строго разграничивают механику материальной точки и механику материального тела. Скажите, вы помните, что называется поступательным движением?

— Конечно. Поступательным называется движение, при котором все точки тела движутся с одинаковой скоростью и описывают параллельные друг другу траектории.

— Вот именно. Поэтому и можно рассматривать поступательное движение не всего тела, а одной точки, вернее, заменить движение тела движением его центра массы, т. е. материальной точки, в которой как бы сосредоточена вся масса тела.

Если на такое тело (материальную точку) не действуют другие тела, т. е. если оно не испытывает на себе действия неуравновешенных сил, то оно покоится или движется равномерно и прямолинейно.

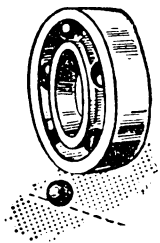
Вращение тела очень удобно характеризовать угловой скоростью, показывающей, на какой угол оно повернется за секунду. В технике угловую скорость часто выражают числом оборотов в минуту. Если угловая скорость не изменяется, то мы говорим, что тело вращается равномерно. Если же угловая скорость равномерно возрастает, то вращение называют равномерно-ускоренным. Сходство законов поступательного и вращательного движений поразительно. Только буквенные обозначения различны, а формулы получаются совершенно одинаковые. Вот первая параллель:

Поступательное движение	Вращательное движение
Буквенные обозначения	
Скорость $v$	Угловая скорость $\omega$
Путь $s$	Угловое перемещение $\varphi$
Время $t$	Время $t$
Ускорение $a$	Угловое ускорение $\varepsilon$
Формулы	
Равномерного движения	
$s = vt$	$\varphi = \omega t$
Равномерно-ускоренного движения (без начальной скорости)	
$v = at$	$\omega = \varepsilon t$
$s = \frac{at^2}{2}$	$\varphi = \frac{\varepsilon t^2}{2}$

Все задачи по кинематике как вращательного, так и поступательного движения решаются по этим формулам аналогично.

— Это все понятно. Но как же быть с законом Ньютона?

— Не торопитесь, слушайте дальше. Рассмотрим движение одной материальной точки. Если хотите, вы можете представить себе ее как маленький тяжелый шарик. Можно сделать так, чтобы он катился по



о окружности? (Катим маленький шарик от шарикоподшипника по столу.)

— Конечно, нет, он катится по прямой.

Можно, конечно, вести шарик по окружности, поддерживая его все время пальцами. Но стоит только убрать руку, как он будет продолжать движение по прямой линии.

— Итак, под действием силы материальная точка может двигаться по окружности. Я вел шарик рукой, можно было бы привязать к нему веревочку (рис. 78) или катить его внутри желобка. Как только прекратится действие центростремительной силы, шарик начнет двигаться по закону инерции.

В твердом теле (рис. 79) не одна точка, а множество. Как вы думаете, они (точки) свободны или связаны?

— На них действуют силы сцепления.

— Верно. Они-то и удерживают точки на круговой орбите. Не будь этих сил, материальные точки вращающегося тела разлетелись бы, как грязь слетает с вращающихся колес. Следовательно, движение точек вращающегося твердого тела не противоречит закону инерции.

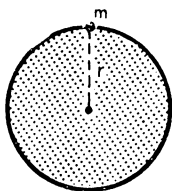


Рис. 78.

Есть еще одно сходство между поступательным и вращательным движением. При поступательном движении все точки тела движутся с одинаковой линейной скоростью  $v$ . Если тело вращается, то все точки вращающегося тела движутся с одинаковой угловой скоростью  $\omega$ .

Например, угловые скорости всех точек вращающейся спицы  $AB$  (рис. 80) одинаковы, а линейные различны.

На уроке физики вам говорили, что равномерное движение тела по окружности есть в то же время движение с ускорением. Это ускорение сообщается центростремительной силой и называется центростремительным ускорением. Оно не вызывает изменения скорости по величине, а изменяет только направление скорости. Тут нелегко разобраться.

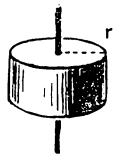


Рис. 79.

Я бы отстаивал определение равномерного вращательного движения только по угловой скорости. Тогда те параллельные формулы, о которых я говорил, будут всем понятны. Да и в технике, когда речь идет о равномерном вращении маховика или ротора электрического генератора, или двигателя, подразумевают постоянной угловую скорость. Постоянное число оборотов якоря генератора обеспечивает постоянное напряжение в сети; постоянное число оборотов маховика обеспечивает

плавный ход машины и экономичность ее работы. Это постоянство стараются поддержать, регулируя работу машины.

Теперь проведем параллель динамическую. По второму закону Ньютона ускорение, получаемое телом, вычис-

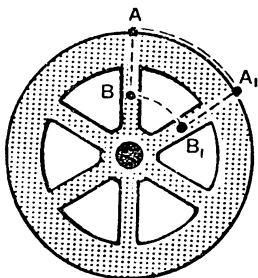
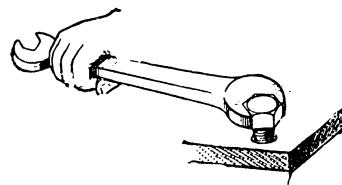


Рис. 80.



ляется по формуле:  $F = ma$ , откуда  $a = \frac{F}{m}$ .

При вращении тела изменение угловой скорости будет зависеть от силы. Теперь скажите, все ли равно, где приложить силу при заворачивании, скажем, гайки: к концу рукоятки гаечного ключа или к самой гайке?



Вращательное действие силы, или момент силы,— вот что здесь важно, вот что является параллелью силы поступательного движения. Параллель найдена: силе в поступательном движении соответствует момент силы во вращательном движении. Так продолжим нашу сравнительную табличку.

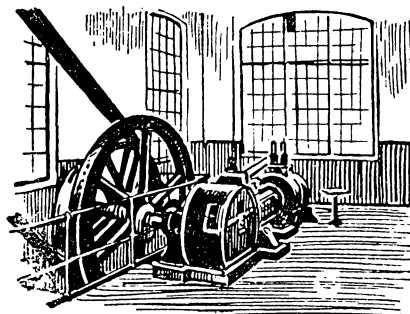
Поступательное движение	Вращательное движение
Сила $F$	Момент силы $M = Fl$ , где $l$ — плечо силы
Работа $Fs$	Работа $M\varphi$
Мощность $\frac{Fs}{t} = Fv$	Мощность $\frac{M\varphi}{t} = M\omega$

— Я еще не написал формулы второго закона Ньютона, потому что об этом законе следует сказать подробнее. В формулу закона Ньютона входит масса  $m$ . Что она характеризует?

— Инертность тела.

— Правильно. Теперь подумайте, характеризует ли масса инертность вращающегося тела?

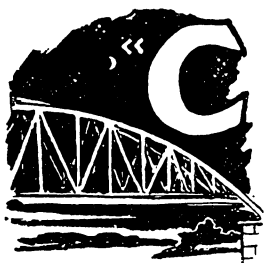
— Инертность вращающегося тела характеризуется не массой, а особой величиной, называемой моментом инерции, в которую входит как составная часть и масса. Момент инерции обозначается буквой  $I$ . Он зависит от массы тела и распределения этой массы, т. е. от формы тела. Тела различной формы имеют различную величину момента инерции. Простейший случай — движение материальной точки по окружности. Момент инерции такой точки равен произведению массы точки на квадрат расстояния ее от оси вращения, т. е.  $I = mr^2$ . Если массу отнести от оси вращения на расстояние, вдвое большее, то инертность этой массы, или устойчивость вращательного движения,



Поступательное движение (прямолинейное)	Вращательное движение (окколо неподвижной оси)
Скорость $v = at$	Угловая скорость $\omega = \epsilon t$
Путь $s = vt$	Угловое перемещение $\varphi = \omega t$
Ускорение $a$	Угловое ускорение $\epsilon$
Масса $m$	Момент инерции $J$
Количество движения $mv$	Длинные количество движения $J\omega$
Сила $F$	Момент силы $M = F \ell$
Основное уравнение динамики $F = ma$	Основное уравнение динамики $M = J\epsilon$
Работа $A = FS$	Работа $A = M\varphi$
Мощность $N = Fv$	Мощность $N = M\omega$
Кинетическая энергия $E_k = \frac{mv^2}{2}$	Кинетическая энергия $E_k = \frac{J\omega^2}{2}$

будет больше в четыре раза. Вот почему маховые колеса делают большими. Но слишком увеличивать радиус нельзя. С увеличением радиуса колеса увеличивается линейная скорость точек обода колеса и центростремительная сила. Сила сцепления молекул может оказаться недостаточной для удержания их на круговом пути, и тогда колесо разлетится. Каждое тело можно пред-

ставить состоящим из множества точек. Для вычисления момента инерции тела надо суммировать моменты инерции отдельных точек. Эта задача вам пока не под силу. Скажу только, что для диска и сплошного цилиндра, вращающихся вокруг собственной оси,  $I = \frac{1}{2}mr^2$ . В этих фигурах разные точки тела находятся на разных расстояниях от оси вращения, начиная от 0 и до  $r$ . Момент инерции тонкого круглого кольца (есть сходство с ободом маховика)  $I = mr^2$ . Обо всем этом вы узнаете из курса теоретической механики, когда будете учиться в техникуме или институте. Сейчас же вы должны понять, что во вращательном движении роль массы играет момент инерции и закон динамики вращательного движения, аналогичный второму закону Ньютона, примет вид:  $M = J\epsilon$ . Теперь мы можем закончить сравнительную таблицу, включив в нее формулы кинетической энергии поступательного движения  $\frac{mv^2}{2}$  и вращательного движения  $\frac{J\omega^2}{2}$ , количества движения  $mv$  и момента количества движения  $J\omega$ .



## ТАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ» ИЗ КАРТОНА И КЛЕЯ

Почему для строительных сооружений применяют балки и другие детали из фасонной стали: уголки, двутавры и др. Почему их делают именно такой формы? Ведь не для красоты же? Все равно их не видно под другими материалами.

— Нам придется познакомиться с основами науки о прочности. Только мой рассказ будет довольно длинным.

— Наука о прочности сооружений и конструкций называется сопротивлением материалов.

Материалы, из которых делают детали машин и строительных конструкций, подвергаются действию внешних сил, или нагрузок, которые могут изменить форму (деформировать) или разрушить их и тем испортить машину или сооружение. Внешним силам оказывают сопротивление внутренние силы связи между частицами, молекулами и атомами, из которых состоит всякое тело. Инженер и техник-строитель должны определить величину действующих сил и сил сопротивления, чтобы знать, надежны ли эти детали. Для оценки этой надежности принято определять силу, приходящуюся на единицу площади сечения детали, так называемое напряжение в материале.

Если площадь поперечного сечения стального троса подъемного крана равна  $2 \text{ см}^2$  и трос удерживает груз весом в  $1 \text{ Т}$ , то напряжение в нем будет равно:

$$\frac{1000 \text{ кг}}{200 \text{ мм}^2} = 5 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}.$$

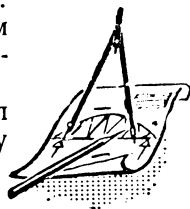
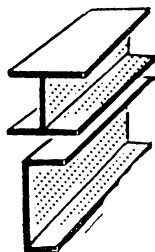
По специальной таблице, помещенной в справочнике, надо найти предел прочности для данного сорта стали. Допустим, что этот предел равен  $50 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$ . Следовательно, такой трос удовлетворяет технике безопасности, и можно сказать, что в данном случае трос имеет десятикратный запас прочности.

Большую заботу строителя составляет выбор запаса прочности, или коэффициента безопасности. Величина этого коэффициента выбирается в зависимости от нагрузки (спокойная или ударная) и назначения сооружения.

Величина допускаемой нагрузки зависит и от вида деформации. Есть материалы, которые хорошо выдерживают большие нагрузки при сжатии и очень небольшие — при растяжении. Например, предел прочности чугуна на растяжение равен  $15 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$ , а на сжатие  $60 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$ . Следовательно, чугун является неплохим материалом для изготовления колонн, но из него не следует готовить стержни, которые будут работать на растяжение. Кирпичная кладка не выносит растяжения, но может служить хорошей опорой, фундаментом, так как хорошо противостоит действию сжимающих нагрузок.

Учесть все условия работы сооружения — весьма сложная задача. Но чтобы не затягивать ответ на интересующий вас вопрос, перейдем к виду деформации, очень часто встречающемуся на практике, — деформации изгиба.

Я беру картонную полоску и сгибаю ее. Предварительно я воткнул в нее несколько булавок по одной линии на равных расстояниях одну



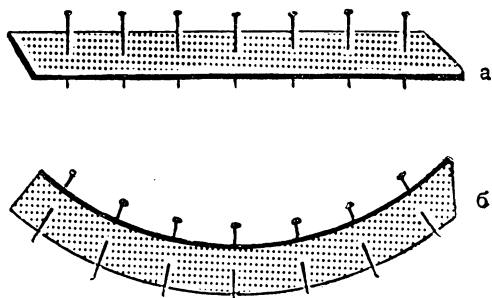


Рис. 81.

от другой. Концы булавок на верхней, вогнутой стороне сблизились, а на нижней, выпуклой разошлись (рис. 81).

Но не только концы булавок, но и частицы картона в верхнем слое сблизились — верхний слой сжат, а в нижнем слое разошлись — он растянут. Это можно сказать, взглянув на чертеж изогнутого бруса, — длина наружной дуги больше, чем внутренней. Вот как принято изображать распределение напряжений в изогнутом брус (рис. 82). Теперь, я думаю, вам понятно, что средняя часть бруса не

испытывает такого напряжения, как его края (верхний и нижний). Так зачем же тратить напрасно материал? Если его удалить, то и получится форма профиля двутавровой балки (рис. 83). Название происходит от греческой буквы «тау» ( $\tau$ ). Из двух таких букв, сложенных своими концами, и получился профиль двутавра. Балки изготовляют определенных номеров. Номер балки показывает высоту поперечного сечения балки в сантиметрах. Например, балка № 10 имеет высоту 10 см, № 24 имеет высоту 24 см. Другие размеры (толщина и ширина полки и перекладки) приводятся в технических справочниках. В справочниках же указывается площадь поперечного сечения для каждого номера балки и две очень важные характеристики балки: момент инерции и момент сопротивления.

При расчете конструкции с балками важно знать кривизну изогнутой балки. Кривизна балки зависит от моментов приложенных сил («изгибающих» моментов) и от жесткости балки, которая в свою очередь определяется профилем сечения и материалом балки. Вы сейчас уясните это из очень простого опыта. Положим длинную бумажную полоску на две опоры, она прогнется под действием даже собственного веса. Но если изменить ее форму, то она окажет большее сопротивление изгибу, приобретет жесткость (рис. 84). Момент сопротивления и жесткость для разных моделей будут разными.

Каждый техник и инженер должен уметь определять изгибающий момент силы, действующий на балку в данных условиях. В простейшем случае, когда нагрузка  $P$  сосредоточена в середине балки, а сама балка свободно лежит на двух опорах, максимальный изгибающий момент в середине балки определить нетрудно. Для этого надо знать силы, приложенные к балке. Кроме нагрузки  $P$ , на балку действуют силы реакции опор — это результат сжатия опор под давлением балки. Понятно, что

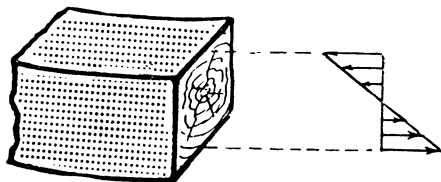


Рис. 82.

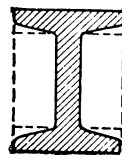


Рис. 83.

по величине каждая из этих сил равна половине нагрузки. Изгибающий момент равен произведению силы на плечо, т. е. в данном случае

$$M = \frac{P}{2} \cdot \frac{l}{2},$$

где  $l$  — расстояние от точки приложения действующей силы до точки опоры.

Чем ближе точка приложения силы к концу балки, тем плечо и момент этой силы меньше, а на самих опорах он доходит до нуля.

Расчет напряжения в различных сечениях балки ведется по формуле:

$$\text{Напряжение} = \frac{\text{изгибающий момент}}{\text{момент сопротивления}}.$$

Момент сопротивления, как я уже говорил, указывается в справочниках. Вычисленное по этой формуле напряжение сравнивают с допускаемым.

Так разрешается вопрос о прочности балки и о возможности ее использования. В других, более сложных случаях приходится решать и более сложные задачи.

— А зачем мосты делают в виде красивых, но сложных переплетов?

— Эти переплеты на техническом языке называются «фермами». Инженеры рассчитывают каждое звено такой фермы на растяжение и сжатие. Но едва ли стоит рассматривать сегодня этот сложный вопрос.

Приведу только случай из практики. Через ручей была перекинута доска, но она очень прогибалась под тяжестью переходившего ручей человека. Для увеличения жесткости доски мы прибили к ней два подкоса из двух досок, и она перестала прогибаться (рис. 85).

В этом случае силу тяжести человека можно разложить по направлению этих подкосов по правилу параллелограмма. Составляющие силы тяжести будут направлены к берегу, т. е. будут действовать на опоры. Вот вам пример простейшей фермы.

А как выбрать угол между составляющими?

Угол имеет большое значение. В этом вы можете убедиться, построив несколько парал-

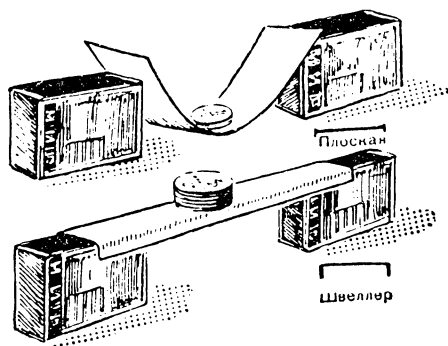


Рис. 84.

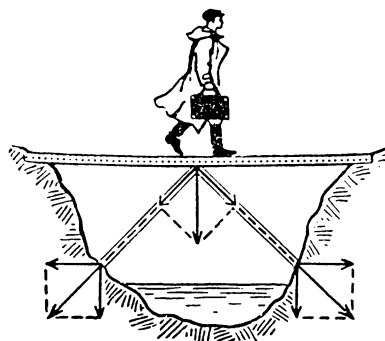


Рис. 85.

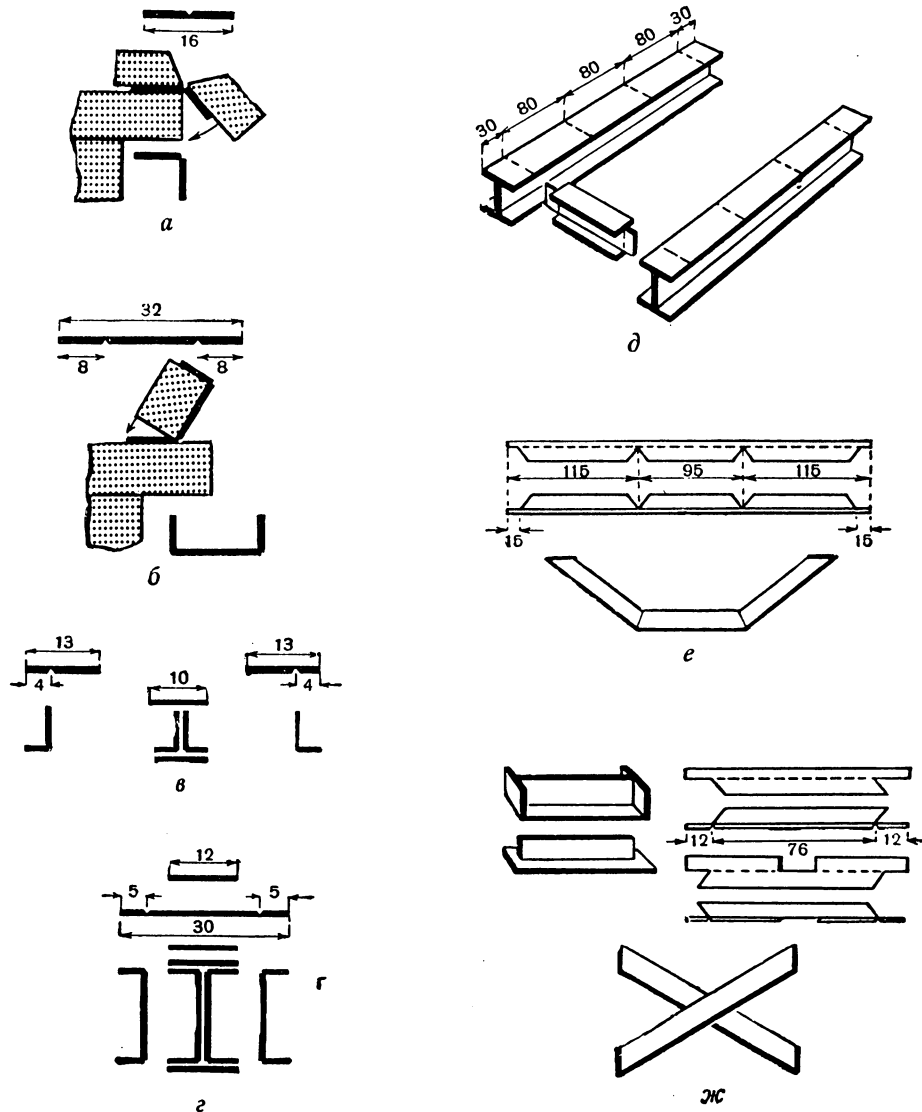


Рис. 86.

а — уголок, б — швеллер, в — тавр,  
г — двутавр, д, е, ж — детали к  
мосту.

лелограммов. Чем больше угол между подкосами, тем больше получатся составляющие силы (вес человека остается постоянным) и тем сильнее подкосы будут вдавливаться в берега. В строительстве сооружений каждое дело начинается с расчета.

Читателям этой книги предлагаю попробовать свои силы в интересном моделировании стальных конструкций из бумаги и клея.

Вам потребуются следующие детали:

№ п/п	Профиль	Число деталей	Размеры в мм
1	двутавр . . . . .	2	24×12×300
2	двутавр . . . . .	4	24×12×72
3	равнобокий уголок . . .	2	10×10×325
4	тавр . . . . .	4	10×10×74
5	тавр . . . . .	1	10×10×101
6	неравнобокий уголок . .	4	5×10×100

Если вы будете очень аккуратно выполнять отдельные детали (рис. 86), то вам удастся сделать всю модель. Траверзы (поперечины) № 2 приклеиваются к продольным несущим балкам № 1. Нижний пояс № 3 вырезается наискось на концах и сгибается. У подпорок № 4 удаляют перекладины с обоих концов на расстоянии 10 мм, а затем боковые клапаны пригибают к перекладинам и приклеивают. Теперь можно приклеить к несущим продольным балкам нижний пояс и подпорки. Затем мы прибавим еще траверзу № 5. Диагональные связи № 6 сгибают и приклеивают к телу моста. И мост готов (рис. 87).

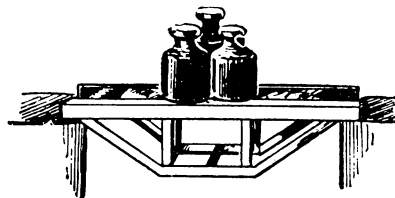


Рис. 87.

Из самых простых материалов вы можете делать модели кранов, антенных мачт, сигнальных семафоров, поворотных мостов для игрушечных железных дорог.



## ПИСЬМО ЛОМОНОСОВА

5 июля 1748 года Михаил Васильевич Ломоносов писал:

«Знаменитейшему и ученнейшему мужу Леонарду Эйлеру, заслуженнейшему королевскому профессору и члену славной Берлинской Академии наук, а также почетному члену императорской Петербургской Академии наук и Лондонского Королевского общества, нижайший привет шлет

*Михаил Ломоносов...*»

Выдержки из этого знаменитого письма приводят во многих книгах по физике и химии, когда хотят сказать о роли нашего великого соотечественника в установлении основных законов природы — законов сохранения материи и движения. Но прежде чем проследить за ходом мысли автора письма, постараемся выяснить, при каких обстоятельствах оно было написано, каково было тогда состояние науки на Западе и в России. Все это поможет нам лучше понять величие гения Ломоносова и значение идей, изложенных в его письме.

Время жизни Ломоносова (1711—1765) совпадает с тем периодом русской истории, когда, по образному выражению Пушкина, царь Петр

«...железною уздою  
Россию вздернул на дыбы»,

когда в результате преобразовательной деятельности Петра I рушился старинный уклад отсталой феодальной России и, несмотря на сопротивление реакционных сил, страна поворачивалась навстречу просвещению XVIII века.

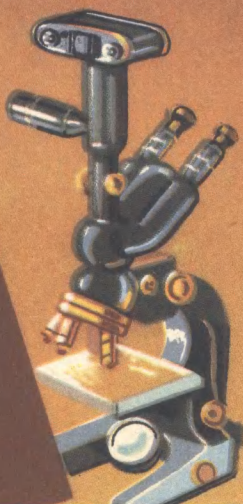
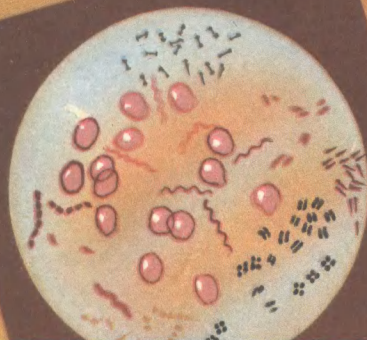
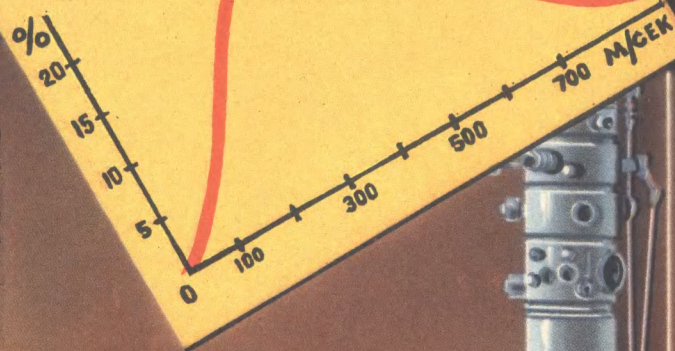
В Англии в это время Ньютон писал свои великие «Начала», в Германии Лейбниц создавал дифференциальное исчисление, во Франции умами ученых владели идеи Декарта...

По указу Петра в 1725 году открылась первая Российская Академия наук. Ее открытию предшествовала переписка царя с Лейбницем и другими знаменитыми учеными, по рекомендации которых в качестве первых академиков были приглашены Бернулли (гидродинамик), Эйлер (математик и механик), Рихман (физик) и др. С их помощью царь Петр надеялся подготовить кадры отечественных специалистов.



Таблица 9. В мире молекул

В самые сильные оптические микроскопы мы не можем увидеть молекулы. Только в электронные микроскопы удастся различить очертания молекул вирусов и наиболее крупных белковых соединений. Наблюдения над тонкими пленками мыльных пузырей, масла на воде позволяют составить представление о размерах молекул. Кривая на графике показывает закон распределения скоростей молекул кислорода при  $0^{\circ}\text{C}$ . Из нее видно, что при этой температуре наибольшее число молекул (более 20%) движется со скоростью 300—500 м/сек.







ПРИ  
273°K  
И НИЖЕ

Л Ё Д

Таблица 10. Твердое, жидкое, газообразное

Твердое тело имеет определенную форму и определенный объем. Для изменения формы или объема надо приложить силу.



от 273°K  
до 373°K

В О Д А

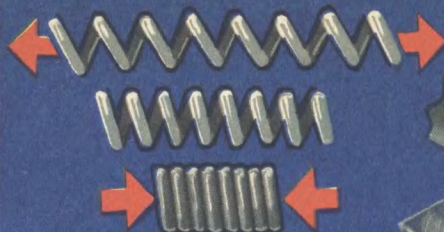
Жидкость принимает форму того сосуда, в который она налита. Изменяя форму, жидкость сохраняет свой объем.

П А Р

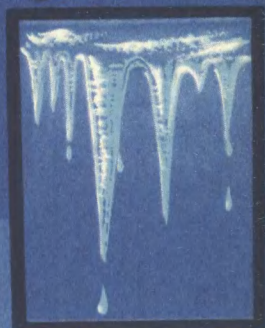
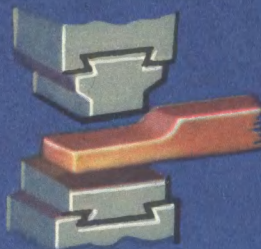
ПРИ  
373°K  
И ВЫШЕ



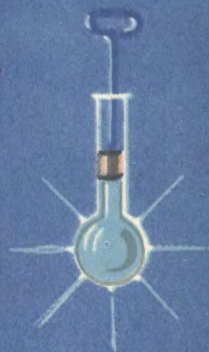
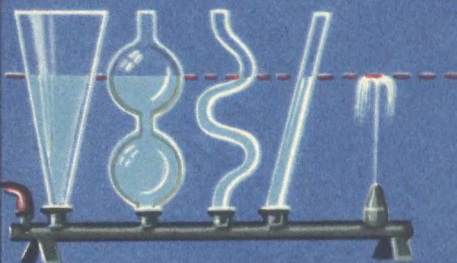
Газ не имеет собственной формы и не сохраняет определенного объема. Любое количество газа, помещенное в закрытый сосуд, занимает весь сосуд.



Т В Е Р Д О Е



Ж И Д К О Е



Г А З О О Б Р А З Н О Е





М. В. Ломоносов в 1741 году назначен адъюнктом, а с 1745 года избран действительным членом Академии. Но обстановка в Академии к этому времени уже изменилась. В Академию проникли иностранные проходимцы, в результате создались крайне тяжелые условия работы, побудившие многих ученых покинуть Россию. Уехали братья Бернулли, Эйлер и другие ученые. Но Эйлер не прекратил письменной связи с Академией и в особенности с Ломоносовым.

В просторном письме Эйлеру, написанном по-латыни\*, как это было принято между учеными того времени, Ломоносов касается основных физических понятий.

«Прежде всего считаю необходимым изложить то, с чем мы встречаемся в самом начале естественных наук...», — пишет он и далее излагает свои взгляды на строение вещества, понятие плотности, массы, удельного веса. Глубокие мысли Ломоносова на процессы горения и окисления, на условия взаимодействия тел легли в основу ряда его последующих работ в области химии, физики, минералогии, металлургии и других наук.

Ломоносов отрицал взаимодействие тел на расстоянии без участия промежуточной материальной среды (на современном языке мы бы сказали «поля»).

Но, конечно, было бы неправильно полагать, что в XVIII веке Ломоносов мог подняться до вершин физической теории XX века. Отмечая

---

\* Приведенные в статье выдержки из письма в переводе на русский язык взяты из полного собрания сочинений М. В. Ломоносова, т. II, 1951, стр. 169—195.

его передовые взгляды, мы только хотим подчеркнуть, что Ломоносов далеко опередил своих современников.

Излагая свои взгляды на природу тяготения, Ломоносов делает в письме то знаменитое замечание, в котором выражены его взгляды на сохранение материи и движения:

«... все встречающиеся в природе изменения происходят так, что если к чему-либо нечто прибавилось, то это отнимется у чего-то другого. Так, сколько материи прибавляется к какому-либо телу, столько же теряется у другого, сколько часов я затрачиваю на сон, столько же отнимаю у бодрствования» и т. д.

Михаил Васильевич поднял перо и задумался об интересных опытах английского физика Бойля с накаливанием металлов. Бойль установил, что вес прокаливаемых металлов увеличивается. Не зная еще ничего о кислороде, который, как нам теперь известно, вступает в химическое соединение с накаливаемым металлом и образует окалину, Бойль увеличение веса объяснял присоединением к металлу теплорода. Всю жизнь боролся Михаил Васильевич с ложной теорией теплорода, поэтому и сами опыты и объяснения Бойля казались ему сомнительными. «Необходимо бы опытом проверить мне сие. Опыт я ставлю выше, чем тысячу мнений, рожденных воображением», — подумал он. Но проверить было негде, химическая лаборатория, постройки которой он много лет добивался, все еще не была закончена. Только через восемь лет в рапорте президенту Академии наук о работах за 1751—1756 годы Ломоносов писал: «... деланы опыты в заплавленных накрепко стеклянных сосудах, чтобы исследовать, прибывает ли вес металлов от чистого жару; оными опытами нашлось, что славного Роберта Бийла (Бойля.— М. Б.) мнение ложно, ибо без пропущения внешнего воздуха вес сожженного металла остается в одной мере».

Вздохнув, Михаил Васильевич продолжал письмо: «Так как это всеобщий закон природы, то он распространяется и на правила движения: тело, которое своим толчком возбуждает другое к движению, столько же теряет своего движения, сколько сообщает другому, им двинутому».

Ему вспоминаются слова Картезия (Декарта), который в своих «Началах философии» выразил то же положение и примерно в тех же словах: «Когда одно тело сталкивается с другим, оно может сообщить ему лишь столько движения, сколько само одновременно потеряет, и отнять у него лишь столько, насколько оно увеличит свое собственное движение».

Однако взгляды Декарта переплетаются с религиозными воззрениями. «Бог, — писал Декарт, — есть первая причина движения и количество его во вселенной сохраняет свою величину». М. В. Ломоносову, который к рассмотрению явлений природы подходил материалистически, это положение Декарта казалось неприемлемым. «Легко быть филосо-

фом, выучась произносить наизусть три слова: «бог так сотворил», и сидя в ответ вместо всех причин», — усмехнулся Михаил Васильевич.

Приведенный отрывок из письма Ломоносова составляет содержание «Закона Ломоносова». Так назвал его замечательный советский физик, академик С. И. Вавилов в статье, напечатанной 5 января 1949 года в газете «Правда».

Однако это требует пояснения. Современная наука знает ряд законов сохранения: закон сохранения материи, закон сохранения импульса (количество движения), закон сохранения энергии, закон сохранения заряда и др.

В XVIII веке понятие материи отождествляли с понятием вещества, а под движением понимали только механическое движение. Приоритет в открытии закона сохранения вещества при химических реакциях, бесспорно, принадлежит Ломоносову, он доказан Ломоносовым экспериментально.

Закон сохранения количества движения был высказан, как мы только что узнали, еще Декартом. Современная физика различает физические формы движения и устанавливает их способность превращаться друг в друга. Закон сохранения при этих превращениях называется законом сохранения и превращения энергии.

Отдельные высказывания о законе сохранения можно встретить и в более далекие времена. Так, например, римский поэт Лукреций в философской поэме «О природе вещей» написал:

«За основу тут мы берем положение такое:  
Из ничего не творится ничто».

Что же тогда понимать под «Законом Ломоносова»?

Академик С. И. Вавилов отвечает на этот вопрос так: «Значение и особенность начала, провозглашенного Ломоносовым, состояли не только в том, что этим законом утверждались законы неуничтожимости и сохранения материи, движения, силы в отдельности. Некоторые из этих истин издавна, еще в древности, угадывались передовыми умами... В отличие от своих предшественников Ломоносов говорит о л ю б ы х «переменах в натуре случающихся», об их общем сохранении, и только в качестве примеров перечисляет отдельно взятые сохранение материи, сохранение времени, сохранение силы».

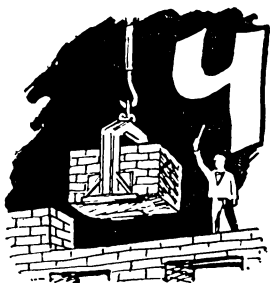
Таким образом, в современной формулировке закон Ломоносова может быть передан так: материя и присущее ей движение неуничтожимы. В такой, самой общей формулировке закон Ломоносова включает в себя все остальные законы сохранения как частные случаи.

Все рассуждения Ломоносова всегда были плодом глубокого исследования, а не результатом мимолетных впечатлений и настроений. Это

видно из того, что основные идеи, которые заключались в разобранным нами отрывке из письма, Ломоносов позволил себе опубликовать лишь после многолетнего обдумывания и лабораторной проверки. В своей диссертации «Рассуждение о твердости и жидкости тел», написанной в 1760 году на русском языке, он слово в слово повторяет цитированное место письма к Эйлеру: «Все перемены в натуре случающиеся...»

О том, как чужда была Ломоносову всякая поспешность в выводах, свидетельствует опять его историческое письмо к Эйлеру: «Вот знаменитейший муж, что я обдумываю уже несколько лет и что не позволяет мне привести в единую систему и опубликовать результаты моих исследований, относящихся к причинам частных качеств. Но не сомневаюсь, что Ваше острое суждение освободит меня из этого лабиринта. Примите, несравненный муж, эти мои размышления со свойственной Вам непредубежденностью и не оставляйте меня Вашим благосклонным расположением. Будьте здоровы.

Петербург, 5 июля, ст. ст. 1748 г.»



## ТО ТАКОЕ РАБОТА

— Что вам задано на завтра по физике, Игорь?— спросил Иван Иванович, подходя к столу, за которым сидел его сын, перелистывая учебник физики.

— Повторить о работе. Очень мало, всего три параграфа и две задачи. Это очень просто. Я уже приготовил уроки.

— Мало — это верно, но просто ли? Вот скажи, пожалуйста, что называется работой?

— Механическая работа представляет собой процесс преодоления сопротивления на пути движения тела. За величину работы принимается произведение силы на путь, пройденный по направлению силы:  $A = Fs$ .

— Так, преодоление сопротивления, говоришь? Скажи, если тело весом  $P$ , падая в пустоте, например в трубке Ньютона, проходит путь  $h$ , то совершается ли работа силой тяжести?

— Конечно,  $A = Ph$ .

— Ну, а что же здесь преодолевается?

Лицо Игоря выражает крайнее изумление. Как же так? Есть и перемещение, и сила, приложенная к телу, т. е. соблюдены оба условия,

необходимые для того, чтобы можно было говорить о работе, а в чем же тут состоит работа? Что преодолевается? Нельзя же сказать, что преодолевается инерция тела. Учитель не один раз разъяснял, что сохранение состояния покоя или равномерного и прямолинейного движения по инерции никак нельзя понимать как сопротивление тела изменению его состояния. В чем же тут дело?



— Что же произошло с телом? Как изменилось его состояние? Как движется свободно падающее тело?

— Равномерно-ускоренно. Тело под действием силы тяжести стало двигаться, и притом ускоренно. Теперь оно обладает кинетической энергией! Результат работы: тело получило энергию.

-- Неужели ты думаешь, что тело не имело энергии в верхней точке?

— Имело, потенциальную. Теперь ее стало меньше, но появилась кинетическая энергия.

— А вот другой пример. Когда я поднимаю вот эту книгу и ставлю ее на верхнюю полку, я совершаю работу против силы тяжести. Книга поднята. У нее добавилась потенциальная энергия по сравнению с прежним ее положением. Откуда она взялась?

И г о р ь (радостно). Знаю, это твоя энергия! Ты отдал часть энергии книге. Работа, стало быть, есть передача энергии от одного тела к другому. Поднимая книгу, ты совершал работу, т. е. передавал энергию.

— Хорошо, думай дальше. Я снимаю книгу с полки и опять кладу ее на стол. Вернулась ли ко мне прежняя энергия?

Лицо Игоря снова вытягивается, он морщит лоб, силясь разрешить задачу.

— Потенциальная энергия книги, снятой с полки, стала меньше. Куда же делась кинетическая энергия, какую она приобрела бы, падая с той же высоты? Эта энергия, конечно, досталась мне, но не вернула меня в прежнее состояние. Удерживая книгу от падения, я должен был напрягать мускулы, произошли физиологические изменения, которые нельзя учесть по законам механики.

— Работа по преодолению силы трения, силы сопротивления среды...

— Опять преодоление? Нет, мне решительно не нравится такое определение работы. Гораздо лучше, если ты всегда будешь рассматривать работу как передачу энергии от одного тела к другому, причем почти всегда будет происходить превращение энергии из одной формы в другую.

На что расходуется энергия лошади при перевозке дров на санях? Учти, что ответ: «Энергия пошла на преодоление трения» — я не зачту.

Игорь пытается ответить, но ему не хватает нужных слов.





О т е ц. Принеси мне, пожалуйста, из соседней комнаты со стола книгу «Избранные сочинения» Горького. Я прочту тебе замечательное описание работы грузчиков на пристани.

Игорь нашел требуемую книгу и передал ее отцу.

— Спасибо. Пока я найду нужную страницу, скажи, в чем заключалась сейчас твоя работа, когда ты нес книгу? Не о работе по преодолению силы трения тут речь, ты же не шаркал ногами по полу, да и не так велико сопротивление среды. Может быть, ты поднимал груз?

Нет, положительно не везло в этот вечер Игорю. Что ни вопрос, то загадка. И на этот вопрос он не может ответить.

— Ну, так и быть, я тебе помогу ответить на эти вопросы. Когда ты идешь с книгой или без книги, то при каждом шаге центр тяжести твоего тела поднимается и опускается. По существу при ходьбе ты совершаешь работу поднятия и опускания тяжести. А теперь слушай, как написал Горький в трилогии «Мои университеты»: «Мне хорошо памятен день, когда я впервые почувствовал героическую поэзию труда.

Под Казанью села на камень, проломив днище, большая баржа с персидским товаром; был сентябрь, дул верховой ветер, по серой реке сердито прыгали волны, ветер бешено срывал их гребни, кропил реку холодным дождем. Артель, человек полсотни, угрюмо расположилась на палубе пустой баржи, кутаясь рогожами и брезентом...

К полуночи доплыли до переката, причалили пустую баржу борт о борт к сидевшей на камнях; артельный староста, ядовитый старикишка, рябой хитрец и сквернослов, с глазами и носом коршуна, сорвав с лысого черепа мокрый картуз, крикнул высоким, бабьим голосом:

— Молись, ребята!

В темноте, на палубе баржи, грузчики сбились в черную кучу и заворчали, как медведи, а староста, кончив молиться раньше всех, завизжал:

— Фонарей! Ну, молодчики, покажи работу! Честно, детки! С бгом — начинай!

И тяжелые, мокрые люди начали «показывать работу». Они, точно в бой, бросились на палубу и в трюмы затонувшей баржи — с гиком, ревом, с прибаутками. Вокруг меня с легкостью пуховых подушек летали мешки риса, тюки изюма, кож, каракуля, бегали коренастые фигуры, ободряя друг друга воем, свистом, крепкой руганью. Трудно было поверить, что так весело, легко и споро работали те самые люди, которые только что жаловались на жизнь, на дождь. Дождь стал гуще, холоднее, ветер усилился, рвал рубахи, закидывал подолы на головы, обнажая животы. В мокрой тьме при слабом свете шести фонарей метались черные люди, глухо топая ногами о палубы барж. Работали так, как будто ожидали удовольствия швырять с рук на руки четырехпудовые мешки, бегом носиться с тюками на спине...



Я тоже хватал мешки, тащил, бросал, снова бежал и хватал, и казалось мне, что и я сам, и все вокруг завертелось в бурной пляске, что эти люди могут так страшно и весело работать без усталости, не щадя себя—месяца, года, что они могут, ухватясь за колокольни и минареты города, стащить его с места, куда захотят.

Я жил эту ночь в радости, не испытанной мною, душу озаряло желание прожить всю жизнь в этом полубезумном восторге делания.

И до двух часов дня, пока не перегрузили весь товар, полуголые люди работали без отдыха под проливным дождем и резким ветром, заставив меня благоговейно понять, какими могучими силами богата человеческая земля».

Иван Иванович захлопнул книгу.

—Так-то, брат! Поэзия ручного труда! Горький, конечно, великий поэт, певец человека и его творческих сил. Но давай посмотрим на всю эту историю глазами физика и современного инженера. Давай подсчитаем работу, сделанную 50 грузчиками за 14 часов. Мощность человека в среднем равна одной десятой лошадиной силы, хотя в минуту душевного подъема, в экстазе, она может быть и больше одной лошадиной силы, но ненадолго. В данном случае, при длительной работе, я думаю, мы все же не сможем оценить ее выше 0,15 л. с.

Зная мощность и время работы, мы можем вычислить сделанную работу:

$$A = Nt = 0,15 \cdot 50 \cdot 14 \text{ л. с.} \cdot \text{ч} = 76,3 \text{ квт} \cdot \text{ч}.$$

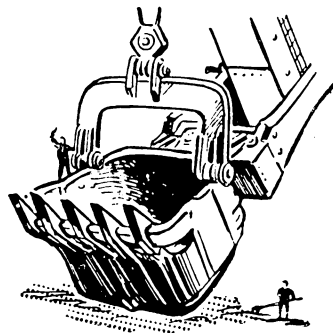
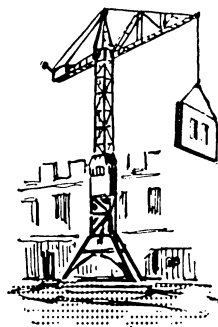
Описанный Горьким случай относится к 1886 году.

Разгрузка такой баржи современными механизмами заняла бы не больше трех часов, а главное, избавила бы людей от изнурительно тяжелой работы. Портальные краны, транспортеры, нории (вертикальные транспортеры), плавучие краны, судовые стрелы, пневматические перегрузчики совершенно преобразили работу крупных морских портов и речных пристаней.

А рекорды строительной техники! Я читал, что на постройке пирамиды Хеопса трудились 10 000 рабов в течение 20 лет. В наши дни ее можно было бы соорудить за 9 месяцев при участии всего 500 рабочих.

Вам, конечно, рассказывали в школе, что современные землеройные машины с емкостью ковша 14—15 м³ и 20 м³ заменяют 7,8 тысяч и 10 тысяч рабочих.

Разумеется, в основе успехов техники лежит наука, и в первую очередь физика. Вот почему ты должен особенно ценить уроки физики, читать дополнительную литературу, участвовать в физических и технических кружках.



Пока же предлагаю тебе несколько вопросов по теме, заданной на дом.

Эти вопросы ты можешь предложить завтра товарищам:

1. Человек, держащий в руках груз (корзину с продуктами), не совершает механической работы. Совершает ли работу этот человек, если он поднимается в лифте?

2. Тело покоится на тележке, движущейся по инерции. Есть ли тут работа?

3. При занятии гимнастикой человек поднимает и опускает гантели. Совершает ли он работу?

4. Если человек стоит с грузом на плечах, он не совершает никакой работы, так как ничего не движет. Почему же устает стоящий человек, если у него на плечах какой-нибудь груз?

5. Первый раз футбольный мяч ударился о штангу ворот и остановился. Второй раз мяч был схвачен защитником, двигавшимся навстречу мячу с такой же скоростью, как и мяч. Будет ли разница в величине работы, произведенной мячом в первый и во второй раз? (Ответ: во втором случае работа будет в 4 раза больше.)



## ЕОСУЩЕСТВИМАЯ МЕЧТА

Среди детских игрушек можно встретить забавный прибор под названием «птичка Хоттабыча» (рис. 88). Птичка периодически наклоняется, опускает клюв в воду и поднимает его. Кое-кто, увидев эту игрушку впервые, может воскликнуть: «Вечный двигатель!» Но... не будем торопиться. Разберем секрет птички. Ее голова и клюв покрыты ватой. Если эту вату слегка увлажнить, то при испарении воды голова птички будет охлаждаться. В нижней ампуле прибора налит эфир или другая легко испаряющаяся жидкость, пары которой заполняют все пространство. При охлаждении головы давление этих паров уменьшается. Тогда под избыточным давлением паров эфира в нижней ампуле эфир поднимается по трубочке, голова птички оказывается тяжелее и наклоняется к стаканчику.

Как только жидкость достигнет конца трубочки, пары эфира из нижней ампулы прорвутся в верхнюю (головку), давление паров сравняется, жидкость

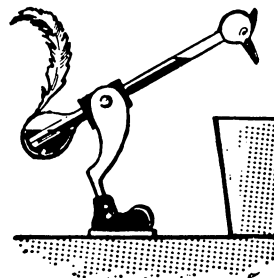


Рис. 88.

потечет вниз, птичка вновь поднимет клюв. Не будь испарения влаги, не происходили бы все описанные явления. При испарении затрачивается энергия, которая берется от воды комнатной температуры и из окружающего воздуха. А вечный двигатель должен работать без затраты энергии. Поэтому «птичка Хоттабыча» не является вечным двигателем.

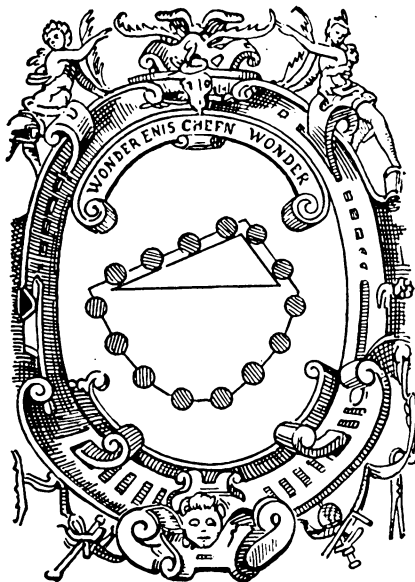
Все заводные игрушки и механизмы работают до тех пор, пока обладают запасом энергии, сообщенным при заводе, подобно часам, которые идут до тех пор, пока имеют запас потенциальной энергии закрученной пружины или поднятой вверх гири. Потенциальная энергия закрученной пружины или поднятой гири в процессе работы превращается в другие виды энергии и передается другим частям механизма, но не исчезает. Работать — значит передавать энергию, а не создавать ее.

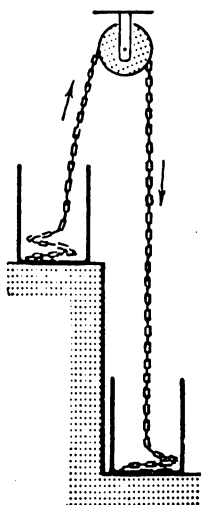
Великий закон природы — закон сохранения и превращения энергии — был открыт в первой половине XIX века. Но не сразу этот закон получил всеобщее признание. Уж очень заманчива была мысль построить такую машину, которая работала бы сама собой, т. е. создавала бы энергию! Бесчисленные проекты всевозможных «вечных двигателей» предлагались людьми, недостаточно знакомыми с основами физики. Даже в наше время встречаются такие «изобретатели».

Представьте себя в роли консультанта бюро изобретений и выясните, в чем заключается ошибка в ниже приводимых проектах вечных двигателей.

При разборе проектов не забывайте следующее:

1. «Вечный двигатель» должен работать без подвода энергии.
2. Создание «вечного двигателя» было бы чудом, но чудес не бывает.
3. Если механизм, выдаваемый за «вечный двигатель», совершает работу, которая состоит в преодолении трения только в частях этого механизма, значит, он откуда-то получает энергию. Надо выяснить, откуда.
4. Все проекты «вечных двигателей» можно разбить на две группы: а) проекты, авторы которых не обнаруживают внешних источников энергии (см. «птичка Хоттабыча»), и б) проекты, содержащие ошибки, так как авторы проектов недостаточно хорошо знают законы физики.





а

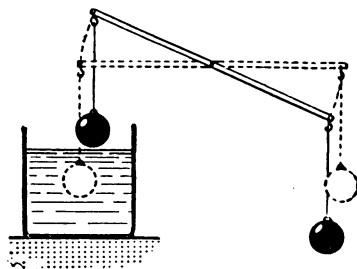


Рис. 90.

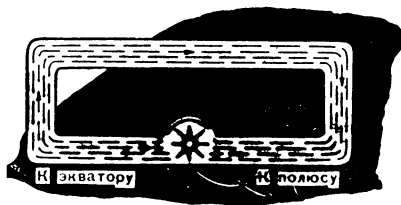


Рис. 91.

## Проекты вечных двигателей

1. Через блок перекинута цепь (рис. 89, а и б). Свешивающаяся правая часть цепи под действием силы тяжести переходит с одного уровня на другой. Изобретатель уверен, что спущенная часть может быть снова поднята вверх, если связать концы цепи. Будет ли в этом случае правая часть цепи перетягивать левую?

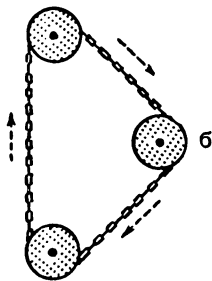


Рис. 89.

2. Два одинаковых шара уравновешены в воздухе на коромысле весов. Если один шар опустить в сосуд с водой, то вода будет выталкивать его и коромысло наклонится. Изобретатель утверждает, что шар, выйдя на поверхность воды, снова приобретет свой вес, снова будет опускаться в воду, а коромысло вечно будет качаться. Проверьте проект на опыте и найдите ошибку в проекте (рис. 90). Подумайте, не совершает ли этот «двигатель» работу по преодолению силы трения и вязкости жидкости.

3. Известно, что вес тела увеличивается при перемещении его от экватора к полюсам. Если расположить гидравлическую установку, изображенную на рисунке 91, по меридиану, то, по мнению автора установки, жидкость будет перетекать в ней от конца, находящегося ближе к полюсу, к концу, находящемуся ближе к экватору, т. е. получится вечная циркуляция ее. Автор предлагает использовать эту циркуляцию воды для приведения в движение «двигателя».

4. Вытекающая из водопроводного крана вода (рис. 92) должна создать в герметически закрытом водонапорном баке пустоту. Автор убежден, что атмосферное давление будет вечно пополнять убыль воды в баке.

5. Представлен комбинированный проект водяного колеса с водоподъемным винтом Архимеда или с насосом современного типа (рис. 93). Вода, падающая с лопатки водяного колеса,



Рис. 92.

приводит в движение не только точильный камень, но и водоподъемный механизм, поэтому убыль воды в верхнем резервуаре непрерывно пополняется и двигатель должен работать вечно.

6. Самозаводящиеся часы. При повышении температуры окружающего воздуха жидкость в радиаторе и соединенном с ним цилиндре будет расширяться и поршень, находящийся в цилиндре, поднимет гирию часов. Подъем гири ходу часов не мешает. Часовой механизм приводится в движение опускающейся гирей (рис. 94).

7. Магнитный вечный двигатель. Железный шарик, притягиваясь магнитом, поднимается по наклонной плоскости. Если в верхней части наклонной плоскости сделать отверстие (рис. 95), то шарик, провалившись через отверстие, упадет на желоб, скатится по нему и, обладая запасом кинетической энергии, снова попадет на наклонную плоскость, и так без конца.

8. Обычный предмет спора школьников, только что приступивших к изучению электричества. Генератор, однажды приведенный в движение, питает ток электродвигатель (рис. 96). Оси генератора и электродвигателя соединены между собой ременной передачей, поэтому электродвигатель поддерживает движение якоря генератора. Можно ли установку назвать вечным двигателем? К генератору по желанию можно подключить осветительную сеть или электродвигатель соединить со станками.

Решите задачу: «Мощность генератора 4 квт. Какой мощности электродвигатель можно соединить с этим генератором, если к. п. д. генератора 80% и к. п. д. двигателя тоже 80%?»

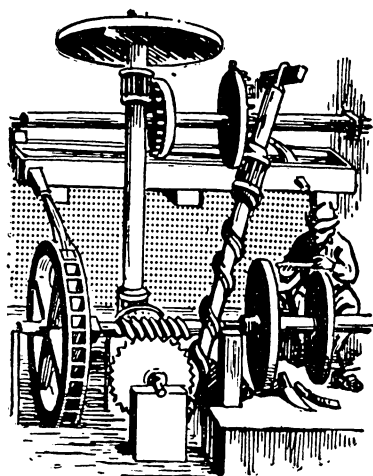


Рис. 93.

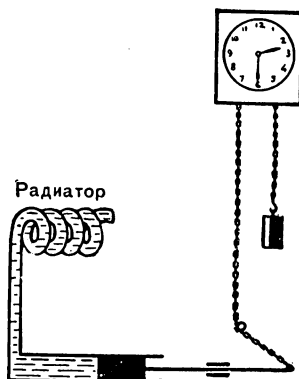


Рис. 94.

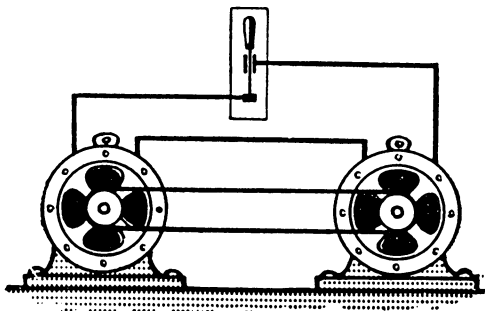


Рис. 96.

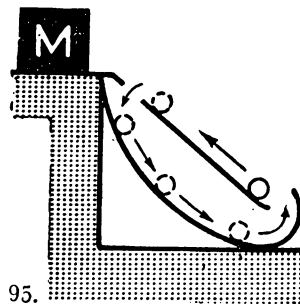


Рис. 95.



Рис. 97.

9. Радиометр. В баллон с разреженным воздухом помещена вертушка из легких алюминиевых крылышек. С одной стороны крылышки покрыты черной краской (рис. 97). Если недалеко от этого баллона поставить источник яркого света или сильно нагретый предмет, то вертушка начнет вращаться. Можно ли радиометр назвать вечным двигателем?



Рис. 98.

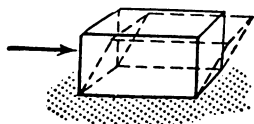
10. Спинтарископ. Дно короткой трубки представляет экран, покрытый сернистым цинком — веществом, светящимся от удара альфа-частиц (рис. 98). Близ экрана укреплена игла, на острие которой находится небольшое количество вещества, испускающего альфа-частицы. Наблюдатель, смотрящий через окуляр (при полной темноте), на экране увидит частые вспышки. Ни днем, ни ночью не прекращается эффектное зрелище, напоминающее салют в небе. Бесспорно, что описанное явление сопровождается выделением энергии. Но можно ли назвать спинтарископ вечным двигателем?



## ДЕВЯТЫЙ ВАЛ

Больше всего я люблю море. Иногда оно совершенно спокойное, его поверхность ровная, гладкая, как стекло. Много раз я стоял на берегу и бросал камешки в воду. Интересно наблюдать, как разбегаются круговые волны. В Москве, в школьном физическом кабинете, мы много трудились над изготовлением водяной ванны для демонстрации волн. Стенки ванны должны быть пологими, иначе отражение волн от стенок испортит наблюдаемую картину. А затем придумали и смастерили приспособление для одновременно появляющихся, «когерентных» волн. Только тогда мы смогли наблюдать интерференцию волн.

В ветреную погоду ветер нарушает равновесие морской поверхности, и тогда можно видеть плоские, фронтальные волны. Кажется, будто море



надвигается на берег, но это неверно. Частицы воды только колеблются около некоторых центров, поступательного движения частиц нет, но распространяется движение, передается энергия. Не перемещаются же по ржаному полю колосья, «когда волнуется желтеющая нива», они только наклоняются и снова выпрямляются. Мы учили, что волны бывают поперечные и продольные. Когда частицы колеблются поперек направления распространения волны, такая волна называется поперечной. Вспоминаю опыт с резиновой трубкой. Один конец трубки был закреплен на стене. Другой конец трубки учитель держал в руке, стоя у противоположной стены. Когда учитель встряхивал этот конец трубки рукой, импульс распространялся, бежал от руки до стены. Если встряхивать трубку непрерывно, то по трубке побегит цуг волн (рис. 99).

Оказывается, поперечные волны возможны только в твердых телах, так как при поперечной волне изменяется форма тела, происходит деформация сдвига (рис. 100).

Другой вид волн — продольные. В продольной волне частицы колеблются вдоль направления распространения волны, образуя ряд сгущенных и разреженных слоев. Так, например, распространяется звук в воздухе.

В жидкостях и газах частицы очень подвижны, и упругой деформации сдвига в них быть не может. Продольные волны связаны с изменением объема и плотности, вызываются сжатием и растяжением. Поэтому в жидкостях и газах возможны только продольные волны. В твердых телах продольные волны тоже возможны; например, при ударе молотком по зубилу энергия передается вдоль оси зубила (рис. 101).

А как же быть с морскими волнами? Они ведь тоже поперечные: брошенная на поверхность волны пробка поднимается вверх и опускается вниз, а волна идет к берегу. Значит, и на воде могут быть поперечные волны? Поперечными эти волны можно назвать лишь приблизительно. Колебания частиц здесь не прямолинейные, а круговые. При

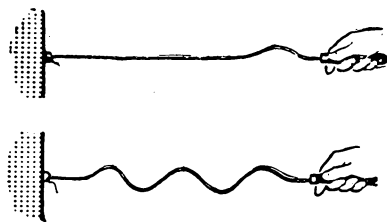


Рис. 99. Вверху — волна от одного импульса, внизу — цуг волн.

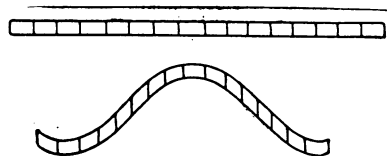


Рис. 100. Деформация сдвига при поперечном колебании.

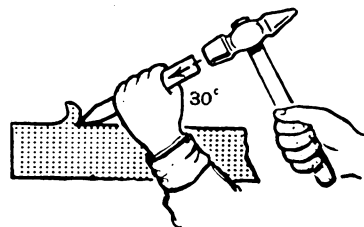
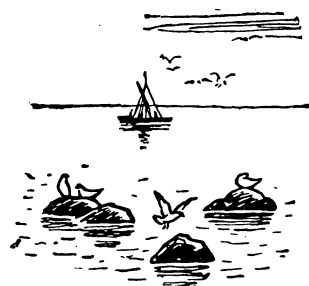


Рис. 101.



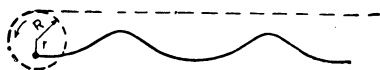


Рис. 102.

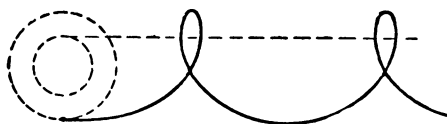
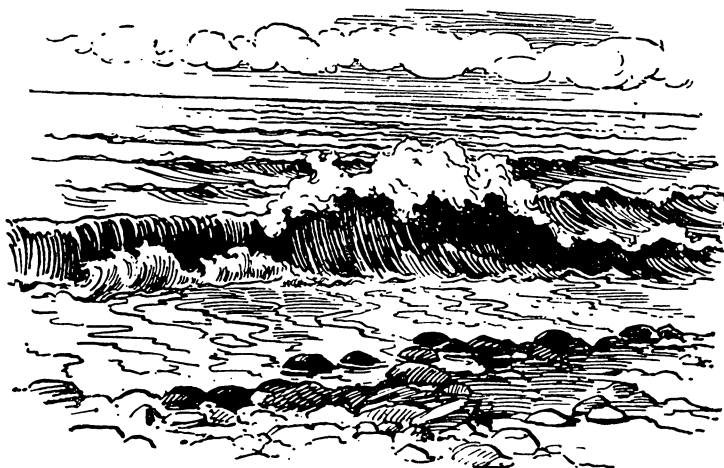


Рис. 103.

больших же амплитудах частицы движутся и по более сложным траекториям. Поэтому большие волны выбрасывают на берег плавающие на них предметы.

Волны на поверхности воды представляют собой сочетание двух движений: кругового движения частиц воды и переноса профиля волны вдоль распространения волны. Если волна движется слева направо, то водяные частицы движутся против часовой стрелки.

Вырежем из картона круг радиуса  $R$  и проколем в нем отверстие на расстоянии  $r$  от центра. В это отверстие должен проходить кончик остро очиненного карандаша. Будем теперь катить кружок без скольжения вдоль приложенной сверху линейки и делать карандашом отметки через прокол (рис. 102). Тогда на подложенном под прибор листе бумаги получатся точки кривой линии, которая в математике называется трохоидой. Если  $r=R$ , то получится циклоида, а если сделать ступенчатый шкив из двух шкивов разного диаметра и малый шкив катить по линейке, то кривая, описанная точкой, находящейся от центра дальше  $R$  (радиус качения), получится петлеобразной (рис. 103). Вообще говоря, высота волны бывает меньше  $R$ , и водяные волны приближаются к трохоиде без петель. Только при сильном ветре или на неглубокой воде высота волны может стать больше радиуса качения, и тогда образуются пенистые гребни. Это мы и наблюдали на море. Волны вдали от берега шли гладкие, а приближаясь к берегу, образовывали гребешки. На Рижском взморье это особенно хо-





рошо заметно (при слабом ветре), так как у берегов море очень мелкое. При сильном ветре барашки видны и далеко в море.

Давление, вызванное ударом океанских волн, может достигать

$70 \frac{T}{м^2}$ . Во время шторма средней силы количество энергии, переходящей из одной формы в другую, соответствует сотням, а может быть, и тысячам атомных взрывов. Для получения искусственного шторма потребовалось бы взрывать по одной атомной бомбе в секунду. Ученые, конечно, найдут способы использовать это огромное количество стихийной энергии.

Почему самым страшным считается девятый вал? Я пробовал считать, какая волна по порядку имеет наибольшую высоту, но счет не сходился. То это была седьмая, то десятая волна. Помню, в музее я долго стоял перед картиной Айвазовского «Девятый вал». Становилось страшно. Вся верхняя часть картины наполнена фиолетово-розовой мглой, пронизанной золотом низко стоящего солнца и клубящихся, распыляющихся, похожих на горящий туман облаков. Под ними хрустальное, зеленовато-синее море, высокие бурные гребни которого переливаются всеми цветами радуги. На корабельной мачте среди волн, единственном уцелевшем обломке затонувшего корабля, кучка гибнущих людей... Что же это такое, девятый вал? Миф? Или есть физическое объяснение этому грозному явлению?

Оказывается, число девять действительно заимствовано из древнегреческой мифологии. Образование же «девятого вала» — это результат сложения крупных волн, по длине лишь немного отличающихся одна от другой. Это, как мы знаем из физики, приводит к биениям (рис. 104). Вовсе не обязательно при этом, чтобы наибольшей высоты получалась девятая волна после восьми промежуточных, это может быть и восьмая и десятая волна и т. д. Подробнее об этом можно прочитать в книгах В. В. Шулейкина «Физика моря» и «Дни прожитые». Поэт, композитор, влюбленный в море физик описывает в книге «Дни прожитые» свою жизнь, свой путь становления ученого, описывает свои дальние плавания в Арктику на экспедиционном судне «Персей», экзотику южных морей, встречи со знаменитыми учеными Жуковским, Лазаревым, индийским физиком Раманом и многими другими.

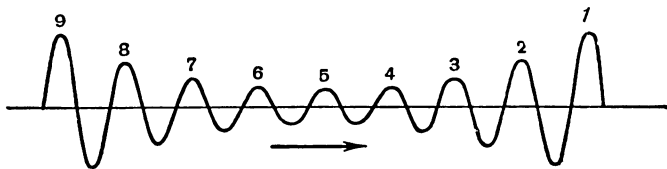


Рис. 104.



## МАЯТНИК — ЭТО НЕ ТОЛЬКО В ЧАСАХ

Всюду в нашей жизни мы встречаемся с колебательными движениями, начиная от качаний маятника, колебаний рессор и сотрясений кузова автомобиля или вагона поезда до страшных, разрушительных колебаний коры нашей планеты. Фабричные трубы и высокие здания колеблются под действием ветра, подобно полотну ножовки, зажатому одним концом в тисках. Правда, такие колебания не так уж велики. Амплитуда колебаний вершины Эйфелевой башни в Париже (высотой 300 метров) при сильном ветре около 50 сантиметров.

Колебания! Наш взгляд падает на маятник стенных часов. Неугомонно спешит он то в одну, то в другую сторону, своими ударами как бы разбивая поток времени на точно размеренные отрезки. «Раз-два, раз-два», — невольно повторяем мы в такт его тиканию. Качание влево и обратно вправо, в исходное положение, составляет полное колебание маятника, а время одного полного колебания называют периодом колебания. Число колебаний тела в секунду называется частотой колебания.

Изучение колебаний начинается с изучения движения простого нитяного маятника, который вы легко можете изготовить, подвесив небольшой металлический шарик на нитку (рис. 105). Уменьшая мысленно размеры шарика до материальной точки, а нити приписывая идеальные свойства: невесомость, абсолютную гибкость и отсутствие трения, мы приходим к теоретическому, так называемому «математическому маятнику».

Период колебания маятника выражается формулой:  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ , где  $l$  — длина маятника,  $g$  — ускорение свободного падения. Ни масса маятника, ни угол отклонения от положения равновесия в эту формулу не входят, так как период колебания маятника от них не зависит.

Как объяснить движения маятника, которые повторяются с одним и тем же периодом и могли бы продолжаться вечно, если бы маятник не встречал сопротивления движению в виде трения и не совершал бы работы, преодолевая это сопротивление. Очевидно, движение маятника происходит за счет сообщенной ему энергии. Когда мы отводим маятник от вертикаль-

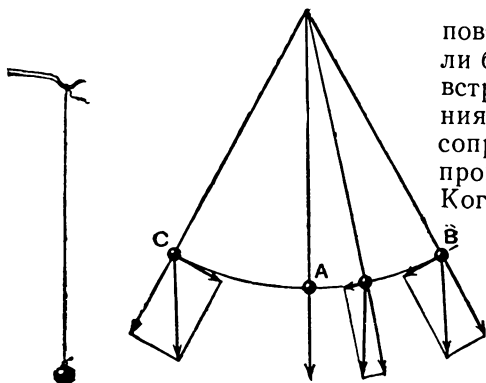


Рис. 105.

Рис. 106.

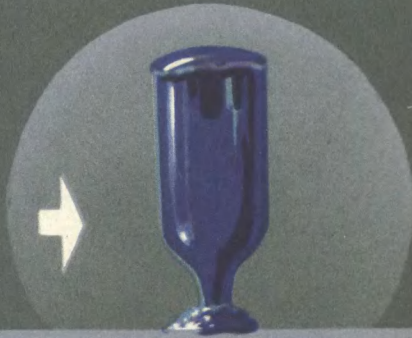


Таблица 11. Природные самоцветы

Образцы природных самоцветов в горной породе: 1 — гранат, 2 — изумруд, 3 — аквамарин, 4 — тигровый глаз, 5 — лабрадорит.

Внизу таблицы вы видите искусственно полученные («бульки») рубин и сапфир, которым гранильщик может придать любую форму.



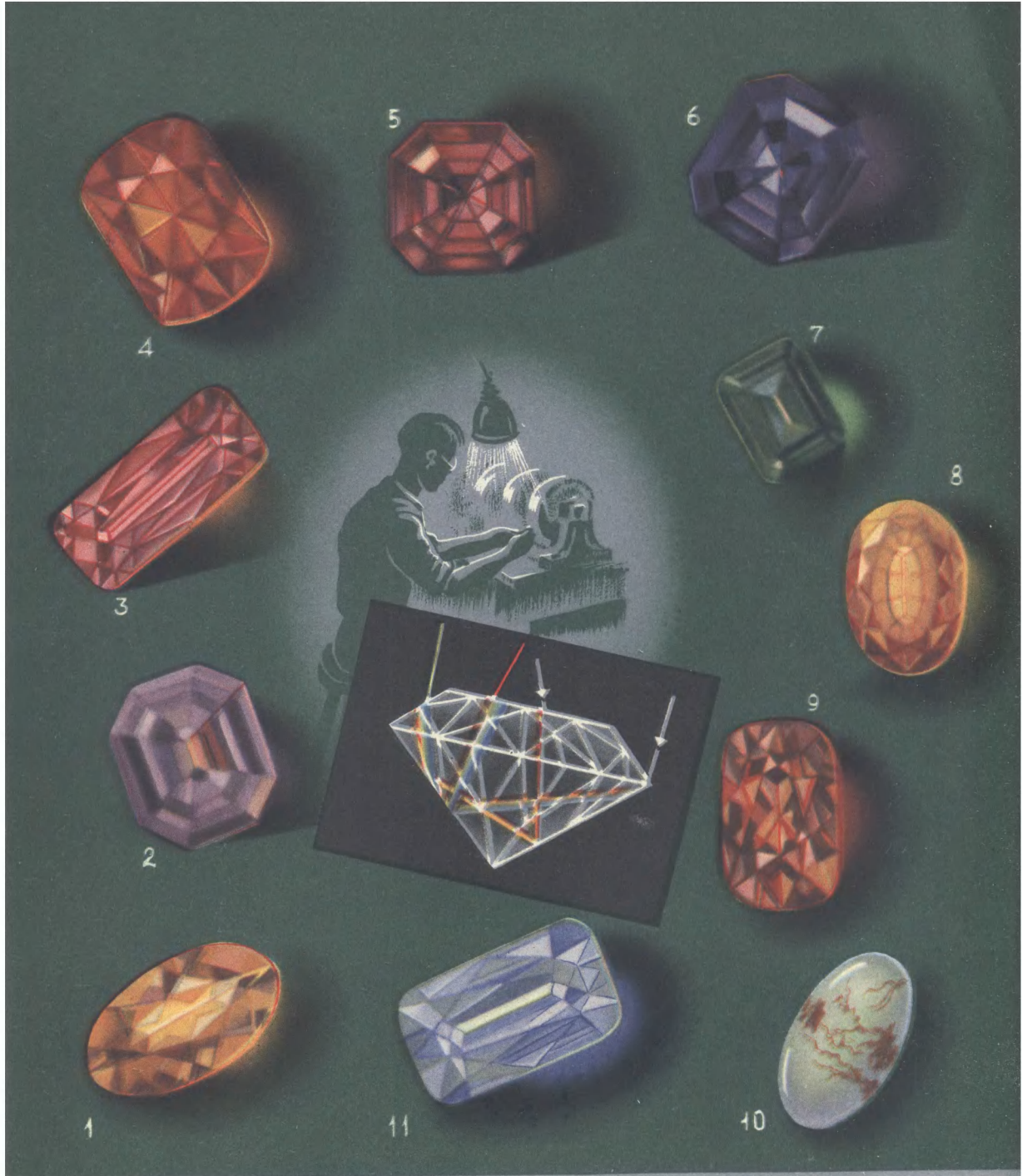


Таблица 12. Граненые самоцветы

Благородный камень, граненный правильно, сверкает. Неправильно граненный камень «мертв». Огранка зависит от природы камня. Полюбуйтесь изображенной на рисунке ювелирной работой шлифовальщика самоцветов: 1 — золотой берилл, 2 — аметист, 3 — турмалин, 4 — шпинель, 5 — рубин, 6 — сапфир, 7 — изумруд, 8 — топаз, 9 — александрит, 10 — бирюза, 11 — аквамарин.

ного положения, то сообщаем ему некоторый запас потенциальной энергии. Когда маятник опускается из точки *B* в точку *A* (рис. 106), потенциальная энергия, запасенная при подъеме, переходит в кинетическую. Скорость маятника увеличивается, но не равномерно, потому что сила, сообщающая ускорение, уменьшается. В точке *A* скорость маятника будет наибольшей, поэтому маятник не может остановиться в этой точке, по инерции он будет продолжать движение. Поскольку шарик привязан к нити, то подниматься в точку *C* он будет по дуге окружности. Высота подъема равна высоте опускания маятника. Это подметил еще Галилей в своем опыте, известном под названием «маятник Галилея» (рис. 107). Вбив по одной вертикальной линии, проходящей через положение равновесия маятника, гвоздики на различной высоте и пуская маятник, он подметил, что, обогнув гвоздик, маятник поднимался вправо на такую же высоту, с какой был опущен.

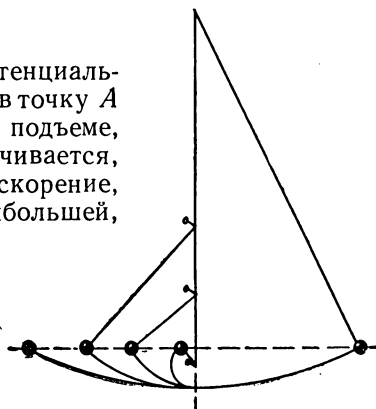


Рис. 107.

Колебания маятника—пример на закон сохранения энергии.

Колебания маятника—это гармонические колебания.

Что такое гармонические колебания, попробуем выяснить на опыте.

Подвесим воронку, склеенную из плотной бумаги и наполненную сухим, просеянным через частое сито песком, как показано на рисунке 108. Под воронку положим длинную полосу картона, покрашенную в черный цвет. Пустив воронку качаться, как маятник, будем двигать картонную полосу равномерно в направлении, перпендикулярном к плоскости качания маятника. Высыпающийся из воронки песок «запишет» на картоне волнообразную линию, называемую синусоидой. Колебания, происходящие по закону синуса, называются синусоидальными или гармоническими. Происхождение слова «гармонический» уходит в даль веков, в историю древней Греции, к учению Пифагора, искавшего начало всех начал в числах и учившего, что порядок и красота вселенной основаны на числах.

Рассмотрев внимательно синусоиду, образованную на картоне, вы заметите, что песок ложился неодинаковой толщиной; чем ближе к вершине или впадине синусоиды, тем гуще насыпан песок. Это свидетельствует о том, что скорость маятника в этих точках была меньше, обращаясь в нуль в самых верхних и самых нижних точках кривой, т. е. в точках, где маятник менял свое движение на обратное. Среднее положение маятник проходил с максимальной, накопленной во время падения скоростью и потому оставлял тонкий след.

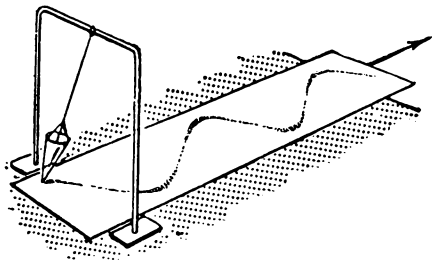
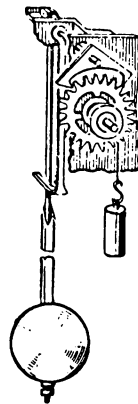


Рис. 108.



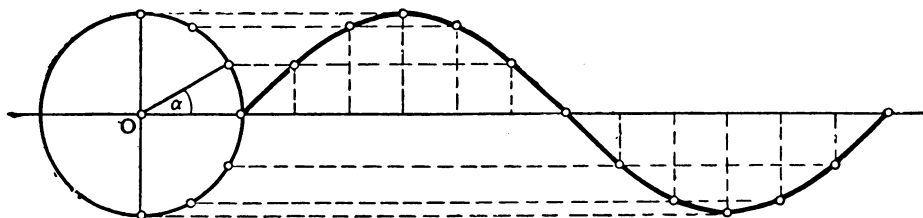


Рис. 109.

Большое значение при изучении колебательных процессов имеет понятие «фазы». Фаза — слово греческое, в переводе на русский язык означает «проявление». В физике этим словом характеризуют стадию (ступень) развития периодического процесса, например: начало его, максимум развития, минимум и т. д. Однако такого определения фазы, как физической величины, недостаточно. Надо знать, как ее можно измерить. Для этого рассмотрим прием графического построения синусоиды (рис. 109). Из точки  $O$  как из центра опишем окружность и на продолжении горизонтального диаметра проведем горизонтальную линию (ось синусоиды). Представим, что по этой окружности равномерно вращается точка. Проекция радиуса вектора, проходящего через последовательные положения точки, дадут нам значения соответствующих ординат точки синусоиды, а угол поворота радиуса вектора при этом, считая от горизонтальной оси против часовой стрелки, будет характеризовать положение точки на окружности, т. е. характеризовать стадию развития процесса. Этот угол называется «фазовым углом» или просто «фазой». На рисунке 110 показаны два маятника: вверху в одинаковых фазах, внизу — в противоположных фазах колебания.

Маятник или другая колебательная система, приведенная в движение и предоставленная самой себе, совершает, как говорят, свободные колебания.

Предоставленный самому себе, маятник будет продолжать качаться, но размахи его, амплитуды колебания, будут становиться меньше и меньше, колебания будут затухать. Следовательно, движение колеблющегося маятника переменное: то ускоренное, то замедленное, но оно и не равномерно переменное. Как видно из чертежа, сила, сообщающая маятнику ускорение, уменьшается по мере уменьшения угла отклонения маятника от вертикального положения. В пружинном маятнике сила упругости растянутой или сжатой пружины непостоянна и сообщаемые маятнику ускорения тоже непостоянны. Такая зависимость ускоряющей силы от величины расстояния колеблющейся точки от положения равновесия является основным признаком гармонического движения. Гармоническими колебаниями называют поэтому колебания, вызванные силой, возрастающей пропорционально отклонению от положения равновесия. Это определение справедливо лишь при неболь-

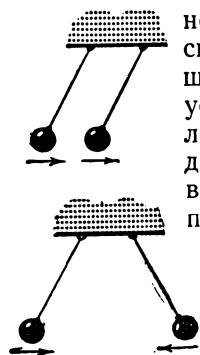


Рис. 110.

ших углах отклонения маятника от положения равновесия.

В практике часто бывает необходимо поддержать колебания, не давая им затухать. Ясно, что для этого придется подводить к колеблющемуся телу энергию извне. В тех случаях, когда система приводится в колебательное движение действием какой-нибудь внешней, изменяющейся по величине силы, мы будем иметь дело не со свободными, а с вынужденными колебаниями. Такие колебания, навязанные системе извне, будут происходить с частотой изменения силы, вызывающей эти колебания. Например, колебания фундамента двигателя являются вынужденными и происходят с частотой колебаний двигателя. Периодические изменения внешней силы, конечно, отражаются на частоте колебаний. Так, записанная на граммофонной пластинке речь или музыка повторяется мембраной патефона, приходящей в колебания с меняющейся частотой, а значит, воспроизводящей звуки различной высоты и громкости. Эти колебания вызваны толчками, которые получает иголка, двигаясь по дорожке звукозаписи. Если у вас есть граммофонная пластинка, то вы можете воспроизвести записанную на пластинке музыку или речь, приставив к равномерно вращающейся пластинке открытку или листок плотной бумаги, как показано на рисунке 111.

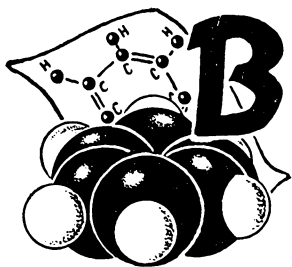


Рис. 111.

В том случае, когда частота изменения внешней силы совпадает с собственной частотой колебательной системы, происходит увеличение амплитуды колебаний этой системы. Так, периодически подталкивая качели, в такт их собственным колебаниям, мы можем очень сильно раскачать их. Такое явление носит название резонанса и имеет огромное значение в технике. Настраивая радиоприемник на определенную частоту, вы приводите его в резонанс с радиовещательной станцией.

Опасные последствия, которые могут быть вызваны резонансом (разрушение мостов, потолочных перекрытий, фундаментов), описаны в любом учебнике физики.

Остановимся еще на одном виде колебаний — автоколебаниях. Так называются колебания, происходящие с собственной частотой колеблющейся системы, но под действием не переменной, а постоянной силы. Когда скрипач равномерно ведет смычок по струне скрипки, струна совершает собственные автоколебания, дающие звук определенного тона. Когда анкер часов своими палетами (зубьями) соприкасается с зубьями ходового колеса, они подталкивают их в направлении движения. В результате маятник колеблется с собственной частотой, зависящей только от его длины.



## МИРЕ МОЛЕКУЛ

### Броуново движение

Броуново движение можно наблюдать в микроскоп в капле разведенной туши. При этом ясно видно, как маленькие частицы сажи (рис. 112), из которой готовится тушь, беспорядочно приплясывая, двигаются в прозрачной жидкости. Это движение служит доказательством существования движения еще более мелких частиц — молекул жидкости, невидимых даже в самые сильные оптические микроскопы. Удары невидимых молекул приводят видимые частицы сажи в заметное движение, подобно тому как легкая зыбь на поверхности моря, незаметная издали, заметно покачивает лодку, выдавая волнение воды. В поле зрения микроскопа было видно много черных кусочков различных размеров. Крупные частицы, получая за некоторый промежуток времени примерно одинаковое число толчков во всех направлениях, не приходят к какому-нибудь заметному движению. Другое дело малые частицы: за короткий промежуток времени они испытывают случайные односторонние удары, отбрасывающие их в сторону.

Чтобы наблюдать броуново движение, надо выбрать мелкие частицы сажи, терпеливо следить за их движением и отмечать на листе бумаги положение этих частиц через равные промежутки времени, например через 30 секунд. Соединив отмеченные точки прямыми линиями, из многочисленных отрезков прямых получим сложную ломаную линию, показывающую беспорядочное движение частицы (рис. 113).

Надо иметь в виду, что действительная траектория частицы еще сложнее, так как в течение отдельных полуминут частица перемещалась не по прямой, а делала множество более мелких движений в различных направлениях.

Существуют и другие доказательства движения молекул — диффузия — проникновение частиц одной жидкости (или газа) между молекулами другой. Даже в твердых телах при длительном соприкосновении их удавалось наблюдать диффузию. Как узнали, сколько молекул содержится в одном кубическом сантиметре газа, каковы размеры молекул, их масса, скорость движения?



Рис. 112.

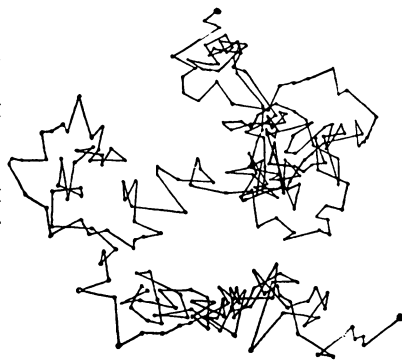


Рис. 113.



Разве это возможно? Молекулы не видны, а их считают, измеряют, определяют их скорости! Посмотрим, что сказано в учебнике:

«Число молекул в единице объема. Размеры молекул.

В мире молекул, или, как принято говорить, в микромире, мы встречаемся с очень большим количеством очень малых частиц. Различными способами (они изучаются в высшей школе) найдено, что в  $1 \text{ см}^3$  любого газа при нормальных условиях ( $0^\circ \text{С}$  и  $760 \text{ мм рт. ст.}$ ) содержится около  $2,7 \cdot 10^{19}$  молекул.

Чтобы представить себе, насколько велико это число, рассмотрим следующие примеры.

Представим себе ампулу емкостью в  $1 \text{ см}^3$ . Допустим, что ампула пуста. Каким-либо образом пробьем в ампуле тончайшее отверстие, такое, чтобы через него в  $1 \text{ сек}$  могло проникать внутрь ампулы по 100 млн. молекул воздуха. Спрашивается, сколько времени понадобится, чтобы таким путем наполнить ампулу до нормальной плотности?

Подсчет показывает, что для этого нужно будет около 9000 лет.

Другой пример. Если взять число кирпичей, равное числу молекул в  $1 \text{ см}^3$  газа при нормальных условиях, то, будучи плотно уложены, эти кирпичи покрыли бы поверхность всей суши земного шара слоем высотой 120 м, т. е. высотой, превосходящей почти в четыре раза высоту 10-этажного дома».

В капельке воды диаметром примерно 0,1 мм содержится  $10^{16}$  молекул, т. е. в миллионы раз больше, чем людей на Земле. Но все же кто и как подсчитал невидимые глазом молекулы?

Как подсчитали число молекул?

Читателей, наверное, тоже интересует этот вопрос. Поэтому дадим некоторое представление о способах определения числа молекул в единице объема. Таких способов около 20. Мы расскажем только об одном, связанном с вышеописанным броуновым движением. Но прежде напомним еще раз картину этого движения. Для тех, кому никогда не приходилось наблюдать его в микроскоп, считаем не лишним привести описание пляски пылинок в воздухе, которые становятся заметными при косом освещении солнцем (рис. 114).

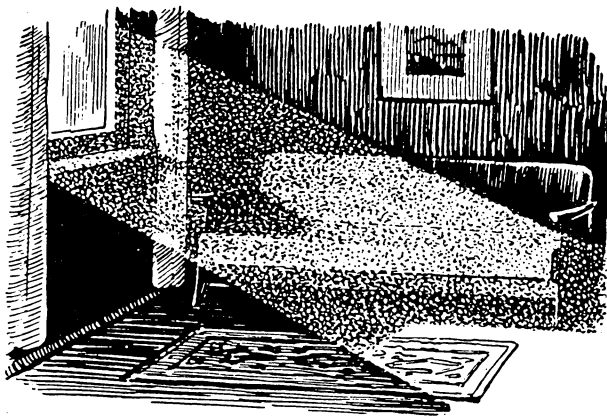


Рис. 114.

Вот как римский поэт Лукреций (II век н. э.) описывает в своей философской поэме «О природе вещей» движение пылинок в солнечном луче:

Вот посмотри: всякий раз, когда солнечный свет проникает  
В наши жилища и мрак прорезает своими лучами,  
Множество маленьких тел в пустоте, ты увидишь, мелькая,  
Мечутся взад и вперед в лучистом сиянии света.

.....  
Можешь из этого ты уяснить себе, как неустанно  
Первоначала вещей в пустоте необъятной метутся.  
Так о великих вещах помогают составить понятия  
Малые вещи, пути намечая для их постиженья.  
Кроме того, потому обратить тебе надо внимание  
На суматоху в телах, мелькающих в солнечном свете,  
Что из нее познаешь ты материи также движения,  
Происходящие в ней потаенно и скрыто от взора.  
Ибо увидишь ты там, как много пылинок меняют  
Путь свой от скрытых толчков и опять отлетают обратно,  
Вечно туда и сюда разбегаясь во всех направлениях.

Конечно это только модель, истинное броуново движение наблюдается для частиц менее массивных, меньших по размерам, чем 0,0004 мм. От движения молекул зависит тепловое состояние тела. Чем оживленнее беспорядочное движение молекул, тем более нагрето тело. Термин «беспорядочное движение молекул» с полным правом может быть заменен термином «тепловое движение молекул».

Вследствие хаотического движения молекулы, разлетаясь во все стороны, должны бы равномерно распределиться в предоставленном им объеме. Почему же воздух, окружающий Землю, не разлетается по всему мировому пространству? Его удерживает притяжение к Земле. Это притяжение нарушает равномерное распределение молекул в мировом пространстве, и если бы не тепловое движение, то все молекулы упали бы на Землю. В результате борьбы этих двух движений — падения вниз и стремления равномерно рассеяться в окружающем пространстве — в атмосфере наблюдается закономерное распределение плотности воздуха. Молекулы собираются гуще в нижних слоях и реже в верхних. Математическое выражение этой закономерности дается довольно сложной формулой, называемой барометрической.

Такое закономерное распределение неизменно, сколько бы времени мы ни наблюдали. Этот закон распределения применим, оказывается, не только к атмосфере Земли, но и к растворам, содержащим множество мелких частичек во взвешенном состоянии. Французский физик Перрен, изучавший броуново движение, производил опыты с эмульсией спиртового раствора смолы гуммигута или мастики в воде. Предварительно жидкость подвергалась многократному центрифуги-

рованию для получения эмульсии, состоящей из очень мелких зернышек одинакового размера (рис. 115). Капля эмульсии помещалась в стеклянную кюветку и рассматривалась в микроскоп через маленькую диафрагму. Тогда в поле зрения можно было пересчитать видимые частицы. Изменяя высоту подвижной части микроскопа, можно получать четкие изображения частиц в разных слоях эмульсии, расположенных на разных глубинах кюветки (рис. 116). В одном из этих слоев и подсчитывались зерна эмульсии. Чтобы исключить случайность распределения частиц, брали среднее значение из нескольких тысяч измерений. Применяя к этому распределению барометрическую формулу, Перрен мог определить число молекул в 1 моле любого газа.

Полученное значение очень мало отличалось от значения того же числа, определенного при помощи других способов. В настоящее время число молекул в 1 моле любого газа считают равным  $6,02 \cdot 10^{23}$ . Это число называют числом Авогадро. Из курса физики и химии известно, что 1 моль газа при нормальных условиях занимает объем 22,4 л. Отсюда легко определить и число молекул в 1 см<sup>3</sup> газа при нормальных условиях:

$$\frac{6,02 \cdot 10^{23}}{22,4 \cdot 10^3} = 2,7 \cdot 10^{19} \frac{\text{молекул}}{\text{см}^3}.$$

Нет, конечно, необходимости объяснять, что найденное число передает только порядок количества молекул, т. е. оно приведено так же округленно, как, скажем, число, показывающее население какого-нибудь города.

А как определили размеры молекул?

«Огромное число молекул, содержащееся в 1 см<sup>3</sup> газа,— читаем дальше в учебнике,— указывает на очень малые размеры самих молекул. Даже в самый сильный микроскоп мы не можем увидеть молекул простого вещества». Примечание внизу страницы: «Современные электронные микроскопы позволяют различить очертания некоторых сложных молекул, состоящих из сотен атомов». Приводим в дополнение

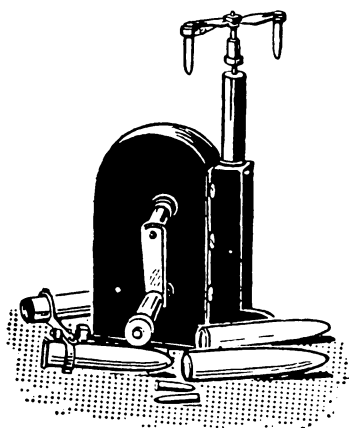


Рис. 115.

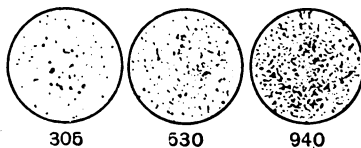
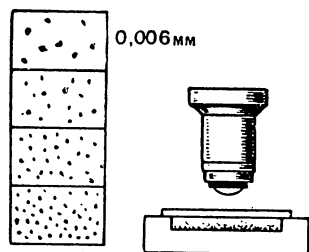


Рис. 116.

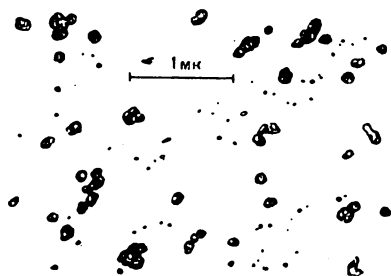


Рис. 117.

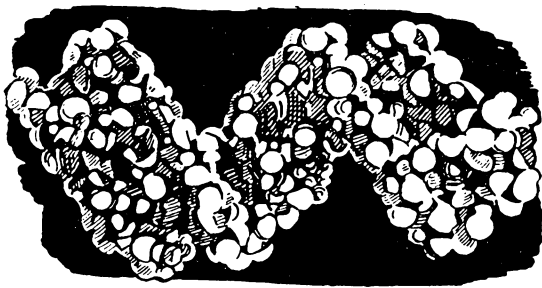


Рис. 118.

к этому примечанию фотографию молекул вируса гриппа, полученную с помощью электронного микроскопа (рис. 117). Каждый из видимых на этой фотографии шариков представляет собой сложную молекулу. Не следует, однако, думать, что молекулы всегда имеют шаровую форму. Строение молекул некоторых веществ очень сложное. На рисунке 118 вы видите объемную модель молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты.

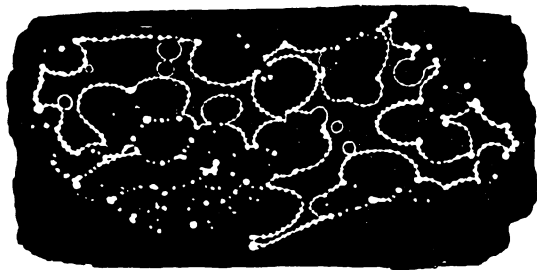


Рис. 119.

Существуют разнообразные способы определения размеров молекул. В учебнике описан один из них: «Если вылить на поверхность воды в каком-нибудь сосуде крошечную капельку масла, она растечется, образовав на воде тончайшую пленку. Как бы ни была тонка эта пленка, она состоит не меньше чем из одного слоя молекул. Определить толщину этой пленки нетрудно. Допустим, что мы вылили капельку масла объемом  $0,001 \text{ см}^3$  на поверхность воды; при этом оказалось, что, растекаясь, капелька масла образовала тон-

кую пленку площадью  $0,5 \text{ м}^2$ , т. е.  $5000 \text{ см}^2$ . Зная объем пленки (равный объему капельки) и величину ее поверхности, найдем толщину пленки:

$$d = \frac{0,001 \text{ см}^3}{5000 \text{ см}^2} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ см}.$$

Поперечник одной молекулы на самом деле еще меньше. Точные измерения и расчет показывают, что диаметр молекул (если принимать их за шары) — порядка двух стомиллионных долей сантиметра ( $2 \times 10^{-8} \text{ см}$ ).

Почему бы и вам не проделать этот опыт?

Возьмите большой таз, налейте в него воды и при помощи пипетки капните маленькую капельку подсолнечного масла на воду (см. цветн. вклейку). Как интересно! Упавшая капля начинает растекаться по поверхности, вокруг центра падения расходятся радужные кольца. Вы только собрались измерить наибольший диаметр расплывшейся масляной пленки, как в различных местах появились разрывы. Их становилось все больше и больше, и скоро вся поверхность покрылась своеобразной мозаикой (рис. 119). Исчезла и радужная окраска.

Попытка повторить опыт, капнув новую каплю, ни к чему не приводит: капли перестали расплываться, радужной окраски тоже нет. Очевидно, незаметный глазу слой покрывает поверхность воды цельной масляной пленкой. Толщина ее соответствует диаметру молекул.

### Как измерили скорость движения молекул

В § 66 учебника физики приведено описание лабораторного определения скорости движения молекул серебра. Такое определение было впервые выполнено в 1920 году Штерном. Опыт Штерна заключается в следующем. По общей оси двух цилиндров, вращавшихся с одинаковой угловой скоростью, была натянута посеребренная платиновая проволока (О), которая накаливалась электрическим током (рис. 120). При температуре  $1200^{\circ}\text{C}$  молекулы серебра испаряются с поверхности проволоки и часть их вылетает через узкую щель, прорезанную вдоль внутреннего цилиндра. На холодной, внутренней стенке внешнего цилиндра частицы серебра осаждались в виде серебряной полоски. Однако за то время, в течение которого частица пролетала расстояние  $s$  между цилиндрами, стенки их перемещались на некоторый угол. Измеряя этот угол, можно подсчитать время поворота внешнего цилиндра, а следовательно, и время  $t$  движения частицы от щели до стенки второго цилиндра. Отсюда легко было определить и скорость молекулы серебра:

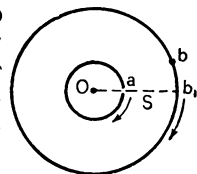


Рис. 120.

$$v = \frac{s}{t}.$$

Измеренная таким способом скорость оказалась близкой к теоретически рассчитанной и для серебра заключалась в пределах от 50 до 625 м/сек. Значение этого опыта состоит в том, что его результаты совпали с результатами, полученными теоретически на основании молекулярно-кинетической теории, таким образом, правильность выводов молекулярной теории подтвердилась.

Ниже приводятся средние скорости молекул некоторых газов и паров, полученные теоретически (при  $0^{\circ}\text{C}$  и 760 мм рт. ст.) в м/сек:

Водород . . .	1692
Кислород . . .	425
Азот . . . .	454
Водяной пар	566

Как видите, эти скорости громадны. Их можно сравнивать лишь со скоростями пуль и артиллерийских снарядов.

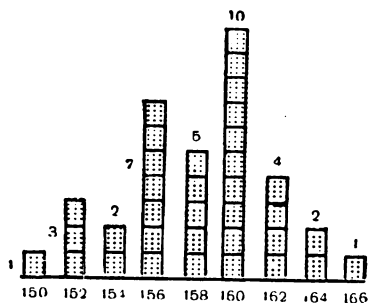


Рис. 121.



Рис. 122.

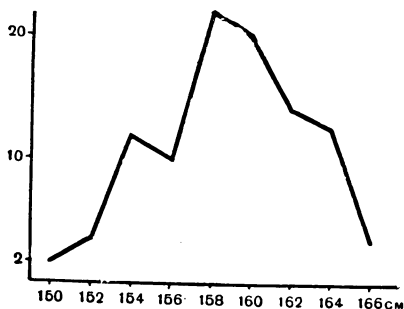


Рис. 123.

## Тепловое движение и статистика

В учебнике приведена таблица распределения числа молекул азота по скоростям при комнатной температуре. Оказывается, приведенные выше числа — это средние скорости движения молекул газов. В действительности же в каждом газе при данной температуре имеются молекулы и более быстрые, и более медленные. В учебнике приведена такая таблица:

Пределы скорости (в м/сек)	Процент общего числа молекул, имеющих скорости в указанных пределах
Меньше 10	1
От 100 до 300	25
» 300 » 500	42
» 500 » 700	24
» 700 » 900	7
Свыше 900	1

Как же рассортировали молекулы на медленные и быстрые? Есть, оказывается, отличительная особенность теплового движения в мире молекул. Этим миром управляют особые законы.

Если рассматривать движение одной молекулы, ее столкновение с другой молекулой, вычислять импульс и энергию частицы, то, разумеется, мы будем пользоваться законами механики. Но при огромном количестве молекул и хаотичном их движении законы механики уже неприменимы. Для мира молекул установили особые, если можно так сказать, коллективные законы. Математически они выражаются в виде статистических законов больших чисел.

Чтобы лучше понять все это, рассмотрим несколько примеров из школьной жизни. Когда вводилась обязательная форма школьной одежды, торговым организациям необходимо было знать наиболее вероятные, т. е. наиболее ходовые размеры костюмов для каждого класса школы.

Для этого воспользовались результатами измерения роста учеников, полученными при медицинских осмотрах. Но в составе каждого класса ученики далеко не одинакового роста. Вспомните «лесенку» выстраивающихся на линейку. Результаты измерений роста учеников одного IX класса таковы:

Рост ученика в сантиметрах	Число учени- ков	Рост ученика в сантиметрах	Число учени- ков
150	1	160	10
152	3	162	4
154	2	164	2
156	7	166	1
158	5		

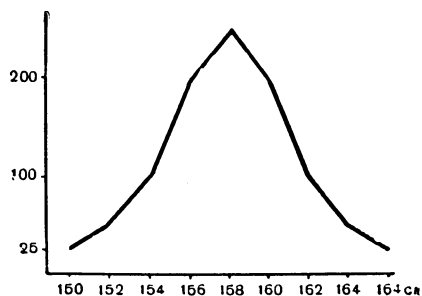


Рис. 124.

Изобразим результаты измерения в виде диаграммы, заменяя числа учеников столбиками равной ширины (рис. 121). Вам, конечно, приходилось составлять подобные диаграммы в младших классах. Столбики мы могли бы не рисовать. Можно было бы начертить график распределения 35 учащихся по росту (рис. 122). Колебания кривой, как видите, получились большие, и закона распределения еще не чувствуется. Если иметь результаты измерений роста учеников нескольких параллельных классов (100 учащихся), то на графике некоторая правильность распределения становится заметной (рис. 123).

При массовом обследовании учащихся, когда число измерений составит несколько тысяч, на графике получается плавная кривая, которую называют нормальной кривой распределения случайных признаков (рис. 124). По нормальной кривой можно судить о границах роста большинства встречающихся случаев. Определенному классу, т. е. определенной возрастной группе, свойственны определенные границы роста для большинства учащихся. Отклонения от этих границ немногочисленны. Так определялись размеры костюмов для школьников.

Примерно так же устанавливаются спортивные нормы, например, в беге, стрельбе, прыжках и пр. для

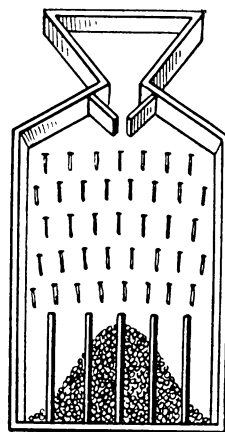


Рис. 125

каждой возрастной группы учащихся. Чем больше учащихся будет обследовано, тем более плавной получится кривая распределения.

Вы можете проделать интересный опыт и смастерить простейшую машину вероятности (рис. 125). Это наклонно поставленная доска, на которую через воронку высыпается дробь (или горох). На пути движения дробинки вбито много гвоздей. В нижней части прибора укреплено несколько параллельных перегородок, между которыми собирается дробь, скатывающаяся по доске. Оказывается, дробинки распределяются по отделениям согласно статистическому закону распределения.

И в мире молекул распределение скоростей подчиняется определенному закону.

Нельзя говорить о температуре или давлении одной или небольшого числа (5, 10 или 100) молекул. Движение одной какой-нибудь молекулы не характеризует свойств газа. Законы тепловых движений не могут быть сведены к законам механики. Тепловое движение представляет собой более высокую форму движения по сравнению с механическим перемещением. Массовость и случайность являются основными условиями для применения статистических законов. Поэтому мы не можем, например, сказать, сколько молекул данного газа в данный момент имеет скорость 454 м/сек, но мы можем говорить, что, вероятно, встретим в данном объеме газа при данной температуре определенный процент молекул, скорость движения которых лежит в пределах от 400 до

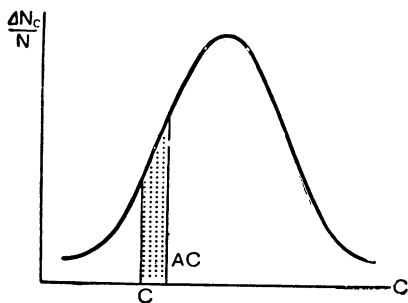


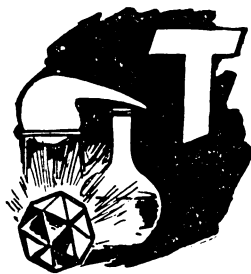
Рис. 126.

500 м/сек. Из курса математики известно, что каждой линии (графику) соответствует свое уравнение. Так, прямой линии графика соответствует уравнение первой степени; окружности, эллипсу, параболе и гиперболе соответствуют уравнения второй степени. Кривая распределения выражает гораздо более сложную зависимость. Формулу, выражающую закон распределения, вывел Максвелл. По формуле Максвелла (с ней читатель познакомится в высшей школе) может быть вычерчена кривая распределения (рис. 126).

Процент, который составляет заштрихованная полоска от всей площади, расположенной под кривой распределения, соответствует числу молекул, имеющих скорость в данных пределах при данной температуре.

Статистические законы распределения применяются в науке, в различных отраслях хозяйства, экономической жизни, вопросах страхования и т. д.





## ВЕРДОЕ, ЖИДКОЕ, ГАЗООБРАЗНОЕ

Множество вопросов об окружающем мире — почему, что такое, зачем? — встает перед человеком с ранней поры его детства. Как ответить на все эти вопросы?

Наука познает строение вещества. На основе этого познания люди, владеющие техникой, научились создавать новые материалы, которые не могла создать природа, причем не вообще новые материалы, а материалы с заданными свойствами. В одном случае этим свойством может быть легкость, в другом — механическая прочность, в третьем — стойкость против коррозии и т. д. Но прежде чем люди научились создавать новое, они познали внутреннее строение вещества.

Успехи, достигнутые в этой области науки, очень велики. Но и перед будущими исследователями остается огромное поле деятельности. Быть может, и вы, юные читатели, внесете свой вклад в науку о строении вещества. Как много еще неясного в окружающей нас жизни!

Вспомним о том, что каждое вещество может быть в трех состояниях: в твердом, жидком и газообразном. Но классификация состояния вещества по сохранению или несохранению формы и объема все меньше и меньше удовлетворяет нас.

Некоторые ученые утверждают, что кристаллическое строение вещества является важнейшим признаком твердого состояния. Поэтому все аморфные (в переводе на русский язык «бесформенные») тела, такие, как стекло, они не считают твердыми.

Вы, вероятно, слышали, что вещество может быть не только в твердом, жидком и газообразном состоянии, но и в состоянии п л а з м ы. Это уже четвертое состояние вещества. Плазмой называется ионизированный газ.

В состоянии плазмы находится газ в светящихся люминесцентных трубках реклам и трубках дневного света. Вещество, из которого состоят раскаленные газообразные небесные тела: Солнце и многие другие звезды, находится в состоянии плазмы.

Но, с другой стороны, открыты звезды, поражающие своей плотностью. Вещество этих звезд состоит из атомов, лишенных электронных оболочек, т. е. из атомных ядер, и поэтому плотность такого вещества может в тысячи раз превышать плотность воды (ядра атомов по размерам в сотни тысяч раз меньше самих атомов). Это новое, видимо, еще неизвестное вам, читатели, пятое состояние вещества.

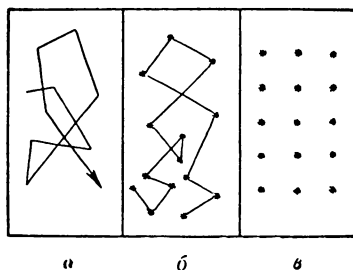


Рис. 127.

Рисунок 127 (а, б, в) поясняет различие между твердым, жидким и газообразным состоянием вещества при нормальном атмосферном давлении. В газообразном состоянии (а) молекулы движутся, почти не испытывая притяжения друг к другу. Сталкиваясь между собой несколько миллиардов раз в секунду, они меняют направление движения.

В жидкости (б) молекулы расположены ближе одна к другой, плотность жидкости больше плотности газа, а поэтому проявление сил взаимодействия между молекулами (притяжение молекул) более заметно. Движение молекул жидкости затруднено. Как трудно бывает нам выбраться из густой толпы людей, так и молекуле, находящейся в тесном окружении других молекул, трудно вырваться из ограниченного пространства. Возникнет случайное разрежение по соседству — молекула проникнет в него, но только для того, чтобы попасть в окружение других молекул и метаться среди них до тех пор, пока не появится новое разрежение.

В твердых телах (в) молекулы находятся еще ближе друг к другу, чем в жидкостях и газах. Силы взаимодействия между молекулами так велики, что энергии движения молекул недостаточно, чтобы преодолеть притяжение соседних молекул. Поэтому молекулы вынуждены совершать колебательное движение. Подобно тому как маятник периодически возвращается к положению равновесия, так и молекулы твердого тела колеблются около некоторых центров.

Могут ли молекулы, между которыми действуют силы взаимного притяжения, сблизиться до полного соприкосновения? Чтобы ответить на этот вопрос, надо вспомнить, что молекула не сплошной твердый шарик. Она состоит из атомов, а атомы в свою очередь устроены довольно сложно. Вокруг положительно заряженного ядра атома обращаются отрицательно заряженные электроны, в простейшем случае — один (атом водорода), а в сложных — свыше ста. Сила притяжения между противоположно заряженными частицами только удерживает стремительно движущиеся электроны на орбите. Электронная оболочка является барьером, преграждающим доступ во внутренний мир атома, и преодолеть его очень трудно.

Поскольку одноименные электрические заряды отталкиваются, то вещество не может слиться в сплошную массу.

Силы притяжения и отталкивания зависят от расстояния между частицами. Эти силы действуют одновременно. На некотором расстоянии  $r_0$  (рис. 128) эти силы уравниваются, и если бы не было теплового движения, то между молекулами все сохранялось бы это расстояние (график вычерчен,

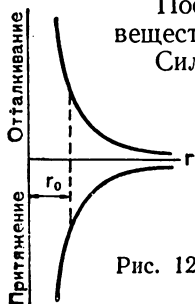


Рис. 128.

конечно, в сильно увеличенном масштабе). При сближении частиц силы отталкивания возрастают быстрее, чем силы притяжения.

При удалении частиц на расстояние, большее чем  $r_0$ , начинают преобладать силы притяжения. На расстоянии  $r_0$  частицы находятся в состоянии устойчивого равновесия.

Зная, как распределяются силы взаимодействия, можно построить график потенциальной энергии частиц (рис. 129). В состоянии устойчивого равновесия частицы обладают минимумом потенциальной энергии (на графике — наибольшая глубина впадины). В самом деле, тело всегда стремится занять такое положение, при котором его потенциальная энергия будет меньшая. Так, в точке *A* тело (рис. 130) находится в неустойчивом положении, а в точке *B* — в устойчивом.

При изменении расстояния между частицами вещества происходят превращения энергии. При уменьшении расстояния между частицами нарушается устойчивое равновесие, при этом производится работа против сил отталкивания, что приводит к уменьшению кинетической энергии частиц до нуля, и тогда начинают действовать силы отталкивания. Так что собственно «удара» одной частицы о другую, подобного удару бильярдных шаров, не происходит, хотя мы и говорим о «столкновении частиц вещества».

Мы рассказывали обо всем этом для того, чтобы помочь нашим читателям избавиться от часто допускаемой ошибки — представлять себе молекулы в виде сплошных шариков. Молекулы имеют сложное строение. Не представляет собой сплошного вещества и атом. Нельзя считать сплошным и ядро.

Если бы ядро было сплошным, то кубик в один кубический сантиметр, изготовленный из ядерного вещества, весил бы несколько миллионов тонн. В окружающем нас мире нет таких ядер. Но в глубинах вселенной астрономы обнаружили очень тяжелые звезды. Атомы вещества, из которого состоят эти звезды, лишены электронной оболочки, поэтому плотность этого вещества исключительно велика. Так, например, плотность звезды Сириус *B* равна  $300\,000\text{ см}^3$ , стакан такого вещества весил бы 60 *T*. Звезда Ван-Манена состоит из вещества, плотность которого в 400 000 раз больше плотности воды. Еще больше плотность вещества недавно открытых гипероновых звезд.

Почему же твердые тела при нагревании расширяются? Объяснение, справедливое для газов, объем которых (при неизменном давлении) зависит от температуры твердого тела, не годится. Встречающееся иногда простое объяснение, в основе которого лежит предположение, что причиной является увеличение размаха колебаний молекул при

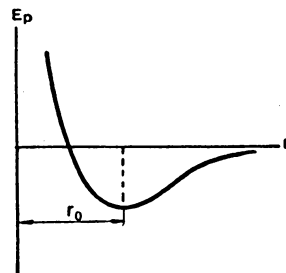


Рис. 129.

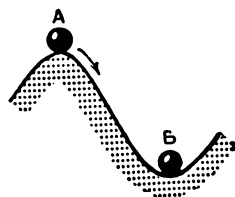
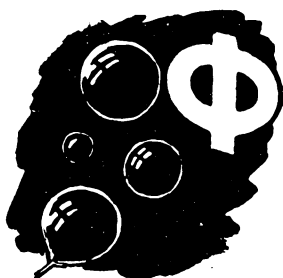


Рис. 130.

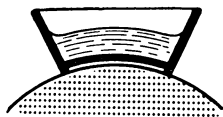
Рис. 131. нагревании твердого тела, тоже бессильно разъяснить его расширение, — ведь как бы ни были велики размахи колебаний двух частиц около двух центров (рис. 131), это не изменит расстояния между самими центрами. Несимметричность кривых притяжения и отталкивания молекул показывает, что силы притяжения и отталкивания меняются по разным законам, и математически можно доказать (мы этого сейчас сделать не сможем), что только вследствие этого при нагревании твердого тела средние расстояния между частицами увеличиваются и тело расширяется.



## ФИЗИКА ПОВЕРХНОСТЕЙ

Для изучения физического явления не обязательно пользоваться дорогими и сложными приборами. Физика скрывается не в блестящих приборах, а в самой жизни, всюду вокруг нас. Надо только уметь узнать ее. Например, за чайным столом можно наблюдать за многими физическими явлениями, и далеко не простыми по существу. Вот на тему о физике поверхностей мы и собираемся побеседовать. И пусть это будет не просто беседа. Попробуйте на собственном опыте проверить все нижеописанные явления. Прибором в данном случае вам будет служить чашка чаю или стакан воды.

Первый взгляд на чай, налитый в чашку, подтверждает известное положение, что жидкость своей формы не имеет, а принимает форму сосуда, в которой она налита: чашки, блюда, стакана. Поверхность жидкости не зависит от формы сосуда, а всегда представляет собой гладкую, как зеркало, плоскость. Впрочем, не совсем так. Форма поверхности жидкости есть форма, концентричная поверхности земного шара. Правда, чтобы подметить это, надо иметь чашку слишком больших размеров (рис. 132). В чашках, которыми мы пользуемся, поверхность налитой жидкости можно принимать за горизонтальную плоскость. Впрочем, и здесь требуется поправка. Приглядитесь внимательно, и вы заметите, что у краев поверхность жидкости приподнята больше, чем на миллиметр, и образует вогнутую форму (рис. 133). Это следствие поверхностного натяжения, причину которого мы сейчас выясним, а пока познакомимся с еще более заметным проявлением того же свойства жидкости.



Земной шар

Рис. 132.



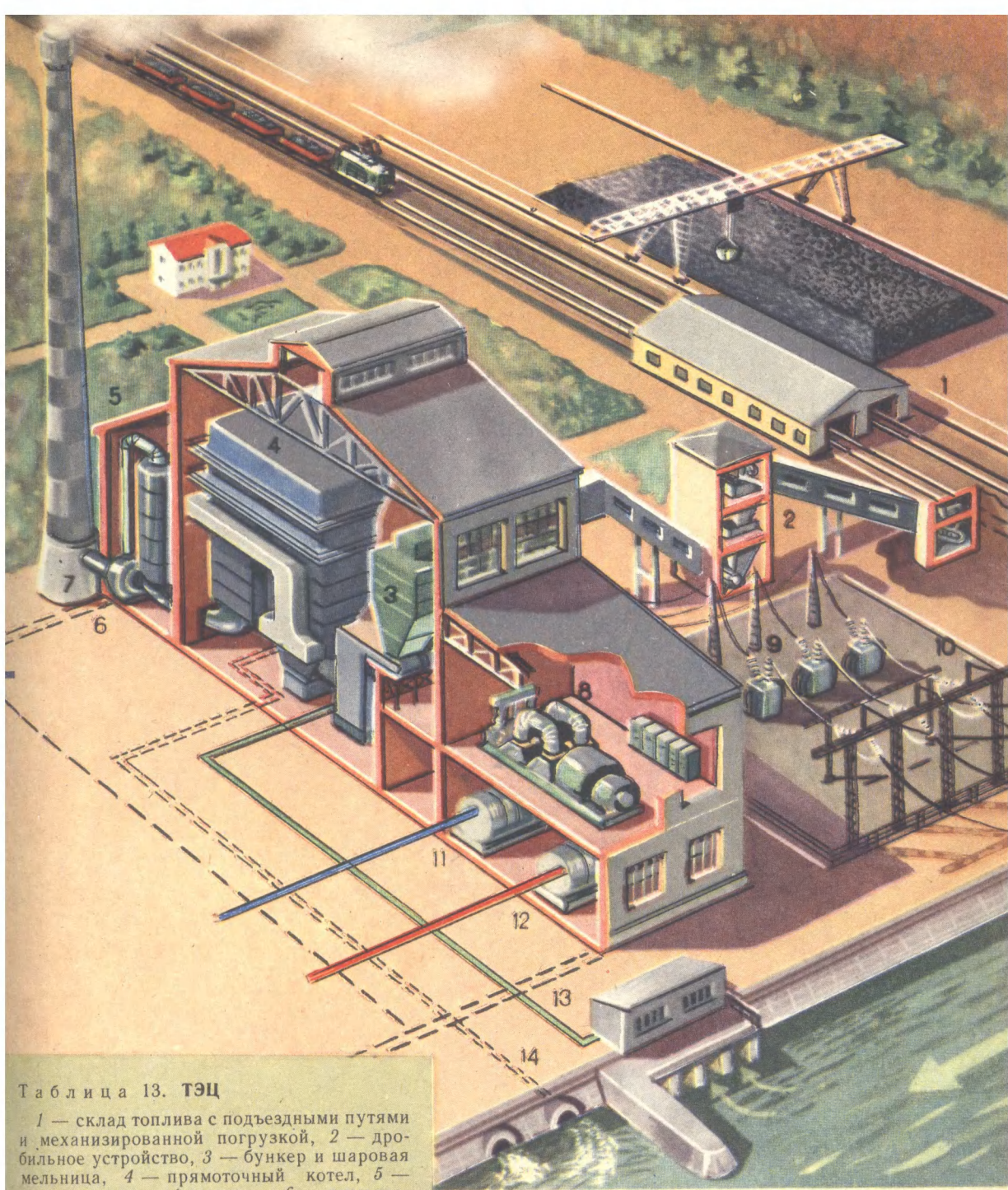


Таблица 13. ТЭЦ

1 — склад топлива с подъездными путями и механизированной погрузкой, 2 — дробильное устройство, 3 — бункер и шаровая мельница, 4 — прямоточный котел, 5 — очистительные фильтры, 6 — дымосос, 7 — труба, 8 — турбогенератор, 9 — повышающий трансформатор, 10 — высоковольтная линия электропередачи, 11 — паропреобразователь, в котором образуется вторичный пар для промышленных целей, 12 — водоподогреватель, из которого отработавший в турбине пар поступает по трубам в виде горячей воды в тепловую сеть для бытовых нужд, 13 — насосная станция, 14 — сброс воды.



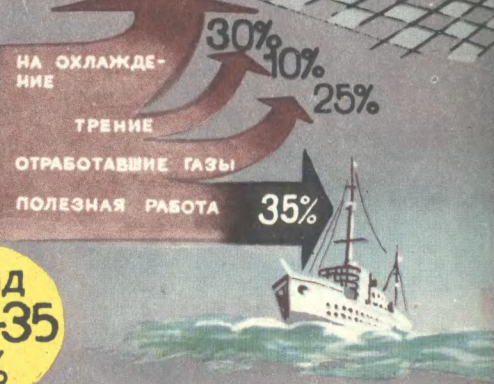
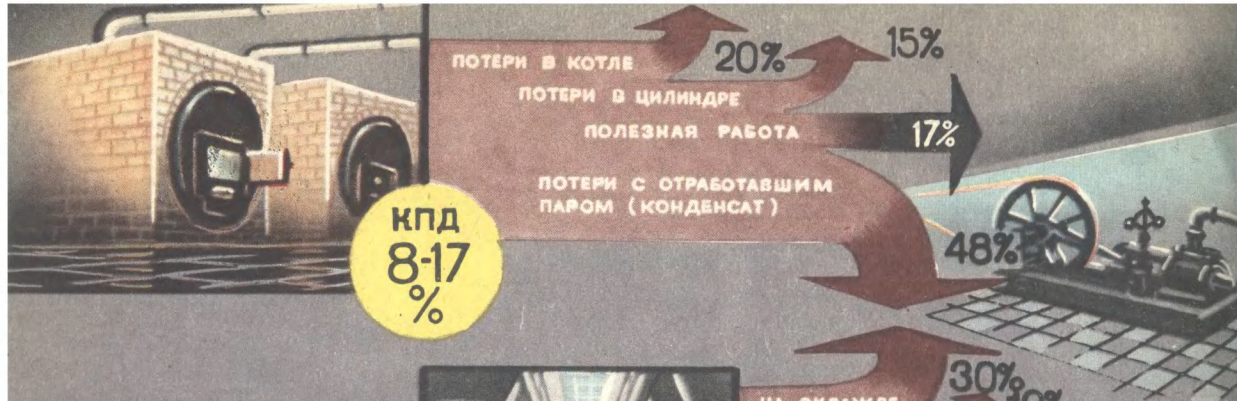
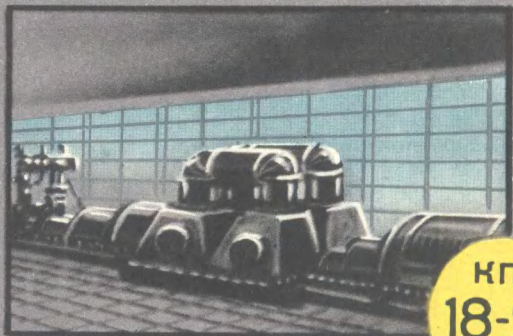
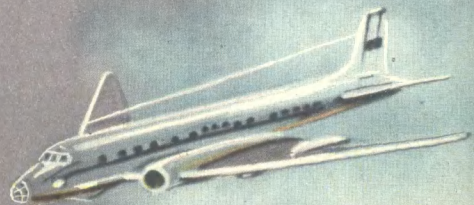


Таблица 14. Коэффициент полезного действия тепловых двигателей

Основное назначение тепловых двигателей — превращение энергии топлива в механическую энергию. Из формулы следует, что для повышения к.п.д. машин необходимо повышать температуру нагревателя и понижать температуру холодильника.



кпд  
18-24  
%



кпд  
30-50  
%

Опустите в чашку чайную ложку. Вы увидите, во-первых, что поверхность жидкости искривлена в местах соприкосновения ложки с жидкостью; во-вторых, что между ложкой и стенкой чашки жидкость поднята по сравнению с уровнем в широкой части (рис. 134), и, чем ближе будет ложка к стенке чашки, тем выше поднимается уровень жидкости в узкой части. Если у вас найдется узкая стеклянная трубочка (рис. 135), то подъем жидкости в ней можно подметить без труда. В трубке диаметром 1 мм вода поднимается на 30 мм. Чтобы узнать, как высоко поднимется вода в трубках других размеров, надо 30 мм разделить на внутренний диаметр трубки в миллиметрах. Так, в трубке диаметром 2 мм вода поднимется на  $\frac{30}{2} = 15$  мм.



Рис. 133.



Рис. 134.

На высоту поднятия оказывает влияние также и температура жидкости. На 30 мм вода поднимется при 0°С. При 80°С она поднимется только на 25 мм. Очень узкие трубки называются капиллярными, от латинского слова «капиллюс» — волос. Оказывается, с повышением температуры жидкости уменьшается поверхностное натяжение ее.

Что же такое поверхностное натяжение? На рисунке 136 в увеличенном, схематичном изображении показан вертикальный разрез жидкости. Между молекулами действуют силы взаимного притяжения, но на расстоянии не больше  $5 \cdot 10^{-8} - 10 \cdot 10^{-8}$  см. Молекулу *a* притягивают окружающие ее со всех сторон соседние молекулы одинаково сильно. В результате эти силы притяжения уравновешиваются, или, другими словами, равнодействующая всех сил молекулярного притяжения равна нулю.

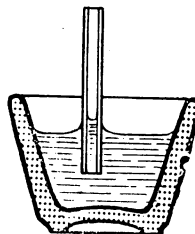


Рис. 135.

Молекулы, находящиеся за пределами сферы радиуса  $10^{-7}$  см (радиус молекулярного действия), практически не действуют на молекулу *a*. Для молекулы *b*, расположенной на поверхности, равновесия молекулярных сил уже нет, и равнодействующая сил притяжения молекулы *b* ее соседними молекулами направлена вниз, в глубь жидкости. Если мы увеличиваем поверхность жидкости, а это попросту означает, что мы поднимаем из глубины на поверхность новые молекулы, то совершается работа против сил, направленных внутрь жидкости. Энергия, затраченная на эту работу, передается молекулам поверхностного слоя, и они обладают добавочной потенциальной энергией. (Не смешивать с потенциальной энергией поднятого тела. Здесь

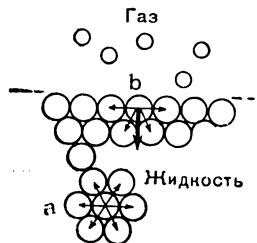
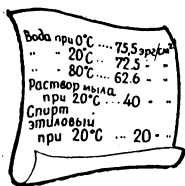


Рис. 136.



Вода при 0°C	75,5 эрг/см
" " 20°C	72,8 "
" " 80°C	62,6 "
Раствор мыла при 20°C	40 "
Спирт этиловый при 20°C	20 "

речь идет не о работе против силы земного притяжения, а о работе против сил молекулярного притяжения.) Это энергетическое состояние поверхностного слоя характеризуется «коэффициентом поверхностного натяжения», или, как иногда говорят, просто «поверхностным натяжением». Поверхностное натяжение выражается в единицах работы на единицу площади и вычисляется, как работа, необходимая для увеличения поверхности на  $1 \text{ см}^2$ . Вот значения этих коэффициентов (см. таблицу на полях).

Можно показать, что из определения поверхностного натяжения легко получить наименование единицы, какое вы встречаете в учебнике ( $\text{дин/см}$ ). Действительно,  $\text{эрг} = \text{дин} \cdot \text{см}$ , поэтому

$$\frac{\text{эрг}}{\text{см}^2} = \frac{\text{дин} \cdot \text{см}}{\text{см}^2} = \frac{\text{дин}}{\text{см}}.$$

Следовательно, поверхностное натяжение можно выражать и в единицах силы на единицу длины.

О какой длине идет речь? Об участке длины границы, по которой жидкость соприкасается с твердым телом (например, стенками сосуда). Поверхностное натяжение показывает, с какой силой поверхностный слой стремится сократить на  $1 \text{ см}$  свой фронт, свои границы. Таким образом, и здесь действует знакомый из механики закон стремления системы к минимуму потенциальной энергии.

Стремление поверхности жидкости сокращаться до возможного минимума можно наблюдать на многих явлениях. Еще Галилей задумывался над вопросом: почему капли росы, которые он видел по утрам на листьях капусты, принимают шарообразную форму? Утверждение, что жидкость не имеет своей формы, оказывается не вполне точным. Собственная форма жидкости — шар. Из всех других геометрических форм шар обладает при данном объеме наименьшей поверхностью. Шар — наиболее емкая форма.

Небольшое количество жидкости легко образует и сохраняет шарообразную форму. Большое количество жидкости не может сохранить шарообразную форму: она изменяется под действием силы тяжести жидкости. Если устранить влияние силы тяжести, то под действием молекулярных сил жидкость принимает форму шара. Например, капли дождя в воздухе имеют форму шара. Во время падения капли все ее частицы движутся с одинаковой скоростью, и потому она не деформируется. Небесные тела, движущиеся в мировом пространстве, тоже имеют шарообразную форму. Условия невесомости искусственно легко воспроизводятся в опыте Плато. Масло (жидкое) наливают в смесь спирта и воды. Удельный вес этой смеси должен быть равен удельному весу масла. Согласно закону Архимеда масло «не падает» вниз под действием силы тяжести, а силы молекулярного притяжения образуют



масляный шар, свободно парящий в смеси. Можно получить шар с диаметром в несколько сантиметров. Если в масляный шар внести на проволоке небольшой диск и вращать проволоку между пальцами, то весь шар придет в движение. При этом он слегка сплющится (как сплюснуты вращающиеся вокруг своих осей планеты). Можно добиться, чтобы от шара отделилось кольцо, подобное кольцу Сатурна. Кольцо это в конце концов разорвется и распадется на несколько небольших шариков.

Впервые этот опыт произвели в 1849 году под руководством бельгийского профессора Плато. Сам Плато не мог любоваться столь эффектным явлением: он совершенно ослеп еще в 1843 году. Поводом, побудившим профессора к этим опытам, был такой случай. Нечаянно он налил в смесь спирта и воды небольшое количество масла, и оно приняло форму шара. Размышляя над этим фактом, Плато наметил ряд опытов, которые и были впоследствии блестяще выполнены его учениками и друзьями. Будучи слепым, Плато продолжал свои интересные исследования.

В своем дневнике по поводу этого явления профессор записал полезное и для вас, будущие исследователи, правило: «вовремя удивляться».

Наблюдать стремление системы к минимуму потенциальной энергии можно и на других простых опытах, прежде всего на мыльных пузырях. Стенка мыльного пузыря, или мыльная пленка, представляет собой двойной поверхностный слой и очень подходит для наших опытов. Если выдуть мыльный пузырь, а потом прекратить надувание, то он станет уменьшаться в объеме, выжимая из себя струю воздуха.

Рамку, изготовленную из проволоки, погрузим в мыльный раствор и вынем. Она окажется затянутой довольно прочной пленкой. Бросим на нее нитяную петельку. Форма петли будет неправильная. Если же спичкой проткнуть пленку внутри петельки, то внешняя часть пленки, стремясь сократиться, растянет нитку в окружность (рис. 137). Так как окружность охватывает самую большую площадь при данном периметре, то уцелевшая часть пленки будет иметь наименьшую площадь, чем при любой другой форме петли.

Поверхностный слой воды имеет такое же свойство, как и мыльная пленка. Но, поскольку образовать в нем отверстие нам не удастся, мы попробуем уменьшить поверхностное натяжение внутри петельки, брошенной на воду. Для этого надо ввести внутрь петельки ничтожное количество жидкости с меньшим, чем у воды, поверхностным натяжением, например спирта, одеколона.

Можно сделать еще такой интересный опыт. Мелко нарезанные бумажки или какой-нибудь порошок (мука, пудра) насыпаем ровным слоем на поверхность воды в стакане. Стоит коснуться поверхности воды проволоочкой (или спичкой), смоченной предварительно одеколоном, и словно чудо произойдет перед вашими глазами на поверхности воды: плавающие кусочки разбегутся от проволоочки. Так сократит свою

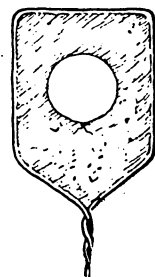
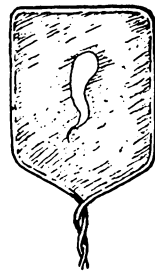


Рис. 137.

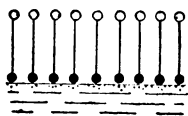


Рис. 138.

поверхность слой чистой воды. Поверхность вокруг проволоки подобна круглой дырке, какую мы наблюдали в мыльной пленке.

Такое же явление можно наблюдать, если коснуться поверхности воды кусочком мыла. Последнее сильно уменьшает поверхностное натяжение воды. Вещества, которые, будучи примешаны к воде, уменьшают ее поверхностное натяжение, называются поверхностно-активными. Молекулы поверхностно-активных веществ представляют собой длинные цепочки из атомов углерода, окаймленные по всей длине атомами водорода. Концы такой цепочки имеют различные свойства (полярность). На одном из них концентрируются кислородсодержащие группы атомов с большой химической активностью. Противоположный конец, наоборот, малоактивен, нейтрален. В результате на поверхности воды молекулы поверхностно-активных веществ, например молекулы мыла, устанавливаются своими активными концами вниз, к воде (рис. 138), подобно поплавку рыболова, который под действием грузила устанавливается вертикально.

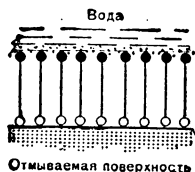


Рис. 139.

Приходилось ли вам мыть посуду, загрязненную жиром? Отмыть тарелку от жира чистой холодной водой трудно. Вода не смывает жирной поверхности. Если чистую воду заменить мыльной, то жир легко отмоется. Поверхностно-активное мыло оттесняет жир, занимает его место на поверхности. Мыло в отличие от жира легко растворимо в воде и легко смывается ею. Действие мыла при мытье объясняется соответствующим расположением молекул, как показано на рисунке 139.

Проделайте еще такой опыт. На поверхность воды, налитой в блюдце, опустите (осторожно) плашмя лезвие безопасной бритвы. Оно будет плавать и даже может принять на себя небольшой добавочный груз (рис. 140). Поверхность этой стальной пластинки покрыта незаметным для глаз слоем жира и не смачивается водой. Если к воде прибавить немного какого-нибудь поверхностно-активного вещества (мыла, спирта, керосина), опыт с лезвием не удастся, лезвие потонет.

В наше время химическая промышленность изготавливает препараты, которые не только заменяют мыло, но и оказываются даже лучше его: они, например, моют в морской воде. Эти препараты называются детергентами. К ним относится стиральный порошок «Новость».

Поверхность твердых тел может притягивать к себе и удерживать газы и пары. Это явление носит название адсорбции. В основе его лежит действие электрических сил

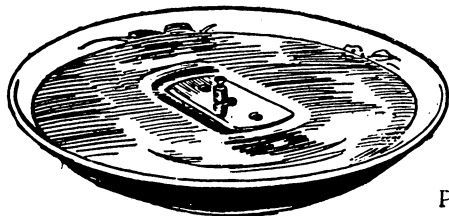


Рис. 140.

у поверхности тела. Подробно рассматривать это действие мы сейчас не будем. Степень адсорбции, т. е. количество поглощаемого газа, зависит как от природы твердого тела, так и газа. Весьма большой способностью адсорбировать газы обладает активированный уголь (мелко раздробленный и освобожденный от смолистых примесей прокаливанием в присутствии водяного пара). Такой активированный уголь применяется в противогазах, созданных академиком Н. Д. Зелинским. Сколько бойцов обязаны своей жизнью бессмертной заслуге Н. Д. Зелинского!

Теперь объясним явление смачивания и несмачивания жидкостями поверхности твердых тел. Рассмотрим поведение молекулы жидкости в месте соприкосновения ее с твердой стенкой. Оставляя в стороне взаимодействие этой молекулы с молекулами воздуха, мы увидим, что на молекулу действуют силы притяжения к молекулам жидкости и к стенке сосуда. В зависимости от того, какая из этих сил больше, будет смачивание или несмачивание. При этом изменяется форма поверхности жидкости, о чем мы упоминали в начале статьи. Найдем равнодействующую сил, действующих на нашу молекулу. В случае смачивания она будет направлена внутрь стенки (рис. 141). Но в таком случае молекула не может оставаться в равновесии на горизонтальной поверхности, как не может оставаться неподвижным на гладкой горизонтальной плоскости шарик, если на него нажимать пальцем с силой, направление которой составляет острый угол с горизонтальной плоскостью. Поэтому и поверхность жидкости искривится так, что равнодействующая молекулярных сил будет перпендикулярна касательной к этой поверхности. Смачивающая жидкость образует у стенки вогнутую, несмачивающая — выпуклую форму поверхности. Только вдали от стенок поверхность жидкости горизонтальна. При достаточно близком расположении стенок друг от друга горизонтальная часть поверхности жидкости совсем исчезает и вся поверхность становится вогнутой или выпуклой, образуя так называемый мениск (луночку).

В капиллярных трубках поверхностное натяжение создает внутри жидкости, под мениском, добавочное давление. Поэтому давление под выпуклой поверхностью больше, под вогнутой — меньше, чем под плоской (рис. 142). Так как давление под вогнутым мениском меньше в капилляре, чем под плоской поверхностью в сосуде, в который капилляр опущен, то смачивающая жидкость поднимается в капилляре до тех пор, пока вес столбика жидкости не уравнивает избытка давления под плоской поверхностью.

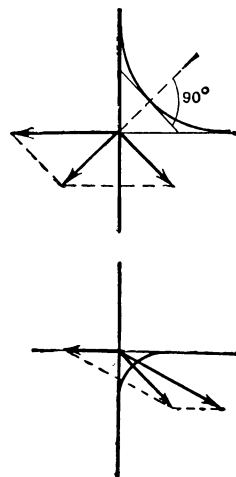


Рис. 141.

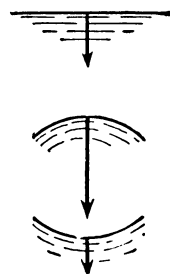


Рис. 142.



## НЕРГЕТИКА КРИСТАЛЛА

Вы любите книги академика А. Е. Ферсмана «Занимательная минералогия», «Занимательная геохимия», «Рассказы о самоцветах» и др.? Александр Евгеньевич Ферсман широко известен не только как выдающийся ученый — минералог и геохимик, но и как замечательный популяризатор геологических знаний. С теплотой, любовью, энтузиазмом ученого-исследователя написаны все его статьи и книги.

Минералогия в представлении Ферсмана — это наука, которой могут позавидовать науки о живых существах: «На ее основе создается самая замечательная техника, получается металл, извлекается строительный камень — словом, строится все наше хозяйство и промышленность». «Я очень хочу вас увлечь, — пишет он в своей «Занимательной минералогии», — хочу, чтобы вы начали интересоваться горами и каменоломнями, рудниками и копями, чтобы вы начали собирать коллекции минералов, чтобы вы захотели отправиться вместе с нами из города подальше, к течению реки, где высокие каменистые берега, к вершинам гор или скалистому берегу моря, туда, где ломают камень, добывают песок или взрывают руду. Там всюду мы с вами найдем, чем заняться; и в мертвых скалах, песках и камнях мы с вами научимся читать какие-то великие законы природы, которые управляют всем миром и по которым построен весь мир».

Взгляните на цветную таблицу «Кристаллы природных самоцветов», посмотрите на таблицу ювелирных изделий из граненых самоцветов: рубинов, сапфиров, аметистов, топазов. Разве не возникает у вас желание понять, как могла возникнуть эта красота, как образуются эти удивительные произведения природы, разве не появится желание поближе познакомиться с их свойствами? Ведь поразительно красивые кристаллы — это не только украшения; они находят разностороннее применение и в технике. Вы, конечно, слышали об алмазном бурении, о применении рубинов в часовых механизмах и измерительных приборах, о кристаллах, применяемых в полупроводниковых приборах. А металлы — этот основной материал современной техники? Знаете ли вы, что все металлы имеют кристаллическое строение? Физик скажет вам, что всякое истинно твердое тело — кристалл. «Почти весь мир кристалличен. В мире царит кристалл и его твердые, прямолинейные законы», — писал академик Ферсман. Давайте же познакомимся поближе с основными законами кристалла.

Правильная многогранная форма прежде всего бросается в глаза наблюдателя, но не она составляет главную особенность кристаллического тела. Кристалл можно разбить на мелкие кусочки, так что не останется и следа от прежней красоты, и все-таки каждый кусочек останется кристаллом. Самое главное в кристалле не наружная его форма, а своеобразие его внутренних свойств. Но прежде обратим внимание на правильность формы кристалла — на симметрию. По выражению нашего знаменитого кристаллографа Е. С. Федорова, «кристаллы блещут симметрией».

Явление симметрии вам знакомо из многих примеров окружающей жизни. Симметрична бабочка (рис. 143). Форма и окраска правого крыла повторяют очертания и рисунок левого. Когда бабочка сложит крылья, эти рисунки совмещаются. Вам, наверное, приходилось забавляться, получая симметричные отпечатки чернильных клякс при складывании пополам листа бумаги. Симметричны снежинки, симметричен всякий предмет своему изображению в зеркале. Если тело симметрично, то оно должно иметь следующие элементы: плоскость симметрии, ось симметрии и центр симметрии. Относительно этих элементов симметрии повторяются одинаковые части фигуры или тела. У шестиугольной снежинки вы легко обнаружите шесть плоскостей симметрии. Сгибая рисунок по любой из линий, изображающих следы плоскости симметрии снежинки, вы совместите друг с другом две половины ее.

Ось симметрии имеет то свойство, что при повороте вокруг нее на некоторый определенный угол соответствующие части фигуры совмещаются друг с другом. Смотря по тому, на какой угол приходится повернуть при этом тело, различают у кристаллов оси 2, 3, 4, 6-го порядка. Например, у снежинок имеется одна ось 6-го порядка (перпендикулярная к плоскости чертежа).

Центром симметрии называется точка внутри тела, на равном расстоянии от которой в диаметрально противоположных направлениях расположены одинаковые элементы тела. Полезно усвоить эти понятия практически на моделях кристаллов (рис. 144, а, б, в, г), изготовленных по прилагаемым выкройкам (рис. 145, а, б, в, г). Показанный на рисунке 146 кристалл при

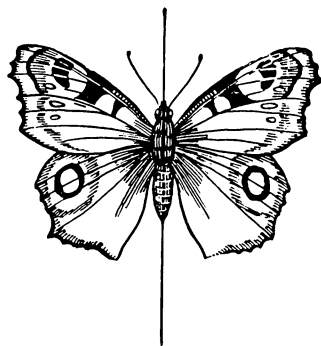


Рис. 143.

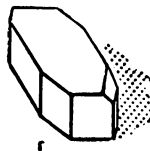
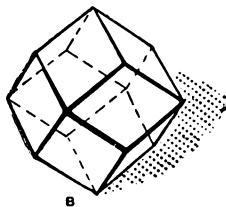
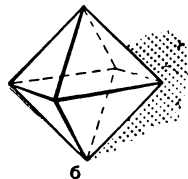
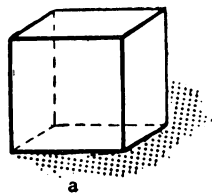
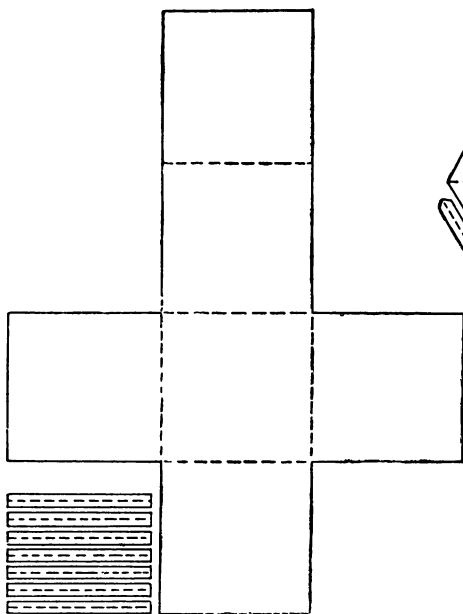
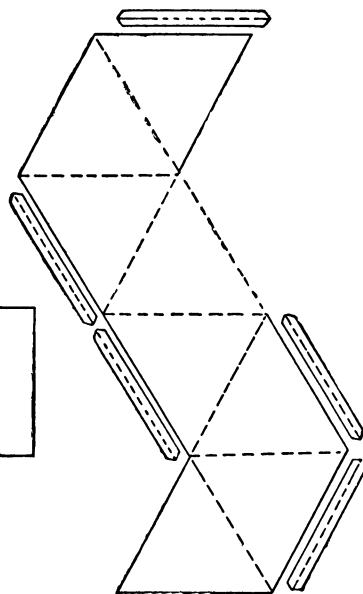


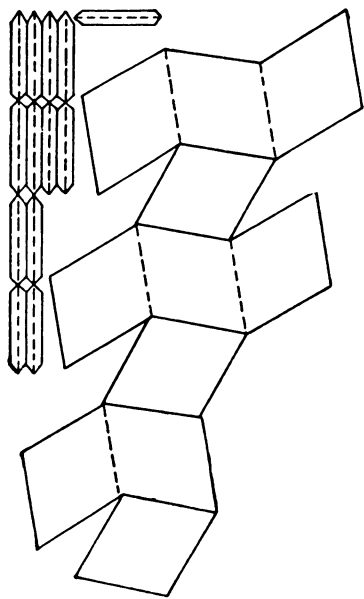
Рис. 144



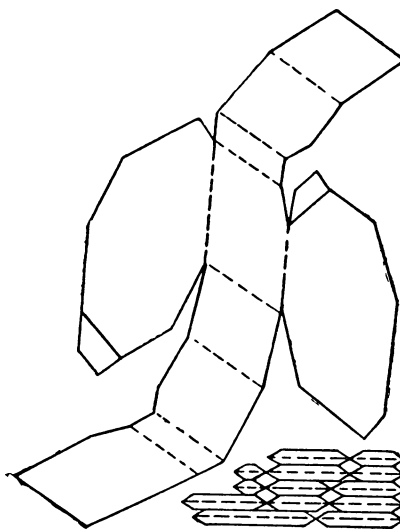
*a*



*б*



*в*



*г*

Рис. 145.

повороте на  $\frac{1}{4}$  окружности совмещается сам с со-

бой. Значит, мы нашли ось четвертого порядка. Куб имеет три оси симметрии 4-го порядка, четыре оси 3-го (соединяющие противоположные трехгранные углы) и шесть осей 2-го порядка (соединяют середины противоположных ребер). Количество плоскостей симметрии в кубе — 9. В кубе имеется еще и центр симметрии. Такое богатство элементов симметрии обеспечивает поразительную симметричность этой формы. В форме куба кристаллизуются каменная (и поваренная) соль, сернистый свинец (свинцовый блек, или галлен). Алмаз находится в природе в виде октаэдров (рис. 144, б), гранат — в виде ромбического додекаэдра (рис. 144, в). На рисунке 144, г показана модель кристалла медного купороса, которую мы приводим как пример кристалла, имеющего только один центр симметрии.

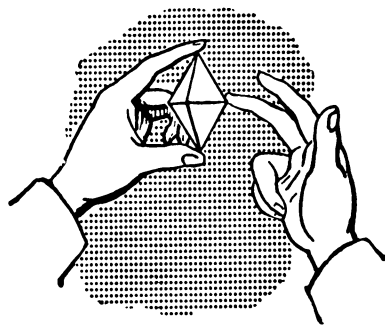


Рис. 146.

Модель кристаллов можно изготовить из картона (при желании и умении обращаться со стеклом или плексигласом можно изготовить более эффектные модели из этих материалов). Чтобы, не портя книгу, перевести чертеж на картон, пользуются калькой или папиросной бумагой. Перевод с чертежа на картон нужно делать аккуратно, тщательно переведенный на картон чертеж аккуратно вырезают ножницами по периметру. По внутренним пунктирным линиям делают неглубокие надрезы (на половину толщины картона). Теперь остается только согнуть выкройку по этим линиям (так, чтобы линии надреза были с наружной стороны) и склеить соприкасающиеся края модели полосками-клапанами.

Вторым шагом в изучении кристаллов будет выращивание их из растворов солей. Можно взять для этого раствор поваренной соли, раствор квасцов, раствор медного купороса. В насыщенный раствор каждой из этих солей погружают маленький кристаллик того же вещества, подвешенный на нитке. Так можно вырастить большие кристаллы. Заимствуем из интересной книги М. П. Шаскольской «Кристаллы» пример того, какого успеха можно добиться в этом при достаточной аккуратности и настойчивости. На Всесоюзной выставке технического творчества пионеров и школьников в Москве в 1955 году демонстрировались два кристалла, выращенные юными химиками Грузии. В течение нескольких месяцев ребята поддерживали постоянными температуру и насыщение раствора. Им удалось вырастить кристалл алюминиевых квасцов весом более полутора килограммов (рис. 147), кристалл медного купороса весом в два с половиной кило-

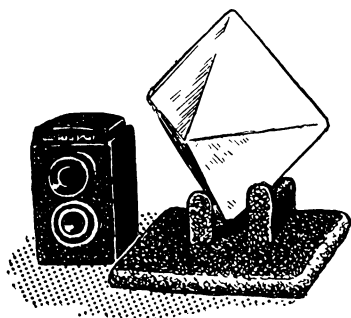


Рис. 147.

От внешней формы кристаллов обратимся теперь к внутренней структуре их. Прежде всего расскажем о строении монокристалла, т. е. образования, представляющего собой единый, целый кристалл. Наши модели являются моделями монокристаллов. Плотные группы мелких, беспорядочно сросшихся кристалликов называют поликристаллами. К последней группе относятся все металлы и их сплавы.

Внутреннее строение кристаллов представляет собой соединение мельчайших частиц вещества — молекул и атомов — в определенном правильном порядке. Как же узнать о внутреннем расположении частиц, ведь они не видны не только невооруженным глазом, но даже и в лучшие микроскопы? На помощь пришли рентгеновские лучи. Просвечивая ими кристаллы, удалось составить точное представление о строении кристаллов. Работами немецкого физика М. Лауэ, английских ученых отца и сына Брэггов и московского профессора Ю. В. Вульфа установлены законы, позволяющие изучать структуру кристаллов.

И вот тут-то и начинается самое удивительное, самое неожиданное для нас. Само представление о молекуле оказывается поколебленным и неприменимым к кристаллическому состоянию вещества.

Возьмем, например, такое обычное вещество, как поваренная соль. Химики установили состав молекулы соли  $\text{NaCl}$ . Но в кристалле атомы натрия и хлора не образуют отдельных молекул, а соединяются между собой в определенную конфигурацию, называемую кристаллической или пространственной решеткой (рис. 148). Связь между атомами хлора и натрия электрическая. Можно представить себе дело так, что один из валентных электронов на внешней оболочке атома натрия внедряется во внешнюю, не заполненную электронами оболочку атома хлора. Ведь в атоме хлора на третьей оболочке расположено семь электронов, а для полного числа их должно быть восемь, как это известно вам из химии. Но в кристалле каждый ион натрия и каждый ион хлора принадлежит не одной молекуле, а всему кристаллу. Атом хлора одно-

валентен, т. е. может присоединить к себе только один электрон. В кристалле он окружен шестью атомами натрия, и нельзя сказать, который из них отдаст ему свой электрон. Электрическая валентность не имеет привилегированного направления. Таким образом, между химическим понятием молекулы  $\text{NaCl}$  и понятием о ней в кристалле

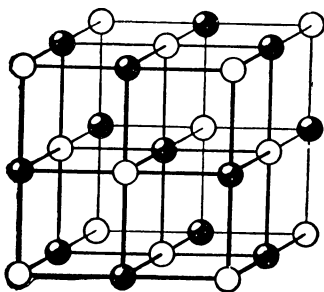


Рис. 148.



получается резкое расхождение. Весь монокристалл — как бы гигантская молекула.

Следует особо предостеречь читателей от ошибки, в которую иногда впадают, рассматривая пространственную решетку как модель кристалла. Решетка — это лишь условное обозначение соединения ионов и атомов в кристалле. Шарики в узлах решетки условно обозначают атомы, а линии, соединяющие их, так же условно изображают силы связи. В действительности расстояние между атомами кристалла значительно меньше и каждый кристалл представляет плотную упаковку составляющих его частиц (рис. 149). Изображение атомов шарами условно. Шар выбран только потому, что он очень хорошо отражает свойства плотной упаковки. В действительности же имеется не только соприкосновение, а иногда и взаимное перекрывание областей отдельных атомов.

В интересной популярной брошюре А. И. Китайгородского «Порядок и беспорядок в мире атомов» приведено такое удачное пояснение сказанного: «Напомним, что представление об атомах как о шарах, правильно отражая одно важное свойство — свойство плотно укладываться в плотные кристаллические упаковки, вовсе не исчерпывает сложнейшей природы атомов и не означает, что атомы — просто твердые шарики. Уподобление атома шарiku означает по существу следующее: вокруг атома, как центра, мы мысленно проводим сферу такого радиуса, что основная часть электронов данного атома попадает внутрь сферы. Вот и получается шар, который служит, как говорят, моделью атома». Отметим также, что и в плотнейших упаковках доля свободного пространства составляет 26% всего объема.

Противоположные электрические заряды, как известно, притягиваются. Когда ядра двух атомов удалены друг от друга больше чем на два диаметра, эти силы притяжения и являются связующими силами в ионных кристаллах типа поваренной соли. Но если бы мы попытались сблизить два атома теснее указанного расстояния, так, что электронные орбиты начали перекрываться, то начнут действовать силы отталкивания однородных зарядов. Правильное пространственное распределение ионов в кристалле соответствует равновесию сил притяжения и отталкивания.

Если существование сил притяжения между ионами с противоположными электрическими зарядами объясняет силы связи в ионных кристаллах (к ним относится большинство солей), то как объяснить соединение одинаковых атомов в кристаллах, например алмаза или графита? Оказывается, и здесь атомы соединяются с помощью электронов. У соседних атомов в этих кристаллах появляются общие, так сказать, «коллективные» электроны, которые обращаются вокруг ядер



Рис. 149.

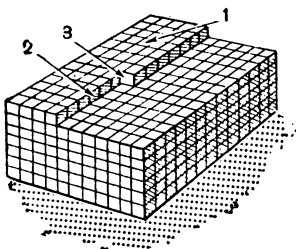
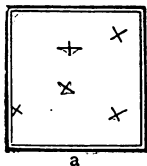


Рис. 150.

обоих атомов. Детальная теория сил при такой связи сложна и относится к области квантовой механики.

В металлах дело обстоит еще сложнее. В этом случае простейшее, но неполное объяснение состоит в том, что металлы, как известно, легко теряют свои внешние электроны и последние, перемещаясь по всему кристаллу, образуют в нем своеобразный «электронный газ». Эти общие для всего кристалла электроны и создают силы, цементирующие решетку. Правда, объяснение это слишком упрощено.

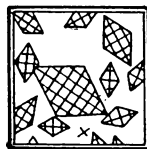
Рассмотрим теперь, как растут кристаллы, чтобы лучше разобраться в их свойствах. Для большей наглядности сравним рост кристалла с постепенным ростом какого-нибудь сооружения из кирпичей (рис. 150). Вот перед нами незаконченная кладка. Если рассматривать каждый кирпич как элементарную ячейку кристалла, то возникает вопрос: куда лучше положить следующий кирпич? Вот здесь-то и выступают на сцену особенности энергетики кристалла. Кирпичик, положенный сверху, 1, испытывает притяжение только снизу; если же его положить рядом со 2-м, то он будет притягиваться с двух сторон; а если положить рядом с 3-м, то он будет притягиваться с трех сторон. Как известно из физики, при переходе из жидкого состояния в твердое выделяется энергия — теплота плавления или кристаллизации. Количества энергии, выделяющейся в случаях 1, 2 и 3, относятся между собой, как 0,06 : 0,18 : 0,87. Следовательно, первый способ кладки является наименее выгодным, так как при этом меньшая доля внутренней потенциальной энергии расплава или раствора переходит в кинетическую (нагревание при кристаллизации). Из механики мы знаем, что для большей устойчивости системы ее потенциальная энергия должна быть минимальной, а в этом случае потенциальная энергия уменьшается значительно меньше, чем при укладке по способу 3. Поэтому сначала достраивается столбик (ряд), потом вся плоскость и только потом начинается укладка новой плоскости. Кристалл растет слоями: пока один слой не достроен, следующий строиться не начинает.



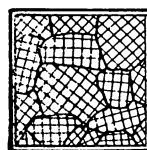
a



б



в



г

Закон минимума потенциальной энергии выражается также в том, что поверхностная энергия кристалла (поверхностное натяжение в расчете на единицу площади) принимает минимальное значение в полном кристалле. Если обломать углы кристалла, то он залечит свои раны и снова примет свойственную данному веществу форму. (Отметим также, что поверхностное натяжение является мерой прочности различных кристаллов: у NaCl оно равно  $150 \frac{\text{эрг}}{\text{см}}$ , у алмаза

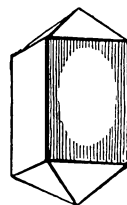
Рис. 151.

11 400  $\frac{эрг}{см}$ .) Впрочем, полная форма кристалла — идеальный случай. В природных условиях она обычно нарушается из-за примесей и соседства других кристаллов. В металлах это особенно резко выражено и приводит к образованию мозаичной структуры поликристалла. На рисунке 151 (а, б, в, г) изображены последовательные стадии роста кристалла металла из расплава. Такое же поликристаллическое строение имеют кристаллы льда в узорах, которыми мороз расписывает зимой стекла наших окон. Обратите внимание, что ледяные иглы в этих узорах ответвляются всегда под одним и тем же углом ( $60^\circ$ ).

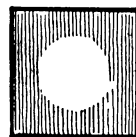
Закон постоянства углов между плоскостями граней — основной закон кристаллографии. Как бы ни был искажен во время роста кристалл, его двугранные углы всегда сохраняют постоянную величину для данного вида кристалла.

Особенности процесса роста кристаллов объясняются и другим важным законом — свойством анизотропии, т. е. неодинаковости физических свойств в различных направлениях. Монокристаллы неодинаково проводят тепло в разных направлениях, неодинаково проводят электричество, обладают неодинаковой прочностью. Слюда, например, легко расщепляется по плоскости, кристалл каменной соли или свинцового блеска ударами молотка раскалывается по граням кубов. Если покрыть ровным слоем парафина грань кристалла горного хрусталя, а потом дотронуться нагретой спицей, то парафин расплавится в виде эллипса, а не в виде круга, как это можно наблюдать на аналогичном опыте со стеклянной пластинкой (рис. 152).

Один и тот же химический элемент, с одними и теми же атомами может образовывать кристаллы разных систем с разными кристаллическими решетками, например алмаз (рис. 153) и графит (рис. 154). Решетка графита как бы разделена на слои, которые легко сдвигаются. Когда вы пишете карандашом, то сдвинутые вами чешуйки графита ложатся в виде черты на бумаге. Алмаз, наоборот, представляет собой образец максимальной твердости среди минералов. Железо образует две кристаллически разные формы: альфа-железо и гамма-железо. На рисунке 155 слева — элементарная ячейка гамма-железа, справа — альфа-железа.



Кварц



Стекло

Рис. 152.

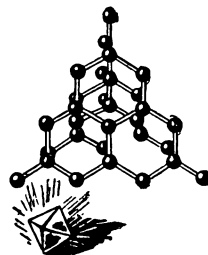


Рис. 153.

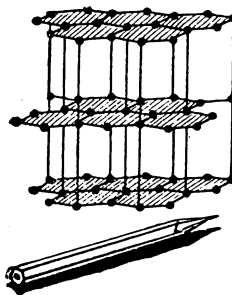


Рис. 154.

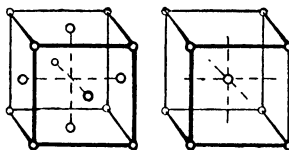


Рис. 155.

Ученые все глубже проникают в тайны строения кристаллов и находят им большое применение в технике. Несметно богат минералами наш Советский Союз. Взгляните на рисунок кучки алмазов (рис. 156), собранных в недавно открытой разработке этого камня в Якутии. Все они будут применены в технике, в промышленности. Гео-

логи-разведчики в горах, в пустынях, в размывах рек находят все новые и новые минералы для использования в народном хозяйстве страны. Сколько юношей и девушек, увлеченных мечтой познать тайны природы, войдут в ряды энтузиастов горной науки! Быть может, и вы?..



Рис. 156.



## РОЖДЕНИЕ КАЛОРИМЕТРИИ

В старину на Руси сведения о погоде записывали так: «1657 год, Генваря, 30-го дня, пятка. День был до обеда холоден и ведрен, а после обеда оттепелен, в ночи было ветрено».

В то время еще не было термометров. Если требовалось отметить температуру воздуха в зимний день, то записывали так: «Мороз мал» или: «Мороз лютый».

Первые термометры появились лишь в начале XVII века. Как не похожи они были на наши, современные! Это можно видеть из рисунка 157, на котором изображен первый термометр Галилея, и рисунка 158, на котором изображен первый медицинский термометр. Но и после появления

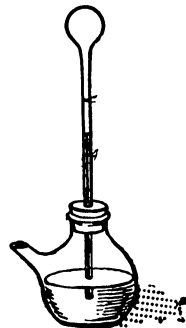


Рис. 157.

первых термометров еще не было введено понятие о градусе, не установлена и начальная точка отсчета температуры.

Первое представление о температуре не было достаточно четким, и не всегда понятие «температура» отличали от понятия, получившего название «количество теплоты».

Перенесемся мысленно на 200 лет назад в Конференц-зал Петербургской Академии наук. 14 декабря 1744 года. На дворе изрядный мороз, оконные стекла покрыты толстым слоем ледяных узоров, но в зале тепло и многолюдно. Присутствует на заседании и Михаил Васильевич Ломоносов. Его коллега и друг, профессор экспериментальной физики Рихман читает доклад на тему: «Размышление о количестве теплоты, которое должно получаться при смешении жидкостей, имеющих определенные градусы теплоты». Доклад начинался так: «Милостивые Государи! После того как 12 октября 1744 г. в академической конференции было прочитано рассуждение преславного Крафта о тепле и холоде, я исследовал остроумно найденную им формулу для количества или градуса теплоты в жидких смесях...»

Рихман имел в виду найденную Крафтом опытным путем формулу для определения температуры смеси двух порций воды:  $x^{\circ} = \frac{11am + 8bn}{11a + 8b}$ , где  $a$  и  $b$  — массы этих порций,  $m$  и  $n$  — их температуры (рис. 159). Рихман показал, что формула Крафта пригодна лишь для небольших порций воды, в противном случае отклонения фактической температуры смеси от расчетной становятся слишком значительными. Рихман предложил свою формулу для определения температуры смеси однородных жидкостей, которая затем перешла в учебники физики под названием «задачи Рихмана»:

$$Q = \frac{c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2}{m_1 + m_2}.$$

Однако Рихман согласно господствовавшей в то время теории теплорода считал, что теплота есть некоторая материальная сущность, «тепловая материя», которая равномерно распределяется в данном объеме.

Следует отметить, что Рихман в отличие от Крафта решил задачу не для двух порций воды, а для любого числа их. Мы привели сокращенную формулу только для двух порций воды.

Но Рихман еще не разграничивал понятия: «температура» и «количество теплоты». Это видно из приведенного вступления к его докладу.



Рихман (1711—1753).



Рис. 158

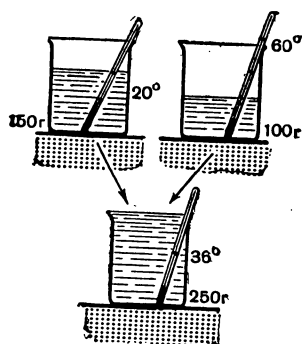


Рис. 159.

Для обозначения и температуры и количества теплоты он применял одно и то же наименование: *Calor* (доклад был написан и зачитывался по-латыни). Не знал Рихман и единицы для измерения количества теплоты. И все же именно работа Рихмана положила начало точным количественным расчетам в области теплотехники. Но, чтобы перейти к этим расчетам, надо было сделать еще один шаг. Этот шаг был сделан английским химиком Блэком (1727—1799).

Не надо удивляться, что столь крупные открытия в области теплоты сделаны химиками Блэком, Дэви и др. Теплород считался в то время химическим элементом.

История науки мало знает таких опытов, как следующий о п ы т Б л э к а. Согласно формуле Рихмана температура смеси двух равных порций одного и того же вещества, взятых при различных температурах, должна равняться средней арифметической между двумя данными температурами. Если температуры равных порций воды до смешения были  $80^{\circ}\text{C}$  и  $0^{\circ}\text{C}$ , то температура смеси должна быть  $\frac{80^{\circ}+0^{\circ}}{2} = 40^{\circ}\text{C}$ , что и наблюдалось на опыте. Но когда Блэк смешал порцию горячей воды при  $80^{\circ}\text{C}$  с равной порцией льда при  $0^{\circ}\text{C}$  (рис. 160), то каково же было его удивление, когда он увидел, что температура смеси (после таяния льда) получилась не  $40^{\circ}\text{C}$ , а  $0^{\circ}\text{C}$ ! «Тающий лед,— писал Блэк,— принимает в себя много тепла, но все действие последнего ограничивается только превращением льда в воду, которая несколько не нагревается против бывшей температуры льда. При этом тепло как бы поглощается водой или скрывается в ней и термометр не обнаруживает ее присутствия».

Процесс плавления льда казался химику Блэку своего рода химической реакцией:

лед + теплород = вода.

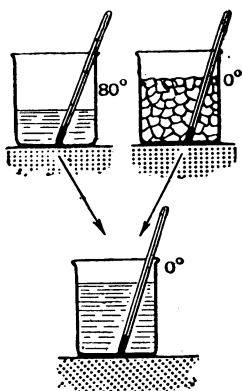


Рис. 160.

Вы испытаете удовольствие и приобретете полезные знания, если повторите этот опыт Блэка, а также проведете следующие опыты.

О п ы т 1. Возьмите два одинаковых сосуда. В один положите лед при  $0^{\circ}\text{C}$ , в другой налейте такое же количество воды при  $0^{\circ}\text{C}$  и по термометру наблюдайте за постепенным их нагреванием в комнате (при температуре воздуха около  $20^{\circ}\text{C}$ ). Если через  $\frac{1}{4}$  часа вода нагреется до  $4^{\circ}\text{C}$  (это зависит, конечно, от массы взятой воды, приведенное время лишь примерное), то





Таблица 15. Применение холода в технике и в быту

Современная холодильная техника достигла больших успехов. В районах производства и заготовки поропорющихся продуктов сооружены гигантские хладокомбинаты. Перевозят пищевые продукты в так зываемых изотермических вагонах. В быту широко распространены домашние холодильники. Холодильные установки используются и для устройства искусственных катков. В таблице одинаковые детали разных холодильных аппаратов обозначены одними и теми же цифрами.



# ПРИЗНАКИ УЛУЧШЕНИЯ ПОГОДЫ

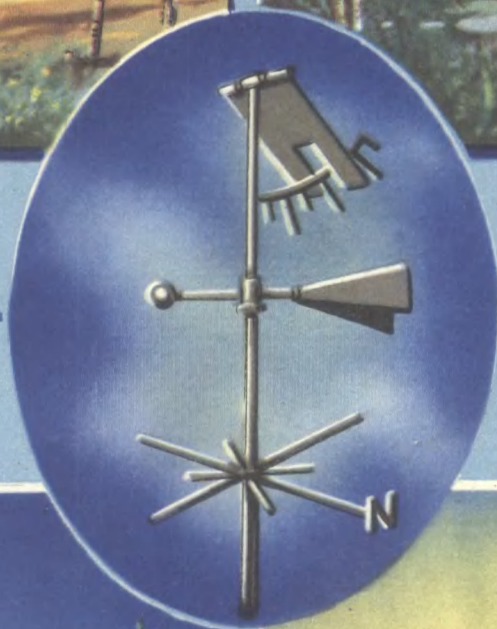


Т а б л и ц а 16.

Кучевые облака движутся в том же направлении, что и ветер.



Ночь безветренная. В лесу значительно теплее, чем в поле. Луна заходит на чистом небе.



Вокруг Луны образуется маленькое гало.

Солнце заходит в сплошной слой перистых облаков. К вечеру усиливается ветер.



# ПРИЗНАКИ УХУДШЕНИЯ ПОГОДЫ



весь лед растает (т. е. превратится в воду при  $0^{\circ}\text{C}$ ) лишь через 5 часов. Подумайте, как на основании этих данных вычислить теплоту плавления льда.

Опыт 2. (По описанию Блэка.) «Я взял два одинаковых сосуда с плоским дном и поставил их на горячую плиту, налив 8 унций (около 1880 г) воды при  $20^{\circ}\text{C}$ . Оба сосуда начали кипеть через  $3\frac{1}{2}$  минуты, и через 18 минут вся вода выкипела». Вычислите теплоту парообразования воды.

Вы можете повторить опыт, пользуясь одним сосудом. Постарайтесь объяснить причину расхождения между величиной теплоты парообразования воды, вычисленной из опыта и приводимой в учебнике физики.

Опыты Блэка со льдом и водой, естественно, подводили к вопросу: не требуют ли различные вещества для нагревания на одно и то же число градусов различного количества теплоты?

В опыте по определению температуры смеси двух порций воды Блэк одну из порций заменил ртутью и установил, что «ртуть обладает меньшей емкостью по отношению к тепловой материи, чем вода».

Блэк точно разграничивал понятия: «количество теплоты» и «температура». Он писал: «Когда мы говорим о распределении теплоты, всегда нужно различать количество теплоты и силу теплоты\* и не смешивать эти две величины».

Название единицы количества теплоты «калория» появилось лишь в 1852 году во Франции. В других странах, где метрическая система распространилась позже, термин «калория» появился тоже значительно позднее. В России термин «калория» стали применять лишь в 90-х годах прошлого столетия, да и то параллельно с русской единицей «количество теплорода», т. е. количества тепла, способного повысить температуру 1 фунта воды на  $1^{\circ}$  Реомюра.

Теория теплорода, ложная в своей основе, сыграла в истории науки и положительную роль: она способствовала развитию учения о тепловых процессах, без чего немислимо и их техническое использование.

Теория теплорода отмерла, но, умирая, она оставила свое ядовитое жало — терминологию. В прошлом прогрессивные термины «количество теплоты», «теплоемкость», «скрытая теплота» уже не соответствуют современному взгляду на тепловые процессы как на изменения внутренней энергии тела. Эти термины препятствуют правильному пониманию физической сущности тепловых явлений. Употребляя эти термины, авторы учебников физики обычно разъясняют их условное значение.

Постепенно и «калория» исчезает из употребления и заменяется другими общепринятыми единицами энергии: джоулями и киловатт-часами.

---

\* По современной терминологии «... и температура».



## ЗИМНИЙ ДЕНЬ НА РЕКЕ ЛАРИГАН

— Сегодня я тебе покажу кое-что, Роберт, чтобы решить наш вчерашний спор. Теплород не существует!

— Доказательства, Гемфри!

— За этим дело не станет. Пойдем со мной на реку! Сегодня я видел на реке новую прорубь и около нее много хороших кусков льда. С ними я сделаю опыт, и ты признаешь мою правоту.

«Ма, я с Робертом пойду на реку!» — крикнул Гемфри, и оба мальчика побежали к реке.

Этот разговор происходил в один из зимних дней 1795 года между 17-летним Гемфри Дэви и его другом Робертом Данкином. Семья Дэви жила в городе Пенсасе.

У проруби Дэви выбрал два подходящих куска льда и стал усиленно тереть один о другой. Вскоре, к его восторгу, из-под трущихся поверхностей льдин закапала вода.

Когда опыт закончили, льдины плотно смерзлись в один кусок.

Несколько лет спустя (в 1799 г.), работая уже химиком в институте пневматики в Клифтоне, Дэви повторил свой опыт в лабораторных условиях. Два бруска льда на железных стержнях при помощи особого механизма очень быстро терлись друг о друга в течение одной минуты. Температура льда была  $-1,6^{\circ}\text{C}$ . Температура воды, образовавшейся в результате плавления льда, оказалась выше температуры окружающего воздуха ( $1,8^{\circ}\text{C}$ ).

Так как тепло извне не поступало, то единственной причиной нагревания поверхностей льдин можно считать только трение. При этом Дэви отмечал, желая отразить возможные возражения, что теплоемкость воды, образовавшейся из льда, больше теплоемкости льда и, следовательно, вода не может рассматриваться как источник тепла, растопивший лед. Действительно, из курса физики нам известно, что удельная

теплоемкость воды равна  $1 \frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot \text{град}}$ , а льда  $0,5 \frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot \text{град}}$ .

Как же объясняет современная физика этот замечательный опыт? Основной причиной трения является неровность соприкасающихся поверхностей. Эти неровности зависят от степени обработки поверхности и от атомно-молекулярного строения вещества. Более точное объяснение дает молекулярная теория.



На рисунке 161 показаны очень хорошо отполированные поверхности при рассматривании их через лупу. Шероховатости поверхности обусловлены молекулярным строением самого вещества (рис. 162). Заштрихованные кружки изображают атомы одного тела, незаштрихованные — другого, скользящего по поверхности первого. Шероховатости, или выступы, препятствуют движению одного тела по поверхности другого. На преодоление этих выступов затрачивается механическая энергия движущегося тела. Эта энергия превращается во внутреннюю энергию тела (см. раздел «Внутренняя энергия»).



Дэви (1778—1829).

При очень большой скорости раскачивания узлов кристаллическая решетка разрушается и твердое тело переходит в расплав, например лед — в воду. Внутренняя энергия расплава больше, чем твердого тела, из которого он образовался. Если даже температура расплава, как это было в опыте Дэви, не повысится, то все же можно сказать, что вода при  $0^{\circ}\text{C}$  обладает большей энергией, чем такая же масса льда при  $0^{\circ}\text{C}$ . Почему?

Внутренняя энергия тела складывается из кинетической и потенциальной энергии молекул тела. Кинетическая энергия зависит от скорости движения молекул и обнаруживается в той или иной степени нагремости тела, а потенциальная энергия обусловлена взаимным расположением частиц тела в пространстве.

Молекулы воды, образовавшиеся после разрушения кристаллической решетки льда и находящиеся на большем расстоянии друг от друга, обладают большей потенциальной энергией\*.

О том, какое количество энергии требуется для того, чтобы расплавить твердое тело, и какое количество ее выделяется из расплава при затвердевании, вы узнали из главы «Рождение калориметрии».

Что же стало с мальчиком Дэви, захотите вы узнать, и чем же кончился спор о теплороде?

Дэви стал знаменитым ученым, профессором химии в королевском институте в Лондоне. Лекции и блестящие опыты принесли Дэви

\* Увеличение расстояния между молекулами воды по сравнению с расстоянием между молекулами льда доказано рентгеноскопическими исследованиями. Кажущееся противоречие с известным фактом расширения воды при замерзании устраняется современными теориями о структуре воды, согласно которым при плавлении льда молекулы воды собираются в более компактные группы, хотя расстояние между отдельными молекулами увеличивается.

Большое участие в исследовании структуры воды принимал английский профессор, известный борец за мир Джон Бернал. Результаты этих исследований изложены им в книге «Вода — удивительное вещество».

Рис. 161.

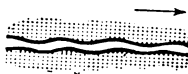


Рис. 162.



всемирную известность и славу. Аудитория, в которой он читал лекции, всегда была переполнена слушателями. У Дэви учился и начал работать М. Фарадей.

Дэви исследовал действие различных газов и газовых смесей на организм, получил металлический калий и натрий электролизом едких щелочей, считавшихся неразложимыми веществами, получил амальгамы кальция, стронция, бария и магния. Дэви установил зависимость сопротивления от длины и сечения проводника и отметил зависимость электропроводности от температуры.

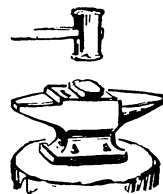
Став впоследствии богатым человеком, Дэви много путешествовал. Богатство и слава увлекли его на путь светской, беспечной жизни, но память о детских опытах в родном Пензасе на реке Лариган не раз возвращала его к повторению опыта плавления льда трением, который он ставил в различных вариантах.

Дэви был противником господствовавшей в то время теории теплорода. Тепловые процессы он объяснял движением микрочастиц тела. Исследования химического и теплового действий электрического тока сыграли немаловажную роль в подготовке к открытию закона превращения и сохранения энергии, окончательно опровергшего теорию теплорода.



## ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ

В механике различают два вида энергии: кинетическую и потенциальную. Но когда говорят об этих видах энергии, то обычно приводят примеры крупных, заметных глазу тел: движущегося поезда, летящего футбольного мяча, поднятого камня. Привыкнув связывать представление об энергии с подобными примерами, довольно трудно бывает перейти к группе явлений мира микрочастиц тела. Однако движение происходит и во внутреннем мире тела. Так, еще М. В. Ломоносов писал: «Нельзя также отрицать движение там, где глаз его не видит. Кто будет отрицать, что движутся листья и ветви в лесу при сильном ветре, хотя издали он не заметит никакого движения. Как здесь из-за отдаленности, так и в горячих телах, вследствие малости частичек вещества, движение скрывается от взоров».



А вот выдержка из трудов Р. Бойля: «Когда кузнец поспешно выковывает гвоздь или какую-нибудь вещь из железа, металл при этом необыкновенно сильно нагревается, и так как здесь, кроме сильных ударов молотка, ничего особенного не происходит, то эти удары приводят частицы железа в движение; железо, будучи предварительно холодным, делается теплым, благодаря внутренним движениям частиц». И дальше: «При вколачивании гвоздя в дерево шляпка его только после большого числа ударов молотка немного нагревается. Но когда гвоздь вбит, то достаточно нескольких ударов, чтобы сильно нагреть шляпку. Действительно, в первом случае каждый удар молотка вгоняет гвоздь в дерево, производя, таким образом, поступательное движение всего гвоздя по известному направлению. Во втором случае, когда движение гвоздя прекратилось, эти удары, не будучи способны ни к тому, чтобы дальше вгонять гвоздь, ни к тому, чтобы разбить его на части, идут только на то, чтобы приводить в движение частицы гвоздя, а это движение и составляет сущность теплоты».

Молекулы и другие частицы тела находятся в движении, т. е. обладают кинетической энергией. Кроме того, известно, что между частицами тела действуют силы взаимного притяжения и отталкивания, т. е. эти частицы обладают и потенциальной энергией. Подсчитать энергию этого беспорядочного движения огромного множества частиц, а тем более учесть потенциальную энергию каждой из них и всех в целом невозможно, однако ясно, что все эти внутренние движения и все эти внутренние силы складываются в какую-то общую сумму, которую мы и называем внутренней энергией тела. Внутренней энергией тела называют, таким образом, сумму кинетической и потенциальной энергии его частиц. Измерить можно лишь изменение внутренней энергии, а не всю энергию тела.

Изменение внутренней энергии происходит, например, при нагревании тела. При этом энергия передается от горячего тела холодному.

Конечно, мы можем наблюдать лишь окончательный результат — повышение температуры холодного тела.

Другой пример изменения внутренней энергии — изменение агрегатного состояния вещества. При плавлении (отвердевании) и испарении (конденсации) температура тела не изменяется. Температура льда во время плавления остается  $0^{\circ}\text{C}$  и в том случае, когда сосуд со льдом стоит на горячей плите: вода при нормальном атмосферном давлении кипит при  $100^{\circ}\text{C}$ , и эта температура во время кипения не изменяется. Поскольку температура тела не изменилась, следовательно, не изменилась и кинетическая энергия молекул льда и воды. Подводимая к ним извне энергия превратилась во внутреннюю потенциальную энергию, зависящую от расположения их и расстояния между ними.

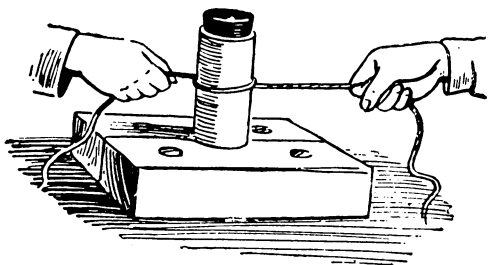


Рис. 163.

Изменить состояние вещества можно и без затраты теплоты. Укрепите на столе использованный ружейный патрон, налейте в него воды и закупорьте пробкой (рис. 163). Обмотав патрон 2—3 раза веревкой, начинайте тянуть веревку за концы то в одну, то в другую сторону. Через некоторое время вода в патроне нагреется, закипит и пар выбросит пробку.

В этом примере была затрачена механическая энергия.

В том, что вода обладает большей энергией, чем лед, из которого она образовалась, а пар — большей энергией по сравнению с водой, легко убедиться, определив количество энергии, выделяющейся в процессе затвердевания тела или конденсации пара. Температура охлаждения воды, взятой при  $0^{\circ}\text{C}$ , не будет изменяться, пока вся вода не превратится в лед. Количество энергии, выделяющейся при отвердевании, или, как говорят, «количество теплоты», равно 80 калориям, или 385 джоулям на 1 грамм.

При конденсации 1 грамма пара при  $100^{\circ}\text{C}$  выделяется 2555 джоулей, или 539 калорий тепла. Теплота, выделяемая при конденсации, играет огромную роль в природе. Когда атмосферный воздух насыщен парами, то при небольшом понижении температуры легко образуется роса и выделяющаяся при этом теплота парообразования, равная 539 кал/г, предохраняет воздух от дальнейшего охлаждения.

Понятие энергии относится всегда к системе тел или частиц тела. Нельзя считать, что энергией может обладать какое-нибудь одно тело или одна частица без связи с другими телами и с другими частицами. Нельзя говорить о потенциальной энергии камня безотносительно к Земле, неверно также полагать, что летящий мяч или снаряд обладает кинетической энергией сам по себе, а не по отношению к какому-нибудь телу. При всяком изменении формы или объема тела изменяется внутренняя энергия тела. Если при этом не изменяется температура (кинетическая энергия частиц), то изменяется потенциальная энергия частиц тела. В большинстве случаев изменяется и кинетическая и потенциальная энергия частиц тела.

Вот тяжелый молот ударил по куску железа. Изменилась форма поковки, повысилась ее температура. Полученная поковкой энергия пошла на увеличение потенциальной и кинетической энергии ее частиц.

Потенциальная энергия частиц тела изменяется не только при плавлении и парообразовании, но и при раскалывании твердого тела и измельчении в порошок. Затраченная энергия расходуется на разрыв связей между молекулами, т. е. энергия передается ограниченному числу молекул.

Некоторое сходство с этим можно усмотреть в растяжении упругой пружины: энергия, затраченная на преодоление упругих сил, преобразуется в потенциальную энергию частиц растянутой пружины. Точно так же и разьединенные частицы измельченного тела обладают большей потенциальной энергией.

Энергия частиц измельченного тела используется в технике в ряде явлений, объединяемых общим названием «сорбация». Разорванные внутренние связи создают так называемое «силовое поле поверхности» (рис. 164). За счет энергии этого поля происходит активация угля, улавливание таких дорогих растворителей, как ацетон, эфир, процесс флотации (обогащение руд).

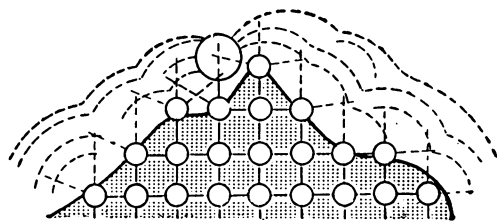


Рис. 164.



## ЕРНЫЕ КАМНИ»

В 1298 году была издана «Книга», написанная венецианским купцом Марко Поло \*. «Книга» была повестью о долгом и опасном путешествии ее автора по Центральной Азии и Китаю.

Марко Поло писал: «По всей области Китая есть черные камни, выкапывают их в горах, как руду, и горят они, как дрова. Огонь от них сильнее, нежели от дров, он продержится всю ночь до утра. Жгут эти камни, потому что и дешево, да и деревья сберегаются».

Вы, конечно, догадались, о каких черных камнях писал Поло. Черные камни — это каменный уголь.

Промышленный переворот XVII века в Англии связан с началом применения каменного угля в металлургии. Лесные запасы Англии не могли удовлетворять требований растущей текстильной и металлургической промышленности. Потребность в машине-двигателе, которая могла бы заменить руки рабочего, привела к изобретению па-

\* «Книга» — так называлась повесть Марко Поло.



ровых машин. Основным источником энергии для промышленности стал каменный уголь.

Каменный уголь — продукт глубокого разложения и изменения растительных остатков, некогда росших на Земле высших растений (деревьев, кустарников и др.). Деревья и кустарники, произраставшие около 300 миллионов лет назад, во время роста и развития поглощали энергию Солнца. Эта энергия и аккумулировалась в пластах каменного угля. Вот почему залежи каменного угля называют кладовыми Солнца.

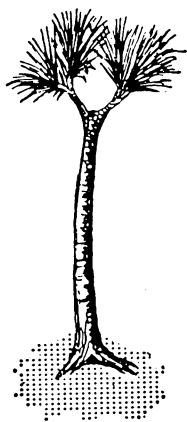
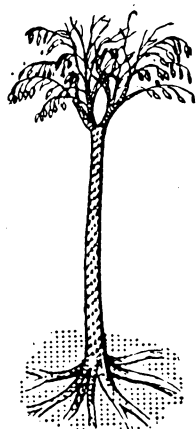
В состав таких видов топлива, как дрова, торф, каменный уголь, входят одни и те же химические элементы: углерод (С), водород (Н), азот (N) и кислород (О). Но процентное соотношение между этими элементами неодинаково. И даже различные сорта каменного угля отличаются друг от друга содержанием в них углерода и примесей других веществ. В таблице 1 приведено процентное содержание указанных выше химических элементов в разных видах топлива.

Таблица 1

Вид топлива	Химический состав (в процентах)			
	С	Н	О	N
Дрова . . . . .	50	6	43,9	0,1
Торф . . . . .	60	5	33,5	1,5
Бурый уголь . . . . .	70	6	24,2	0,8
Каменный уголь . . . . .	80	5	13,5	1,5
Антрацит . . . . .	95	2	2,5	0,5

Таблица 2

Вид топлива	Теплота сгорания	
	в $\frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$	в $\frac{\text{дж}}{\text{кг}}$
Дрова . . . . .	3000	$126 \cdot 10^5$
Торф . . . . .	3600	$150 \cdot 10^5$
Бурый уголь . . . . .	4000	$168 \cdot 10^5$
Каменный уголь . . . . .	7000	$294 \cdot 10^5$
Антрацит . . . . .	8000	$336 \cdot 10^5$



Различные виды топлива при сгорании выделяют различные количества теплоты. Рассчитанное на 1 кг топлива, это количество называется теплотой сгорания топлива. В таблице 2 указана теплота сгорания некоторых видов топлива.

Поясним таблицу таким примером. 10 спичек весят 1 г. Если теплота сгорания дров  $3000 \text{ кал/г}$ , то при сгорании одной спички выделяется 300 калорий тепла. Коробок спичек (75 штук), сгорев, выделяет немного больше 20 000 калорий. Примерно такое же количество тепла выделяется при остывании стакана горячего чая до комнатной температуры. Достаточно одной лопаты каменного угля, чтобы он, сгорая в топке парового котла, обратил в пар 100—150 кг воды. Современные котельные гигантских электростанций, паропроизводительность которых составляет несколько сотен тонн пара в час, потребляют тысячи тонн угля в сутки.

Теплоту сгорания топлива, поступающего на склад большого предприятия, определяют в заводской лаборатории путем сжигания небольшой пробной порции топлива в чистом кислороде в специальном калориметре, называемом калориметрической бомбой (рис. 165: 1 — сосуд для сжигания топлива; 2 — трубка, подводящая кислород; 3 — электрический запал; 4 — водяной калориметр; 5 — теплоизоляционная защита; 6 — термометр), или по расчетным формулам. В последнем случае предварительно делают химический анализ топлива.

Напомним юным читателям, что в качестве топлива используются не только каменный уголь, но и нефть, и природный газ. Не утрачивает ли каменный уголь свое значение основного источника энергии в наше время? Чтобы ответить на этот вопрос, надо вспомнить, что каменный уголь не только превосходное топливо, которое долго еще не потеряет своего значения, но и сырье для многих химических производств. В результате химической переработки каменного угля можно получить много ценных веществ, в том числе искусственный бензин, горючие газы, пластмассы, красители, лекарственные вещества.

Длинный ряд превращений испытывает энергия Солнца, поглощенная растениями. Скрытая в залежах древнейших антрацитов, она снова появляется в работе машин, в свете электрических ламп и т. д. Когда вы будете сидеть в теплой комнате и при свете электрической лампы читать увлекательную книгу, вспомните о черном камне и превращениях солнечной энергии.



Рис. 165.



## РАГЕДИЯ ЮЛИУСА РОБЕРТА МАЙЕРА

Имя Юлиуса Роберта Майера Фридрих Энгельс связывал с одним из трех великих открытий XIX века — открытием механического эквивалента тепла и доказательством закона превращения и сохранения энергии\*.

Великий естествоиспытатель и врач Роберт Майер, основатель термодинамики — науки, являющейся теоретической базой современной теплотехники, жил в небольшом немецком городке Гейльбронне. Конечно, не одним мещанским окружением объясняется личная драма Майера, о которой мы собираемся рассказать. Основная причина — борьба нового со старым, та страстная борьба, в которой новое, прогрессивное одерживает победу над старым, реакционным. Нередко герои в этой борьбе погибают и лишь впоследствии получают заслуженное признание потомков. В истории науки можно найти немало таких примеров. Жизнь Галилея и Р. Майера — наиболее яркие из них. Недаром Дюринг, доцент Берлинского университета, написавший биографию Майера, назвал его «Галилеем XIX столетия».

Юлиус Роберт Майер родился в 1814 году. Едва ли скромный владелец аптеки «К розе» мог предполагать, что имя его младшего сына Юлиуса войдет в историю физической науки. Ведь в детстве Юлиус не проявлял особого пристрастия к наукам. В его аттестате зрелости по всем предметам стояло «посредственно» и только по математике «хорошо».

По желанию отца Юлиус поступил в Тюбингенский университет на медицинский факультет. Товарищи любили его за «фейерверк мыслей», за добрый характер. Но «еретический дух» в нем начинал уже сказываться. Как члена запрещенной студенческой корпорации «Вестфалия», Майера арестовали. Возмущенный несправедливостью наказания, Роберт объявил голодовку. Только на пятый день, когда университетский врач сказал, что арестованному грозит душевное расстройство, Майера освободили из заключения, но зато его вскоре исключили из университета. Изучение медицины Майер продолжал в Мюнхене, потом в Вене, и только в 1838 году, когда пришло разрешение вернуться в Тюбинген, он окончил университет со званием доктора медицины.

\* Три великих открытия: закон сохранения и превращения энергии (Майер), клеточная теория строения организмов (Шванн) и теория развития и происхождения видов (Дарвин).

Однако профессия провинциального лекаря Майера не привлекала. Его заветная мечта — поехать в далекое путешествие. Устроившись врачом на торговое судно, Майер едет на остров Яву. В дороге он ведет дневник.

Момент отплытия им описан так: «Великолепное безоблачное небо с сверкающими звездами, сияющая луна, тихие воды широкого канала, на рассвете открывающаяся панорама покидаемого города — все это придавало воскресному утру какое-то возвышенное, трогательное значение».

101 день в море! Корабль проплывает мимо Португалии, Канарских островов, берегов Южной Америки. Во время путешествия Майер наблюдал морские водоросли, различные породы рыб и птиц, цвет моря и неба. Однажды штурман сказал ему, что во время сильной бури вода нагревается. Майер занес замечание штурмана в свой дневник и впоследствии проверил его \*. С этой путевой записи и зародилась у Майера мысль о связи между теплотой и движением.

Другой факт подтвердил эту мысль. Выполняя обязанности врача, Майер делал переливание крови заболевшим матросам. В порту у берегов Явы он заметил, что кровь матросов значительно светлее венозной крови жителей умеренных поясов. Майер даже подумал, что он случайно вскрыл артерию вместо вены. Но местные врачи объяснили, что такой цвет крови — обычное явление для жителей этих мест. Очевидно, процессы окисления происходят в жарком климате медленнее, так как организму не требуется большого количества теплоты. В письмах к товарищу Майер писал: «Некоторые мысли, пронизавшие меня подобно молнии,— это было на рейде в Сурабае,— тотчас с силой овладели мной и навели на новые предметы».

С этого момента перед нами другой Майер. Он весь поглощен новой идеей, которая становится теперь содержанием всей его жизни. В письме к другу он пишет: «Наконец, если ты спросишь меня, как я пришел к этому, то вот весь ответ: во время своего морского путешествия я был исключительно занят изучением физиологии и принял новое учение на том достаточном основании, что живо почувствовал потребность в нем».

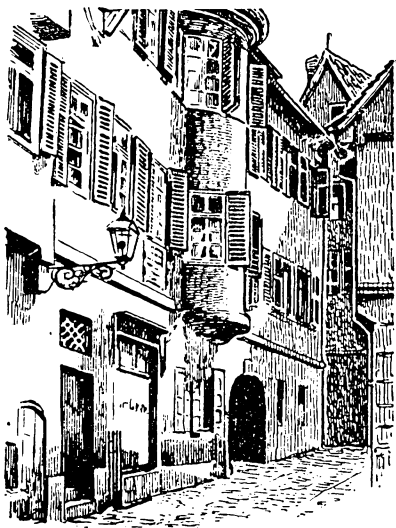
По возвращении на родину в 1841 году Майер написал статью «Количественное и качественное определение сил». Но физический



Р. Майер (1814—1878).

---

\* Читатель может проделать такой опыт: налить в бутылку до половины воды комнатной температуры и, закупорив бутылку пробкой, встряхивать воду в течение нескольких минут. Термометр покажет, что вода нагрелась на 1—2° С.



Дом, в котором жил Р. Майер.

журнал «Annalen der Physik und Chemie», в который он послал статью, ни в этот, ни в следующий год, и вообще при жизни Майера не напечатал статью.

Полный энергии и сил, молодой ученый продолжает работать. Написав новый вариант статьи, Майер в 1842 году добился опубликования ее в другом журнале под иным названием: «Замечания о неодушевленных силах природы». Но гробовое молчание ученого мира показало, что никто не обратил внимания на статью «мальчишки», лекаря из Гейльброна. Майеру было тогда 28 лет. Впрочем, горечь неудачи была тогда несколько смягчена другими событиями в жизни молодого доктора. Он полюбил Вильгельмину Клос, дочь коммерсанта, и вскоре женился на ней.

1842 год принес ему «счастье, какому позавидовали бы боги», — записывает он в своем дневнике. Увы, мы скоро узнаем, что этот брак явился одной из причин его глубокой личной драмы. Но прежде выясним, что нового дал науке Майер, которого биограф называет «вторым (после Галилея) основателем физики».

Пользуясь современной нам терминологией, коротко можно сказать следующее: Роберт Майер установил количественное соотношение между теплотой и работой и первый вычислил с доступной в то время точностью значение механического эквивалента тепла, исследовал превращения всех известных в его время форм энергии и сформулировал закон сохранения и превращения энергии. Но не забудем, что слово «энергия» в то время еще не применялось. Основатели этого закона Р. Майер, Д. Джоуль и Г. Гельмгольц в своих работах писали о превращениях силы и о «сохранении силы», подразумевая под словом «сила» энергию. Так, например, потенциальную энергию поднятого над Землей тела Майер называл «силой падения». Закон сохранения энергии он формулировал так: «При всех химических и физических процессах данная сила остается постоянной величиной». Термин «данная сила» означает данный запас энергии рассматриваемой системы.

В одной из своих работ Р. Майер писал: «Изучить силу в ее различных формах, исследовать условия ее превращений — такова единственная задача физики... В действительности существует только одна единственная сила. В вечной смене циркулирует она и в мертвой и в живой природе. И там, и здесь нет процесса без изменения формы

силы!» Как видим, Майер употреблял слово «сила» в смысле «энергия».

Употребление слова «сила» в смысле причины ускорения (по второму закону Ньютона) и в смысле «энергия», конечно, порождало путаницу и лишило ясности изложение мыслей Майера. В этом отчасти кроется причина того пренебрежения, с которым ученые встретили работы Майера.

Известно, что для нагревания одного килограмма какого-нибудь газа на  $1^{\circ}\text{C}$  не всегда требуется одинаковое количество теплоты. Это количество зависит от следующих условий: будет ли сохраняться постоянным объем данной массы газа (например, нагревать будут в замкнутом нерасширяющемся сосуде) или же газ, свободно расширяясь, будет сохранять постоянным давление. Так, для воздуха удельная теплоемкость при постоянном давлении равна  $0,24 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$ , а при постоянном объеме равна  $0,17 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$ .

В работе «Органическое движение в связи с обменом веществ», изданной в 1845 году, Р. Майер, рассматривая различные энергетические превращения, объяснил, почему теплоемкость газа при постоянном давлении не равна теплоемкости газа при постоянном объеме, и определил механический эквивалент тепла.

Пользуясь современной нам терминологией, это определение сводилось к следующему.

При расширении газ совершает работу, например поднимает поршень, на который сверху давит атмосферный воздух. Разность

$$0,24 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}\cdot\text{град}} - 0,17 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}\cdot\text{град}} = 0,07 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$$

показывает количество теплоты, которое требуется сообщить 1 кг воздуха дополнительно на совершение этой работы.

Представим себе, что 1 м<sup>3</sup> воздуха заключен в цилиндрический сосуд с площадью дна 1 м<sup>2</sup>. Следовательно, высота от дна до нижней плоскости поршня равна 1 м. Масса 1 м<sup>3</sup> воздуха при 0° С и давлении 760 мм рт. ст. равна 1,293 кг. Для нагревания этого количества воздуха при постоянном давлении потребуется дополнительно  $0,07 \cdot 1,293 = 0,09$  ккал на работу расширения. Величину работы найдем, помножив силу давления газа на путь, пройденный поршнем. Сила давления воздуха на 1 м<sup>2</sup> при давлении 760 мм рт. ст. равна 10 330 кг. Работа, совершенная поршнем, равна  $10\,330 \cdot \frac{1}{273}$  кг·м, так как высота поднятия поршня согласно закону Гей-Люссака равна  $\frac{1}{273}$  первоначальной высоты (при 0° С).

Если 0,09 ккал теплоты производят  $\frac{10\,330}{273}$  кГ·м работы, то 1 ккал соответствует (эквивалентна)  $\frac{10\,330}{273 \cdot 0,09} = 420$  кГ·м. Майер на основании известных в его время значений теплоемкостей газов получил значительно меньшую величину, а именно 367 кГ·м.

Позднее, на основании многочисленных опытов, Джоулем было получено более близкое к современному значение механического эквивалента тепла. Эти опыты описаны в учебнике физики. Современное значение механического эквивалента тепла составляет  $427 \frac{\text{кГ} \cdot \text{м}}{\text{ккал}}$ , или (в системе МКС)  $4,19 \frac{\text{дж}}{\text{кал}}$ .

С 1848 года начинается особенно тяжелая полоса жизни Р. Майера: смерть двух дочерей, ссора со старшим братом Фрицем, незаслуженное обвинение в шпионаже. «Каин!» — кричали вслед ему прохожие на улицах. Заметка «Важное физическое открытие», написанная Майером и напечатанная в газете, была непонятна местному населению, и разговоры о ней приняли характер травли ее автора. Домашние условия стали невыносимыми, все члены семьи были настроены против Юлиуса.

В это же время между Р. Майером и Джоулем возник досадный спор о первенстве открытия (о приоритете) закона сохранения энергии. Надо отдать справедливость Майеру, он проявил при этом больше корректности и выдержки, но вся эта история еще больше обострила нервное состояние Майера. Запершись один в комнате, он часами ходил из угла в угол, как волк в клетке: «О, как мучительно болит голова!»

Не в силах выдерживать дольше эти мучения, он решает покончить самоубийством. В мае 1850 года ночью он выбрасывается из окна своей спальни на втором этаже. Переломив обе ноги, он остался жив. Два месяца Майер пролежал в больнице, кости срослись, но одну ногу он волочил до конца жизни.

Попытки опровержения возводимой на него клеветы ни к чему не приводят — газеты их не печатают. Чтобы ответить своим врагам, он написал и выпустил за свой счет брошюру «Замечания о механическом эквиваленте тепла». Это вывело из терпения его жену и тестя.

«Хороший семьянин думал бы о том, как материально обеспечить жену и детей, а наш все пишет статьи да издает их на свой счет», — говорит тесть.

На семейном совете решают отправить доктора в психиатрическую больницу и лечить там от мании величия.

«Ты болен, тебе надо посоветоваться с врачом», — постоянно говорят ему.



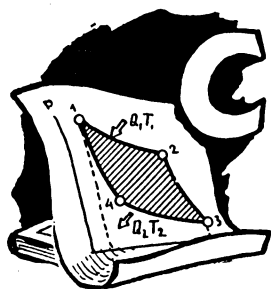
Майер дает согласие на лечение в санатории для нервных больных и в 1852 году едет в Эпинген.

Предупрежденные родственниками, врачи санатория убеждают Майера отправиться в местечко Ванненталь для консультации с доктором Целлером. Происходит сцена, подобная той, которая описана Чеховым в рассказе «Палата № 6»: Майера запирают в одиночной камере. Поняв весь ужас положения, в котором он очутился, Майер снимает сапог и в припадке отчаяния колотит им в дверь.

«Буйный!» — решили «телохранители» и надели на Майера «смирительную рубашку», начали применять и другие «лечебные методы».

Тринадцать месяцев, проведенные в доме умалишенных, сломили сопротивление Майера. В 1854 году врач Юлиус Роберт Майер был выпущен на свободу. Прежний «блаженный» стал жить, как все добропорядочные граждане Гейльброна, и даже заниматься врачебной практикой.

Но время не только сломило сопротивление Роберта Майера. Оно принесло, наконец, и признание его заслуг. В Швейцарии Майера избирают почетным членом Общества естествоиспытателей. В Англии признают за Майером приоритет и славу творца закона сохранения энергии, за что Лондонское королевское общество присуждает Майеру медаль. Во Франции он избирается членом Парижской Академии наук. Поздно! Только в 1862 году Майер смог возобновить свою научную деятельность, но ничем больше не обогатил науку. 20 марта 1878 года Роберт Майер умер от воспаления легких.



## САДИ КАРНО И ЕГО ФОРМУЛА

Если техника в значительной степени зависит от состояния науки, то в гораздо большей мере наука зависит от состояния и потребностей техники. Если у общества появляется техническая потребность, то она продвигает науку вперед больше, чем десяток университетов.

(Ф. Э н г е л ь с, Письмо к Штаркенбургу,  
25 января 1894 г.)

Если вы хотите найти в истории физики яркий пример взаимного влияния развития науки и техники, то прочтите этот рассказ о молодом французском инженер-е Сади Карно и его работе «Размышления



С. Карно (1796—1832).

о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу». Его жизнь и биография очень коротки.

Сади Карно родился 1 июня 1796 года в Париже. Он был сыном Лазаря Карно, математика и французского государственного деятеля, члена Конвента во время французской революции, потом Директории. В 1812 году Сади Карно поступил в Политехническую школу, созданную Конвентом. Эта школа ставила своей задачей подготовку гражданских и военных инженеров, в которых так нуждалась молодая республика. Школа помещалась в бывшем королевском дворце Бурбонов с его сорока залами и большим амфитеатром, была прекрасно обставлена, имела физический кабинет, химическую лабораторию, минералогическую коллекцию и библиотеку. Ее первыми профессорами были лучшие математики и инженеры: Лагранж, Ашет, Прони; Бертолле читал органиче-

скую химию. Из Политехнической школы вышла целая плеяда знаменитых математиков, физиков и инженеров. Имена некоторых из них, вероятно, известны вам: Ампер, Араго, Гей-Люссак, Пуассон.

В Политехнической школе с особой тщательностью было поставлено преподавание теоретических дисциплин, в частности математики. Генералы-фронтовики даже «жаловались» на «чрезмерную ученость» выпускаемых из школы военных инженеров. Впоследствии Наполеон делал попытку преобразовать и упростить программу, но он натолкнулся на сопротивление крупнейших профессоров с мировым именем и отказался от своего намерения.

В конце 1814 г. Сади Карно окончил Политехническую школу и, получив назначение в инженерные войска, участвовал в защите Парижа. В 1819 году в чине поручика он перешел на службу в Генеральный штаб.

Взгляните на портрет! Молодой офицер, страстный любитель музыки и вообще искусства, неутомимый спортсмен, фехтовальщик, Сади Карно находил время для занятия науками, историей и политической экономией. С особым увлечением работал он над теорией тепла. Карно написал единственное, но замечательное произведение, обессмертившее его имя, которое он издал на свои средства в 1824 году под названием «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу».

Сади Карно умер в 1832 году от холеры.

«Размышления» — небольшая книжка, в русском издании 1923 года, около 60 страниц, но эта работа Карно вошла в сокровищницу мировой

науки и поставила ее автора в ряды основоположников термодинамики.

Стимулом для развития термодинамики как науки явились потребности машинной промышленности. Изобретение паровой машины поставило перед наукой задачу — теоретически исследовать работу паровых машин для повышения к.п.д. последних.

Основу термодинамики составляют два закона, или начала.

Первый закон термодинамики есть закон сохранения и превращения энергии.

В термодинамике этот закон в математической форме выражает связь между количеством теплоты и изменением внутренней и внешней энергии системы (тепловой машины):

$$Q = U + A \cdot L,$$

где  $Q$  — количество теплоты в калориях,  $U$  — изменение внутренней энергии в калориях,  $L$  — работа, которая, будучи умножена на тепловой эквивалент  $A$ , равный  $\frac{1}{427}$ , тоже выражается в калориях.

Первый закон отрицает возможность создания вечного двигателя (Perpetuum mobile 1-го рода).

Во втором законе термодинамики говорится о направлении, в каком происходят превращения энергии. Согласно второму закону, во-первых, превращение теплоты в работу возможно только при наличии нагревателя и холодильника; во-вторых, в тепловых машинах полезно используется только часть энергии, передаваемой от котла к холодильнику. Математически это выражается формулой коэффициента полезного действия тепловой машины:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

где  $T_1$  — температура нагревателя,  $T_2$  — температура холодильника,  $\eta$  — коэффициент полезного действия.

Второй закон отрицает возможность использования запасов внутренней энергии какого-нибудь источника (например, практически неограниченных запасов внутренней энергии океанов) без перевода части ее на более низкий температурный уровень, т. е. без холодильника (Perpetuum mobile 2-го рода).

Значение первого и второго законов термодинамики для развития техники колоссально. Они предупреждают инженеров и техников от нереальных, фантастических вымыслов, с одной стороны, и указывают им реальный путь усовершенствования машины — с другой.

Тепловые двигатели появились в начале XVIII столетия, в период бурного развития текстильной и металлургической промышленности.

Паровая водоподъемная установка была построена Ньюкоменом и Коули в 1712 году, в России паровой двигатель был предложен Ползуновым в 1765 году, а в 1784 году Уатт получил патент на универсальный паровой двигатель, внедрение которого имело огромное влияние на развитие промышленности.

В те годы, когда жил Карно, паровые машины имели очень низкий коэффициент полезного действия. Карно писал в «Размышлениях», что наилучшие машины имели к.п.д. 5%. Это навело его на мысль исследовать причины столь явного несовершенства тепловых машин и найти пути их усовершенствования.

«Если когда-нибудь,— писал он в начале своей работы,— улучшения тепловой машины пойдут настолько далеко, что сделают дешевой ее установку и использование, то она соединит в себе все желательные качества и будет играть в промышленности такую роль, всю величину которой трудно предвидеть».

В своем исследовании Карно исходил из ошибочной, но господствовавшей в то время теории теплорода и рассматривал работу тепловой машины как работу теплорода, производимую при его движении от тела с более высокой температурой к телу с более низкой температурой. Согласно той же теории количество переходящего теплорода не уменьшается. Он писал: «Возникновение движущей силы обязано в паровых машинах не действительной трате теплорода, но его переходу от горячего тела к холодному». И далее: «Недостаточно создать теплоту, чтобы вызвать появление движущей силы: нужно еще добыть холод; без него теплота стала бы бесполезной. В самом деле, если бы вокруг нас были тела только такие же горячие, как и топка, каким же образом можно было сконденсировать пар? Куда бы его деть, раз он получен? Не следует думать, что его можно, как это практикуется в некоторых машинах, выбросить в атмосферу: атмосфера не приняла бы его. Она принимает его в обычных условиях, потому что выполняет роль большого холодильника, потому что она находится при более низкой температуре. Повсюду, где существует разность температур, повсюду, где возможно восстановление равновесия теплорода, возможно получение движущей силы». «Движущая сила падающей воды зависит от высоты падения и количества воды; движущая сила тепла также зависит от количества употребленного теплорода и зависит от того, что можно назвать и что мы на самом деле будем называть высотой его падения, т. е. от разности температур тел, между которыми происходит обмен теплорода. При падении теплорода движущая сила, без сомнения, возрастает с разностью температур между горячим и холодным телом».

Так, несмотря на ложность исходного положения о неуничтожимости тепла, которое он называет теплородом, Карно приходит к правильным выводам о том, в каком направлении происходит процесс

в тепловой машине и каково условие его наиболее выгодного использования.

Далее в книге описан круговой тепловой процесс, в результате которого некоторое количество тепла переносится от горячего тела к холодному в идеальной тепловой машине.

Пользуясь современным нам языком и современным графическим методом, которыми не владел Карно, постараемся передать описание этого теплового процесса, который иначе называется циклом Карно.

Чтобы понять цикл Карно, надо представить себе четыре идеальных прибора, без которых невозможно рассмотреть этот цикл:

- 1) Рабочий цилиндр с идеальным газом, закрытый идеально пригнанным, легко, без трения движущимся поршнем, на который положен груз. Поршень и стенки цилиндра совершенно не проводят тепла, дно же цилиндра, наоборот, идеальный проводник тепла.

- 2) Нагреватель, или «котел», — тело с неограниченным запасом внутренней энергии, так что отнятие какой-то части ее совершенно не вызывает понижения его первоначальной температуры  $T_1$  (абсолютная температура).

- 3) «Адиабатическая подставка», т. е. тело с идеальными теплоизолирующими свойствами, не принимающее в себя внутренней энергии другого тела, соприкасающегося с ним («адиабатос» — по-гречески «непроходимый»).

- 4) Холодильник, т. е. тело, которое может принять в себя неограниченное количество энергии без повышения его температуры  $T_2$ .

Поставив цилиндр на нагреватель (рис. 166), будем постепенно уменьшать давление, снимая с поршня часть нагрузки бесконечно малыми порциями. Если бы не приток энергии от нагревателя, то это расширение сопровождалось бы понижением температуры. Но через дно цилиндра переход некоторого количества энергии  $Q_1$  поддерживает температуру газа постоянной.

Вы знаете, что такой процесс изменения состояния газа называется изотермическим. На рисунке он изображен графиком, изотермой 1—2. Количество внутренней энергии газа, поскольку температура не изменяется, остается прежним. Приток энергии от нагревателя лишь возмещает потерю ее на совершение работы поднятия поршня.

Затем цилиндр быстро переставляют на адиабатическую подставку. Если продолжать медленно разгружать поршень, то газ будет расширяться. Но, не получая пополнения внутренней энергии извне, газ будет расходовать на работу расширения свою собственную энергию

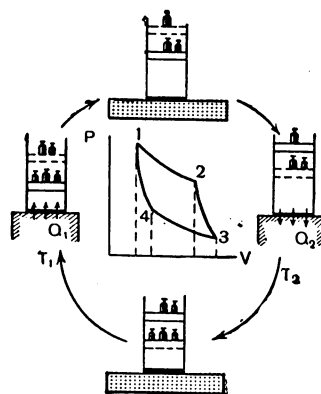


Рис. 166.

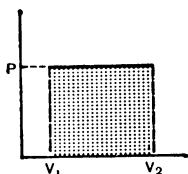


Рис. 167.

и, конечно, охлаждаться. Графически этот процесс представлен адиабатой 2—3, которая идет круче изотермы.

Когда температура газа понизится до  $T_2$ , переносят цилиндр с подставки на холодильник. Чтобы вернуть газ в начальное состояние (машина должна работать циклически, каждая стадия процесса должна последовательно повторяться), начинают нагружать поршень и, следовательно, сжимать газ сначала изотермически (график 3—4) с таким расчетом, чтобы потом новое адиабатическое сжатие 4—1 привело бы газ к исходному состоянию.

При том и другом сжатии не газ совершает работу, а мы производим работу над газом. Чего же мы добились? Не равен ли расход нашей энергии на сжатие газа энергии, доставленной нам газом в процессе расширения? Ни в коем случае. Изотермическое сжатие (нижняя часть цикла) происходило при более низкой температуре, и на сжатие пошло меньше энергии, чем было получено при расширении. Площадь диаграммы 1—2—3—4 показывает избыток энергии, доставляемой нам машиной за один цикл.

Чтобы лучше понять сказанное, рассмотрим график расширения газа при постоянном давлении. Если объем увеличился на  $V_2 - V_1$  (рис. 167), то произведение  $p_1 \frac{\kappa \Gamma}{m^2} (V_2 - V_1) m^2 = p_1 (V_2 - V_1) \kappa \Gamma \cdot m$ , т. е.

равно работе газа. Подсчитать величину площади, ограниченную кривой 1—2—3 и 3—4—1 и осями координат, можно только средствами высшей математики, и мы постараемся не делать этого подсчета.

Рассматривая график, видим, что работа расширения газа больше нашей работы сжатия на величину площади криволинейного параллелограмма 1—2—3—4. Количество теплоты  $Q_1$ , полученное от нагревателя, больше количества теплоты  $Q_2$ , отданного холодильнику, и, поскольку газ вернулся в исходное состояние, разность энергии  $Q_1 - Q_2$  пошла на полезную работу машины. Отношение же использованной энергии ко всей подведенной к рабочему телу энергии  $Q_1$  есть коэффициент полезного действия:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}.$$

Можно доказать, что для сочетания изотермических и адиабатических процессов в машине Карно

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}.$$

Тогда предыдущую формулу можно записать так:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

Это равенство называется ф о р м у л о й К а р н о.

Чем выше температура нагревателя и чем ниже температура холодильника, тем больше к.п.д. машины. Однако стремление все больше и больше повышать этот коэффициент наталкивается на технические трудности. Практический же и реальный коэффициент для двигателей внутреннего сгорания не превышал 35% (дизель), для поршневых паровых машин — 15%, турбин — 20%.

Верхним пределом  $T_1$  для парового двигателя принимали температуру красного каления железа около  $500^\circ \text{C}$ , или  $500^\circ + 273^\circ = 773^\circ \text{K}$ , так как при этой температуре лопатки турбины начинают размягчаться.

С другой стороны, при наиболее глубоком расширении пара (до давления  $0,04 \text{ ат}$ ), при температуре  $28^\circ \text{C}$  в конденсаторе, нижним пределом считали  $28^\circ + 273^\circ = 301^\circ \text{K}$ . Отсюда предельно высокий к.п.д. парового двигателя, если бы он работал по циклу Карно, получается:

$$\eta = \frac{773^\circ - 301^\circ}{773^\circ} = 0,61, \text{ или } 61\%.$$

В настоящее время в результате изобретения жаростойких материалов можно будет иметь паровой двигатель, к.п.д. которого будет больше 60%. В современных турбинах большой мощности используется пар, температура которого приближается к  $900^\circ \text{K}$ . Если температура холодильника  $300^\circ \text{K}$ , то теоретический к.п.д. такой турбины будет равен:

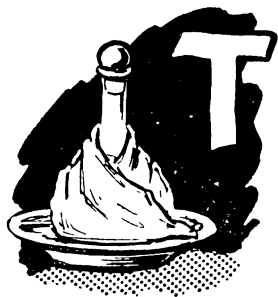
$$\eta = \frac{900^\circ - 300^\circ}{900^\circ} = 0,67, \text{ или } 67\%.$$

В реальных тепловых двигателях вследствие различных потерь к.п.д. получается значительно меньше.

Приводим сравнительную таблицу к.п.д. тепловых двигателей (в округленных данных):

1. Двигатель внутреннего сгорания (дизельный) около	40%
2. Двигатель внутреннего сгорания (карбюраторный) до	35%
3. Тепловоз ТЭ-3	28%
4. Паровая турбина	25%
5. Реактивный двигатель	25%
6. Паровая поршневая машина меньше	20%
7. Паровоз 2—4—2	9%

Выделяется своим низким к.п.д. паровоз даже лучшей конструкции. Поэтому в СССР новые паровозы не выпускаются.



## ТЕПЛО И ХОЛОД У НАС ДОМА

Прав тот, кто говорит, что от холодильника в комнате будет теплее. «Что же является источником тепла?» — спросите вы. Охлаждаемые продукты, во-первых, электрический ток или горящий газ газовой горелки, во-вторых.

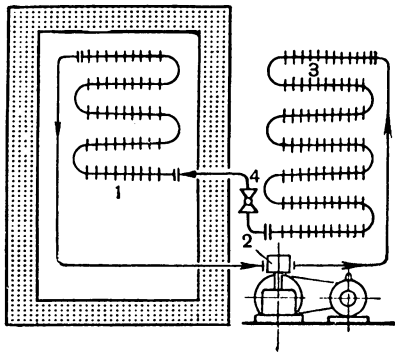
Физическая основа работы холодильника — испарение некоторых легко испаряющихся жидкостей. Температура испаряющейся жидкости понижается. С молекулярной точки зрения это можно объяснить тем, что испаряются наиболее быстро движущиеся молекулы и, следовательно, средняя скорость оставшихся молекул уменьшается, а это и есть охлаждение.

Вам знакомо это явление. Выходя после купания в реке на берег, вы чувствуете охлаждение тела даже в том случае, когда температура воздуха выше температуры воды. Это объясняется испарением воды с поверхности вашего тела. В жаркую погоду можно сохранять холодными воду в графине или сливочное масло в банке. Для этого графин с водой или банку с маслом плотно обертывают влажной чистой тряпкой и ставят на тарелку с водой. Получается простейший холодильник. Для лучшей работы такого холодильника желательно помещать его на сквозняке, тогда вода с тряпки будет испаряться скорее и она будет больше охлаждаться.

Чем быстрее испаряется жидкость, тем больше она охлаждается. В холодильниках применяют легко испаряющиеся жидкости, называемые фреонами — соединения фтора, хлора и углерода. Так называемый фреон-12 кипит при температуре  $-30^{\circ}\text{C}$  (при нормальном атмосферном давлении).

Домашние холодильники бывают двух систем: компрессионные (среди них — получившие большое распространение холодильники «Саратов», «ЗИЛ — Москва») и адсорбционные (например, «Север», «Север-2»).

В компрессионном холодильнике (рис. 168) поршневой компрессор 2, приводимый в движение электродвигателем, засасывает пары фреона из кожуха компрессора, сжимает их и нагнетает в конденсатор 3. В конденсаторе — змеевике из труб с ребрами — пары фреона обращаются в жидкое состояние (конденсируются) и через капиллярную трубку 4





поступают в испаритель 1. Испаритель представляет собой систему труб, снабженных ребрами. Необходимая для испарения холодильной жидкости энергия отнимается от стенок испарителя и соприкасающегося с ним воздуха, а следовательно, и продуктов, помещенных в шкаф холодильника. Образующиеся в испарителе пары фреона отсасываются компрессором и снова переходят в конденсатор и т. д. В камере шкафа автоматически поддерживается температура не выше  $3^{\circ}\text{C}$ , необходимая для сохранения продуктов без их замораживания. Включается и выключается электродвигатель при помощи автоматического выключателя — теплового реле, замыкающего или размыкающего цепь тока в зависимости от температуры внутри шкафа (рис. 169).



Рис. 169.

Чтобы понять действие адсорбционного холодильника, вспомним опыт Фарадея по получению жидкого аммиака. В левом колене изогнутой, запаянной с обоих концов стеклянной трубки (рис. 170) находится порошок хлористоаммиачно-серебряной соли, полученной от соединения аммиака с хлористым серебром. При нагревании это соединение разлагается на составные части. Выделяющийся при этом аммиак создает внутри трубки большое давление. Правый конец трубки опущен в стакан со снегом или толченым льдом. В результате охлаждения газообразный аммиак в правом колене трубки обращается в жидкость. Если теперь убрать и горелку и лед, то образовавшийся жидкий аммиак начнет испаряться и снова поглощаться (адсорбироваться) хлористым серебром в левой части трубки. Снова образуется сложная аммиачно-серебряная соль.

В домашнем холодильнике (например, «Север») происходит подобное явление, но газообразный аммиак образуется из крепкого водного раствора аммиака, а не из аммиачно-серебряной соли. Раствор аммиака в воде вам хорошо знаком под названием нашатырного спирта. Раствор нагревается или электрическим нагревателем, или газовой горелкой.

У юных физиков, безусловно, вызывает интерес вопрос: каким образом при затрате тепла получают холод? Вам хорошо известно, что тепло может переходить самопроизвольно только от тела с более высокой температурой к телу с более низкой температурой (см. статью «Сад Карно и его формула»). Обратного процесса не происходит. Никто не видел, чтобы вода в чайнике, поставленном на холодную плиту или на кусок льда, закипела бы, т. е. чтобы энергия немногих быстрых молекул из огромного боль-

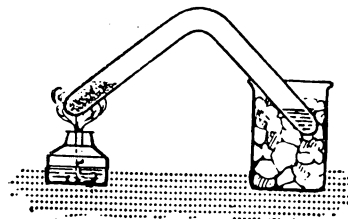
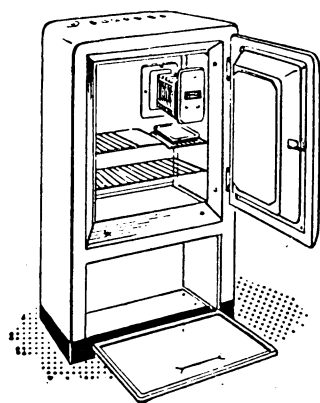
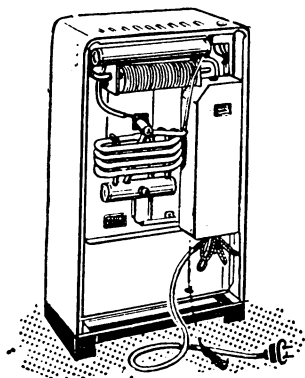


Рис. 170.



шинства медленных молекул холодного тела передавалась воде. Однако такие быстрые молекулы и в холодном теле есть. Передать их энергию телу с более высокой температурой можно, но для этого надо затратить энергию, совершив внешнюю работу. Это и делается в холодильниках. В компрессионных холодильниках затрачивается механическая энергия электродвигателя, а в адсорбционных холодильниках — внутренняя энергия электрического или газового нагревателя.

В описанных холодильниках внутренняя энергия продуктов, помещенных внутрь холодильного шкафа, передается воздуху помещения, в котором установлен холодильник. Разумеется, нагревание воздуха помещения в этом случае слишком незначительно. Однако еще английский физик Томсон показал, что вполне возможно (и опытные установки подобного рода уже имеются) для отопления жилищ использовать внутреннюю энергию наружного воздуха. Немецкий физик Поль в книге «Механика, акустика и учение о теплоте» описывает подобный «тепловой насос» (рис. 171) и приводит следующий расчет: «Теперь мы согреваем наши жилые помещения электрическими печами. Это исключительно удобно, но не выгодно: мы получаем за киловатт-час электроэнергии только 860 ккал. С точки зрения физики более безупречным был бы другой метод: следовало бы использовать электрическую энергию для «накачки» в дом тепла снаружи. Для этого достаточно было бы 7% электрической энергии, расходуемой обычным образом. К сожалению, тепловые насосы очень громоздки и дороги, поэтому редко употребляются, но их дальнейшее усовершенствование и распространение крайне желательно для сбережения наших энергетических запасов».

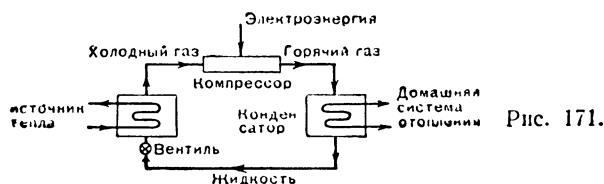


Рис. 171.



## В БЛИЗИ АБСОЛЮТНОГО НУЛЯ

Привычное, знакомое каждому с детства понятие температуры далеко не так просто, и едва ли можно найти другое физическое понятие, определение которого так резко расходилось бы с житейским пониманием этого слова. Определение температуры как степени нагретости тела кажется нам простым и понятным, потому что связано с физиологическим ощущением тепла. Однако понятия «теплый», «холодный», «горячий» весьма относительны.

Температура наружного воздуха  $0^{\circ}\text{C}$  воспринимается нами в разное время года по-разному: в январе — как «тепло» (может быть оттепель), а в августе — как «холодно» (может быть заморозок). Измерение температуры связано с установлением теплового равновесия. Если соприкасающиеся тела имеют разную температуру, то происходит передача энергии от тела с высшей температурой к телу с низшей температурой до момента, когда температуры тел не станут равными. Для установления температурного равновесия требуется некоторое время. Когда измеряют температуру тела человека, то держат термометр под мышкой 7—10 минут. В школе во время лабораторных занятий по физике, измеряя температуру воды, вы тоже выжидаете некоторое время, чтобы термометр принял температуру воды, и делаете отсчет, не вынимая термометра из нее.

Изобретение первого термометра обычно приписывается Галилею. При повышении температуры воздух, находившийся в шарике термометра, расширялся и заставлял воду в трубке опускаться на несколько делений вниз. Вы легко можете изготовить подобный термометр. Вместо шарика можно взять небольшой пузырек от пенициллина с резиновой крышкой, через которую пропустить стеклянную трубочку. Свободный конец трубочки надо опустить в стакан с подкрашенной водой. При легком нагревании пузырька рукой из трубочки выйдет несколько пузырьков воздуха, а при охлаждении пузырька в трубочку поднимется подкрашенная вода. Чтобы этот прибор мог называться термометром, надо позади трубочки прикрепить шкалу.

Вы, конечно, поняли, сколь несовершенен был первый термометр. На его показания влияло не только изменение температуры, но и атмосферное давление. Кроме того, термометр Галилея не имел нулевого деления и градусы были совершенно произвольны, поэтому

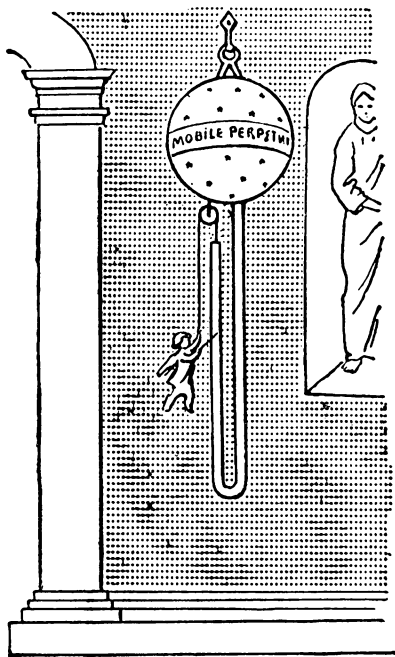


Рис. 172.

показания различных термометров были разные. С первой попыткой ввести ноль в термометрическую шкалу мы встречаемся в термометре бургомистра города Магдебурга Отто Герике (рис. 172). Этот термометр состоял из медного шара с U-образной трубкой, в которую был налит спирт. На поверхности спирта в открытом колене плавал поплавок, а от него шла нитка, перекинутая через блок. На конце нитки была подвешена фигурка ангела, державшего в руке палочку, которой он показывал деление шкалы, нарисованной на стене дома. Шар был покрашен в голубой цвет, на нем были нарисованы звезды и выведена гордая надпись: «Perpetuum mobile». За ноль Герике выбрал температуру того осеннего дня 1660 года, когда был первый заморозок в городе Магдебурге. Термометр Герике имел тот же недостаток, который имел и термометр Галилея, и его можно назвать не термометром, а термоскопом, так как показания зависели от атмосферного давления.

В термометре Реомюра один градус обозначал расширение спирта на 0,001 первоначального объема. За ноль он принял температуру тающего льда. При таком масштабе точка кипения воды соответствовала температуре 80 градусов.

Фаренгейт, желая избежать отрицательных значений температур, принял за ноль градусов наиболее низкую, искусственно достигнутую в то время температуру смеси снега, соли и нашатыря.

Термометр Цельсия первоначально имел такую шкалу: точка кипения воды была принята за ноль, а точка замерзания воды — за 100 градусов. Лишь в 1742 году была введена современная шкала этого термометра.

Из столетия десятилетней истории создания термометра вы можете сделать вывод, что ноль шкалы, т. е. исходная точка для отсчета температуры, выбрана произвольно; кроме того, на показания термометра большое влияние оказывает выбор вещества, которым заполнена трубочка. Показания термометров с различно наполняющими их жидкостями и газами (спирт, ртуть, гелий, водород, азот) расходятся между собой, и ни одна шкала, несмотря на совершенство изготовления, не может служить абсолютной шкалой температур. Между тем точное определение температуры не должно зависеть от выбора вещества, заполняющего термометр.

В основу «термодинамической шкалы температур», или шкалы Кельвина, положена формула Карно, о которой мы говорили в предыдущей статье. Эта формула  $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$  не содержит величин, зависящих от природы вещества. Для определения одной из температур,  $T_1$  или  $T_2$ , нужно произвольно выбрать какое-либо значение другой. Определение температуры сводится, таким образом, к определению к.п.д. машины Карно, работающей в данных температурных пределах, и к выбору начальной температуры. Во введенной в СССР с 1 января 1963 года Международной системе единиц (система СИ) за единицу для измерения температуры принимается градус Кельвина ( $^{\circ}\text{K}$ ) по термодинамической шкале, в которой для температуры тройной точки воды установлено значение  $273,16^{\circ}\text{K}$  (точно).

Как понять такое определение? Тройной точкой называется температура, при которой все три состояния, или, как говорят, все три фазы (лед, вода, пар), находятся в равновесии. Не смешивайте эту температуру с точкой плавления льда ( $0^{\circ}\text{C}$ ) при атмосферном давлении. Тройная точка характеризуется давлением пара в  $4,58\text{ мм рт. ст.}$  и температурой  $0,0075^{\circ}\text{C}$  (округленно  $0,01^{\circ}\text{C}$ ). Только при этой температуре лед, вода и пар могут находиться при одном давлении. А разве при обычном атмосферном давлении над смесью льда и воды нет пара? Есть, конечно, но давление его составляет лишь небольшую часть атмосферного давления и равняется приблизительно  $4,5\text{ мм рт. ст.}$ . Если мы хотим воду изо льда при  $0^{\circ}\text{C}$  и давлении в  $1\text{ ат}$  ( $760\text{ мм рт. ст.}$ ) превратить в пар такого же давления, то мы должны нагреть ее до  $100^{\circ}\text{C}$  (верхняя пунктирная горизонтальная линия на рисунке 173). При давлении ниже  $4,58\text{ мм рт. ст.}$  лед переходит в пар, минуя жидкую фазу.

Разность между температурами какого-нибудь состояния в термодинамической и стоградусной шкалах составит:

$$273,16^{\circ} - 0,01^{\circ} = 273,15^{\circ}.$$

Таким образом, температура исходной точки термодинамической шкалы (абсолютный нуль) по шкале Цельсия (стоградусной шкале) равна:

$$0^{\circ} - 273,15^{\circ} = -273,15^{\circ}\text{C}.$$

В школе мы пишем упрощенно:  $T^{\circ} = (t^{\circ}\text{C} + 273^{\circ})^{\circ}\text{K}$ . На уроке физики учащиеся подходят к понятию абсолютного нуля, исходя из молекулярно-кинетических представлений и рассмотрения графиков закона Гей-Люссака или Шарля. При нагревании на  $1^{\circ}\text{C}$  объем газа

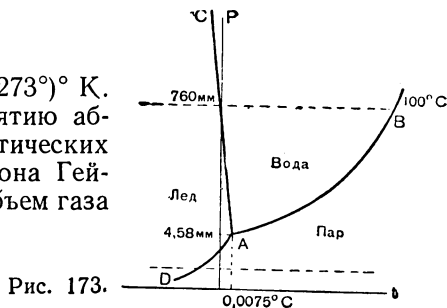


Рис. 173.

увеличивается на  $\frac{1}{273}$  часть первоначального объема при  $0^\circ \text{C}$ , если давление остается постоянным, т. е. если газ может беспрепятственно расширяться. Если же газ нагревать в замкнутом, нерасширяющемся сосуде, то будет повышаться в той же мере давление газа. При охлаждении газа на  $1^\circ \text{C}$  будет уменьшаться давление на  $\frac{1}{273}$  часть давления при  $0^\circ \text{C}$ . Очевидно, если охладить газ до  $-273^\circ \text{C}$ , то давление уменьшится до нуля. Так как давление газа вызвано ударами беспорядочно движущихся молекул о стенки сосуда, то по мере понижения его температуры до нуля прекращается тепловое поступательное движение молекул. Охладить — значит замедлить движение молекул. Но нельзя замедлять движение молекул после того, как их движение прекратилось. Температура, при которой прекращается тепловое движение молекул, называется абсолютным нулем. Мысль о том, что должен существовать такой нижний предел температуры, при котором прекращается тепловое движение молекул, высказывал еще М. В. Ломоносов.

Заметим, однако, что прекращение поступательного движения молекул не означает полного прекращения движения материи: сохраняется вращательное движение молекул, колебательное движение атомов и еще более мелких частиц. По современным представлениям, даже при абсолютном нуле у частиц остается некоторая энергия, называемая «нулевой энергией». Поэтому и абсолютный нуль так же относителен, как и все другое.

Сейчас мы увидим, какие новые неожиданные свойства вещества проявляются при температурах, близких к абсолютному нулю.

Первое знакомство с поведением тел при низких температурах началось с тех пор, как Фарадею удалось получить жидкий аммиак, жидкий хлор, углекислый газ. Ученых XIX века поражали свойства сжижаемых ими газов. При испарении эти сжиженные газы сильно охлаждались, и с помощью их удавалось перевести в жидкое состояние следующий, более стойкий газ. Но некоторые газы, среди них и воздух, не сжижались ни под каким давлением.

В 1860 году Дмитрий Иванович Менделеев пришел к мысли, что для всякой жидкости существует предельная температура, выше которой она может быть только паром или газом, как бы велико ни было внешнее давление. Эту температуру он назвал температурой абсолютного кипения. Через несколько лет ирландский физик Эндрьюс ввел понятие «критическая температура». Чтобы перевести газ в жидкое состояние, его надо охладить до температуры ниже критической. Наконец, в 1882 году Врублевский и Ольшевский получили жидкий воздух. В наши дни жидкий воздух нашел очень широкое применение в различных производствах и в лабораторной практике.

В настоящее время физики достигли столь низких температур, что от абсолютного нуля их отделяет лишь  $0,00002^\circ$ . При температурах, близких к абсолютному нулю, удалось обратить в жидкое, а затем и в твердое состояние все известные газы. Твердая углекислота, или «сухой лед», который вы, конечно, видели у продавцов мороженого, получается при  $-73^\circ \text{C}$  ( $200^\circ \text{K}$ ), жидкий азот — при  $-195,4^\circ \text{C}$  ( $78^\circ \text{K}$ ), жидкий водород — при  $-253^\circ \text{C}$  ( $20^\circ \text{K}$ ), жидкий гелий — при  $-268,8^\circ \text{C}$  ( $4,2^\circ \text{K}$ ). Гелий — единственный газ, который не может быть обращен в твердое состояние, если его не сжать до давления  $25 \text{ атм}$  и выше. Именно при исследовании гелия глазам удивленных физиков открылся мир необычайных явлений, противоречащих нашим обычным представлениям о свойствах вещества.

Прежде всего опишем явление «сверхтекучести» гелия, открытое в 1938 году советским академиком П. Л. Капицей. Известно, что всякая жидкость обладает вязкостью, вызываемой трением внутренних слоев текущей жидкости друг о друга. Чем сильнее это трение, тем больше вязкость жидкости. Патока и глицерин — очень вязкие жидкости, вода и спирт отличаются малой вязкостью. При нагревании вязкость жидкости, как правило, уменьшается, жидкость становится более текучей. Это можно наблюдать по вытеканию жидкости из узких отверстий в сосуде. При охлаждении вязкость жидкости увеличивается.

Но жидкий гелий оказался жидкостью, наделенной необыкновенными свойствами. При температуре  $2,18^\circ \text{K}$  жидкий гелий (так называемый гелий-II) внезапно, скачком, совершенно теряет вязкость. В таком состоянии жидкий гелий может свободно протекать через сколь угодно тонкие капилляры, и для поддержания течения такой жидкости нет необходимости в разности давлений между концами участка струи. Гелий в таком состоянии получил название сверхтекучего. Академики Л. Д. Ландау и Н. Н. Боголюбов объяснили явление сверхтекучести, исходя из квантовых представлений новейшей физики. Не имея возможности вдаваться в подробности, отметим лишь доступное основное положение их теории. В отличие от обычных жидкостей и газов в движении частиц сверхтекучей жидкости проявляется высокая степень упорядоченности, вызванная тем, что хаотическое движение частиц при приближении к абсолютному нулю прекращается.

Удивительно и наблюдаемое изменение теплопроводности жидкого гелия. Обычно теплопроводность изменяется параллельно изменению вязкости. При нагревании жидкости вязкость уменьшается и одновременно уменьшается теплопроводность. У гелия же при температуре ниже  $2,18^\circ \text{K}$  наблюдается противоположное явление: вязкость внезапно, скачком, уменьшается до нуля, а теплопроводность очень сильно увеличивается. Очевидно, энергия в этом случае

передается конвекционными токами, которые легко образуются в условиях сверхтекучести.

Не менее удивительным и неожиданным оказалось явление сверхпроводимости жидкого гелия. Присущее всем веществам свойство сопротивления электрическому току у некоторых металлов и соединений при сверхнизких температурах пропадает. Электрический ток, проходя через такой проводник, перестает нагревать его, а в замкнутом проводнике ток, однажды возбужденный, продолжает циркулировать неограниченно долго. Это явление было открыто в 1914 году голландским физиком Каммерлинг-Оннесом при исследовании проводимости ртути. В настоящее время известны 24 чистых металла, способных переходить в это состояние, много сплавов и несколько химических соединений. Теоретическое объяснение явления сверхпроводимости было найдено очень недавно советским ученым, академиком Н. Н. Боголюбовым (за что ему в 1958 году была присуждена Ленинская премия). Сопротивление электрическому току обусловлено соударением электронов с атомами и ионами металла. При понижении температуры колебания атомов уменьшаются и электроны встречают меньше препятствий на своем пути. При наступлении сверхпроводимости колебания решетки утрачивают беспорядочный характер движений, вследствие чего упорядочивается движение электронов, чем и объясняется легкость прохождения их через решетку.

Возникает вопрос: могут ли низкие температуры иметь какое-либо практическое значение? Из школьного курса вам известно, что для сжижения газов нужно охлаждать их ниже критической температуры, а критическая температура газов очень низка.

Жидкие газы используются в технике. Например, сжижение воздуха используется для разделения его на составные части: неон, азот, аргон, кислород и др. Полученные таким образом газы нашли широкое применение. Так, кислород в смеси с ацетиленом употребляют для сварки и резки металлов. Большое значение имеет кислородное дутье для ускорения металлургических процессов. Аргон, неон и другие инертные газы используют для наполнения электрических ламп накаливания, азот используется в химической промышленности.

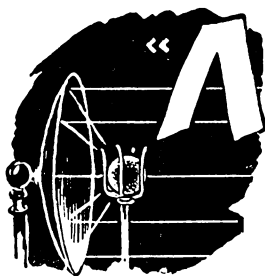
Жидкий кислород применяют для взрывных работ в горных работах, при строительстве каналов и т. п.

Жидкий воздух и другие жидкие газы применяются в физических, химических, биологических и других лабораториях для проведения опытов при низких температурах, для улавливания паров воды, ртути и других веществ в целях создания высокого вакуума. Давление наиболее летучего газа — гелия — при температуре  $0,1^{\circ}\text{K}$  равно около  $10^{-31}$  атм. В таком разреженном состоянии в  $1\text{ м}^3$  газа содержится всего одна молекула. А в межзвездном пространстве, как предполагают,



одна молекула приходится на  $1 \text{ см}^3$ . Таким образом, с помощью низких температур на лабораторной установке достигнуто разрежение, во много раз превосходящее существующее в природе.

А какое применение нашло явление сверхпроводимости? В настоящее время это явление практически не используется из-за очень низкой температуры сверхпроводника (наибольшую температуру,  $11^\circ \text{ К}$ , при которой наблюдается сверхпроводимость, имеет редкий элемент техний), но поиски высокотемпературных сверхпроводников продолжаются. Есть попытки использовать сверхпроводники в счетно-решающих устройствах, для создания усилителей в современных радиотелескопах.

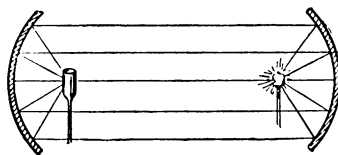


## ЛУЧИ ТЕПЛА И ЛУЧИ ХОЛОДА»

Представьте себя на месте ученых XVII—XVIII веков и попробуйте объяснить следующие опыты. Германский ученый Ламберт установил два вогнутых зеркала одно против другого на расстоянии 20 футов (6,1 м). В фокусе одного из них он поместил раскаленные угли (рис. 174), а в фокусе другого легко воспламеняющиеся тела зажигались. «Лучи огня,— писал он в своем сочинении «Пирометрия, или измерение огня и теплоты» (1779 г.),— подчиняются тем же законам, что и световые лучи».

Пикте и Соссюр проделали такой же опыт, но воспламеняющееся тело заменили термометром. Зеркала, какими они пользовались, были сделаны из олова, имели диаметр 30 см и фокусное расстояние около 11 см. «Мы взяли железное ядро двух дюймов ( $\approx 5 \text{ см}$ ) в диаметре, раскалили его так, чтоб оно прогрелось до центра; потом дали ему охладиться до той степени, что оно перестало светиться даже в темноте. Два зеркала были поставлены одно против другого на расстоянии 12 футов ( $\approx 365 \text{ см}$ ), в фокусе одного мы поместили ядро, в фокусе другого — термометр. Тотчас же температура начала повышаться и в 6 минут поднялась на  $10\frac{1}{2}$  градусов, тогда как другой, поставленный на таком же расстоянии, показывал повышение лишь на 2 градуса».

Чтобы устранить всякое подозрение на то, что термометр нагревается световыми лучами, Пикте взял вместо нагретого ядра сосуд, наполненный кипящей водой; повторив опыт, он обнаружил, что тем-



пература в фокусе второго зеркала повысилась больше, чем на 1 градус. В течение нескольких десятилетий после этих опытов в физике господствовало убеждение, что от нагретого тела распространяются невидимые лучи теплоты, подчиняющиеся тем же законам распространения и отражения, как и лучи света. Сейчас мы знаем, что это именно и есть лучи света, только света невидимого, не воспринимаемого глазом.

Профессор Хвольсон еще в 1915 г. счел целесообразным написать в журнал «Природа» статью «О несуществующих тепловых и химических лучах». Приводим его слова, имеющие непосредственное отношение к нашей теме. Положим, что печь нагрета до  $100^{\circ}\text{C}$ . Всякий нагретый предмет испускает лучи света (электромагнитные волны). Чем ниже температура, тем больше длина волны испускаемого света. Глаз наш — весьма несовершенный прибор: он воспринимает электромагнитные волны как свет только в пределах от 0,4 до 0,76 микрон. При  $100^{\circ}\text{C}$  печь испускает значительно большей длины волны. Проходя в темноте около истопленной печи, мы не видим ее поверхности, но наше тело поглощает эти лучи, и их энергия вызывает ощущение тепла. Невидимые лучи являются здесь промежуточным звеном между теплотой печи и теплотой, которую мы ощущаем. Таким промежуточным звеном может служить не только энергия электромагнитных волн, но и другая форма энергии, например: паровой двигатель — маховое колесо — нагрев подшипников колеса (промежуточное звено — кинетическая энергия колеса). «Называть то, что находится между печкой и нами, лучистой теплотой столь же дико, как если бы энергию вращающегося махового колеса считать за особый вид теплоты. Правильная формулировка способов передачи теплоты будет такова: передача теплоты может происходить тремя способами:

- 1) теплопроводностью,
- 2) конвекцией (переносом),
- 3) через какие-либо, одну или несколько, формы энергии: механическую, электрическую, световую. Все это давно известные формы энергии, но отнюдь не особый сорт теплоты».

Ну, а лучи холода? С давних пор известно, что вогнутое зеркало собирает не только свет и тепло, но и холод. В 1553 г. появилась одна из «безумнейших книг» итальянца Джамбатиста делла Porta — «Натуральная магия, или о чудесах природы». Полуавантюрист, полусарлатан, Porta среди множества фантастических и нелепых опытов приводит в своей книге и действительные опыты, например опыты с магнитом, с камерой-обскурой, с вогнутыми зеркалами. Описывая последние, он пишет: «Удивления достойно, что, подобно теплоте, и холод отражается: если поместить снег на место отражаемого предмета, то глаз, принимая отражение, ощущает холод, ибо очень чувствителен».

Еще более интересные наблюдения подобного рода были осуществлены членами Флорентийской академии наук (1657—1667 гг.), учрежденной вскоре после смерти Галилея. В одной из глав выпущенного им труда, озаглавленной «Об естественном льде», описан следующий опыт: «...академики поставили вогнутое зеркало на значительном расстоянии от глыбы льда в 500 фунтов ( $\approx 200$  кг) и нашли, что в фокусе зеркала термометр значительно понизился» (рис. 175). Отсюда они сделали заключение, что и холод, подобно теплу, распространяется путем излучения.

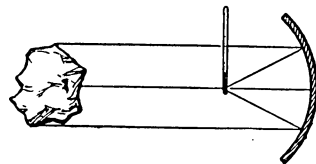


Рис. 175.

На самом деле лучей холода нет. Опыт со льдом можно объяснить так же, как и опыт с зеркалами Пикте. Между предметами, находящимися в комнате, происходит обмен энергией через посредство электромагнитных волн. Такие волны излучает всякое тело. Также всякое тело поглощает излучения, падающие на него от других тел. Если при этом тело поглощает больше энергии, чем излучает, то оно нагревается. От нагретого шара в опыте Пикте термометр получал больше энергии, чем сам отдавал. Поэтому температура термометра повышалась. Если, наоборот, тело больше излучает, чем поглощает, то температура тела будет понижаться. Термометр, как тело более нагретое, чем лед в опыте флорентийских академиков, больше излучал, чем поглощал энергии, поэтому ртуть в нем опускалась. Если тело окружено другими телами, имеющими одинаковую с ним температуру, происходит описанный обмен энергиями, но так как при этом каждое тело получает столько же энергии, сколько отдает, то в этом случае между телами устанавливается подвижное равновесие.

Не следует смешивать излучение с отражением. Белые, блестящие поверхности хорошо отражают падающие на них лучи, но излучают они слабее, чем черные, шероховатые. Вы можете сделать простой опыт: взять две одинаковые консервные банки, с которых сняты наклеенные на них ярлычки. Одну из них закоптить, другую оставить светлой. Наполните обе банки горячей водой и оставьте охлаждаться — вы увидите, что вода в черной банке остынет скорее (лучше наблюдать с термометром и строить график изменения температуры, рис. 176). Опыт можно проводить и в темноте. Обратный опыт, обнаруживающий различие в поглощательной способности, легко осуществить, наполнив банки холодной водой и выставив их на солнечный свет. Вода в черной банке нагревается скорее.

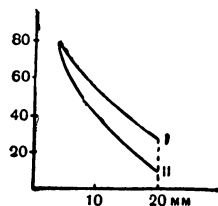
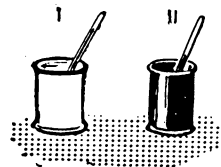
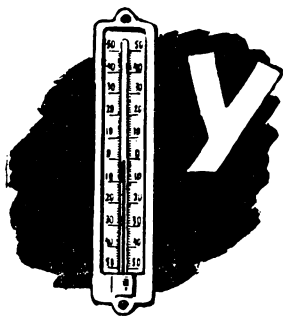


Рис. 176.



## ГРОЗА ЗАМОРОЗКА

Весенние заморозки — настоящее бедствие не только для плодовых и овощных культур, но даже и для полевых.

Отчего и когда бывают заморозки?

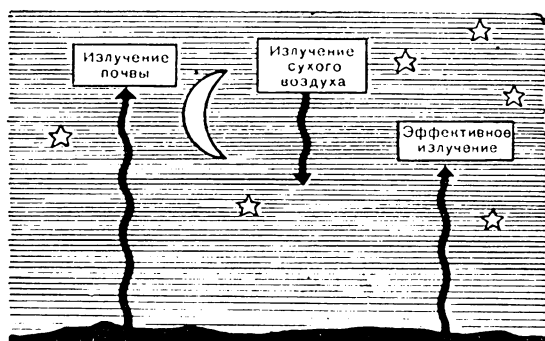
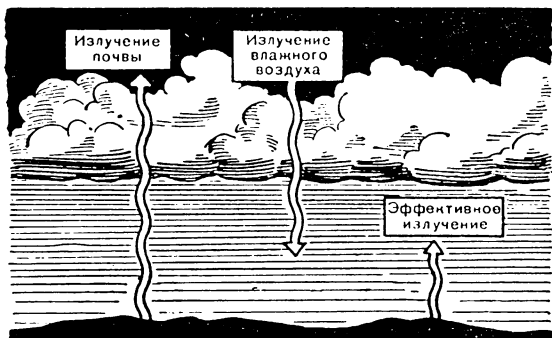
Весенние и осенние заморозки бывают от двух причин: от ночного земного излучения и от вторжения холодных масс воздуха из других районов.

С лучами Солнца льется на Землю поток энергии. Подсчитано, что площадка размером в один квадратный сантиметр, поставленная перпендикулярно к солнечным лучам за пределами земной атмосферы, получает в одну секунду 8,1 джоуля (или 1,94 калории) тепла. Это так называемая солнечная постоянная, не зависящая от времени года.

Часть энергии солнечных лучей отражается атмосферой обратно в межпланетное пространство, часть поглощается атмосферой и часть достигает поверхности Земли и поглощается ею. В среднем за сутки каждый квадратный сантиметр поверхности поглощает около 900 калорий.

Нагретая Земля в свою очередь излучает энергию. С каждого квадратного сантиметра земной поверхности это излучение составляет в среднем 750 калорий и около 125 калорий расходуется на нагревание воды, находящейся на земной поверхности. Получается равновесие между приходом и расходом энергии на Земле (тепловой баланс), и средняя температура Земли остается постоянной ( $+15^{\circ}\text{C}$ ).

Тепловое равновесие Земли часто нарушается даже в течение суток. Днем, особенно летом, Земля получает больше энергии, чем сама излучает, и поэтому нагревается. Ночью, наоборот, поверхность Земли охлаждается, потому что она получает энергии (от атмосферы, а не от Солнца) меньше, чем излучает. Разность между почвенным и атмосферным излучениями называется эффективным излучением.



Атмосфера играет огромную роль в сохранении тепла Землей. Днем она пропускает видимые солнечные лучи, а ночью атмосфера как бы прикрывает Землю одеялом — очень сильно задерживает невидимые тепловые лучи, излучаемые Землей. В этом отношении атмосферу можно сравнить со стеклами оранжереи или парника, пропускающими видимые солнечные лучи, но не пропускающими невидимые, инфракрасные лучи. Не будь атмосферы, температура ночью на Земле всегда понижалась бы на несколько десятков градусов.



Большое изменение в тепловой баланс Земли вносят облака. Они задерживают лучи. Поэтому в пасмурный летний день прохладнее, чем в ясный. Зато в ясную ночь холоднее, чем в пасмурную. Заморозки могут наступить только в ясную ночь, когда тепловое излучение почвы больше, чем тепловое излучение атмосферы.

Исключительное значение для образования заморозка имеет влажность воздуха. Если влажность велика и воздух близок к насыщению парами, то при понижении температуры воздух может стать насыщенным и начнет выпадать роса. Но при конденсации водяных паров выделяется энергия — теплота парообразования, которая при температуре, близкой к  $0^{\circ}\text{C}$ , равна  $595 \text{ кал/г}$ . Поэтому воздух у поверхности почвы при образовании росы не будет охлаждаться ниже точки росы и вероятность наступления заморозка уменьшится.

Из сказанного можно сделать такой вывод: вероятность заморозка зависит, во-первых, от быстроты понижения температуры и, во-вторых, от влажности воздуха. Достаточно знать одно из этих данных, чтобы более или менее точно предсказать вероятность заморозка.

По таблице, составленной профессором Броуновым, вероятность заморозка определяется по скорости понижения температуры.

На вертикальной оси (рис. 177) указана температура воздуха в 9 часов вечера, а на горизонтальной оси — разность температур между 1 часом дня и 9 часами вечера. Точка пересечения этих координат окажется в той или иной области графика, по которому и определяется вероятность заморозка. Например, в 1 час дня температура воздуха была  $8^{\circ}\text{C}$ , в 9 часов вечера температура воздуха равна  $3^{\circ}\text{C}$ . Разность температур составляет  $5^{\circ}\text{C}$ . Вероятность заморозка равна 100%. Заморозок будет.

Влажность воздуха определяется с помощью гигрометра или психрометра. В учебниках физики описано устройство этих приборов и методы определения влажности воздуха.

Если к психрометру добавить график, изображенный на рисунке 178, то с помощью такого самодельного прибора можно определить вероятность наступления заморозка. Определяется это так. График

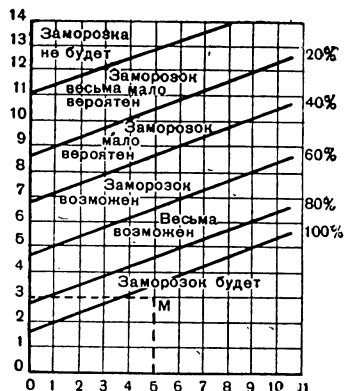


Рис. 177.

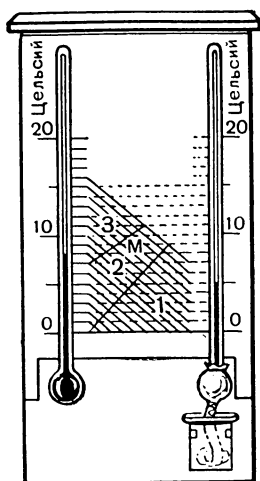


Рис. 178.

разбит на участки, обозначенные цифрами. Если точка пересечения наклонной линии, идущей от показания сухого термометра, с горизонтальной линией, идущей от показания влажного термометра, окажется на участке, обозначенном цифрой 1, то заморозок неизбежен, если на участке, обозначенном цифрой 2, то заморозок возможен, и если на участке, обозначенном цифрой 3, то заморозка не будет.

**Пример.** Температура воздуха (показание сухого термометра)  $10^{\circ}\text{C}$ , показание влажного термометра  $7^{\circ}\text{C}$ . Точка пересечения наклонной линии, идущей от  $10^{\circ}\text{C}$  с горизонтальной линией, идущей от  $7^{\circ}\text{C}$ , находится на участке, помеченном цифрой 2. Следовательно, заморозок возможен.

Наблюдают дважды: в 6 и 9 часов вечера.

Из способов защиты растений от заморозков укажем три наиболее эффективных:

1. Дымление (рис. 179). Дымовые шашки делают из сухой соломы 2, веток или щепок 3, влажного соломного навоза 4, бурьяна или ботвы 5. Сверху насыпают слой земли 6, толщиной 5—10 см. Для шашек можно использовать и другие материалы, горящие медленным огнем и дающие не только дым, но и тепло, например: кору, мох, смолу и т. п. Дымовые шашки ставят с той стороны участка, с которой дует ветер. Их поджигают горящим стержнем 1.

2. Покрывание растений соломенными матами или бумагой.

3. Полив растений водой с целью увеличения влажности приземного слоя воздуха.

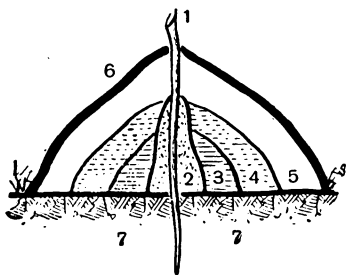


Рис. 179.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

К юным читателям книги . . . . .	3
Материя, движение, энергия (вместо введения) . . . . .	5
Чего многие не знают о скорости . . . . .	10
Как произносить букву $v$ . . . . .	—
«Математика стрелок» . . . . .	—
Почему скорость — вектор . . . . .	13
Сигналы безопасности . . . . .	14
Как измеряют скорость . . . . .	19
Скорость автомобиля . . . . .	—
Скорость локомотива . . . . .	20
Скорость судна в море . . . . .	—
Скорость самолета . . . . .	22
Скорость ветра . . . . .	23
Скорость пули . . . . .	25
Четыре затруднительных положения . . . . .	26
Беседа в венецианском арсенале . . . . .	30
Урок физики в IX классе . . . . .	—
Что такое инерция . . . . .	37
Почему Луна не падает на Землю . . . . .	40
Доклад на кружке «Юный физик» в IX классе . . . . .	—
«Математические начала натуральной философии» . . . . .	47
Человек не всегда останется на Земле . . . . .	55
Удивительные свойства пары сил . . . . .	66
Интересные и полезные параллели . . . . .	70
«Стальные конструкции» из картона и клея . . . . .	74

Письмо Ломоносова . . . . .	80
Что такое работа . . . . .	84
Неосуществимая мечта . . . . .	88
Проекты вечных двигателей . . . . .	90
Девятый вал . . . . .	92
Маятник — это не только в часах . . . . .	96
В мире молекул . . . . .	100
Броуново движение . . . . .	—
Как измерили скорость движения молекул . . . . .	105
Тепловое движение и статистика . . . . .	106
Твердое, жидкое, газообразное . . . . .	109
Физика поверхностей . . . . .	112
Энергетика кристалла . . . . .	118
Рождение калориметрии . . . . .	126
В зимний день на реке Лариган . . . . .	130
Внутренняя энергия . . . . .	132
«Черные камни» . . . . .	135
Трагедия Юлиуса Роберта Майера . . . . .	138
Сади Карно и его формула . . . . .	143
Тепло и холод у нас дома . . . . .	150
Вблизи абсолютного нуля . . . . .	153
«Лучи тепла и лучи холода» . . . . .	159
Угроза заморозка . . . . .	162



*Михаил Иванович Блудов*

БЕСЕДЫ ПО ФИЗИКЕ

Редакторы *Т. С. Гусева* и *Н. В. Хрусталь*

Суперобложка и цветные иллюстрации  
художника *В. Н. Добровольского*

Рисунки художников *Г. П. Кляевского*  
и *А. В. Кондратьева*

Художественный редактор *М. Л. Фрам*

Технический редактор *В. И. Корнеева*

Корректоры *Н. И. Котельникова* и *З. А. Беспалова*

\* \* \*

Сдано в набор 1/VII 1963 г. Подписано к печати  
2/XI 1963 г. 70×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Печ. л. 10,5 (12,29)+  
+ вкл. 1(1,17). Уч.-изд. л. 10,57+вкл. 2,52  
Тираж 80 000 экз. А06943. Заказ № 622.

\* \* \*

Издательство «Просвещение»  
Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Первая Образцовая типография  
имени А. А. Жданова

Главполиграфпрома  
Государственного комитета  
Совета Министров СССР  
по печати

Москва, Ж-54, Валовая, 28.

Цена без переплета 67 коп.

Переплет 8 коп.

\*

73 коп.



75 коп.



БЕСЕДЫ ПО ФИЗИКЕ  
М. И. БЛУДОВ