









УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ДЛЯ ШКОЛ I и II СТУПЕНИ

---

37988

А. В. ЦИНГЕР

# НАЧАЛЬНАЯ ФИЗИКА

ИЗДАНИЕ ДЕВЯТОЕ

*Научно-Педагогической Секцией  
Государственного Ученого Совета  
допущено для школ II ступени*

349 — 398 ТЫСЯЧА

130-138



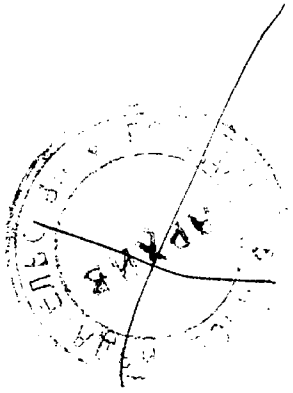
---

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МОСКВА 1927 ЛЕНИНГРАД

ГОС. ПУБЛИЧНАЯ  
НАУЧНО-ТЕХ. БИБЛИОТЕКА  
БИБЛИОТЕКА ООСР

219-1  $\frac{14}{68}$

ЖС  
11325



Гиз № 18728  
Ленинградский Гублит № 31570.  
26 л. Тираж 50.000

*Памяти*

*дорогого товарища школьной юности*

*ВЛАДИМИРА МИХАЙЛОВИЧА САБЛИНА,*

*первого издателя этой книжки,*

*посвящает автор.*





## Из предисловия к 1-му изданию

(для преподавателей).

«Первая ступень» начальной физики представляет собой попытку дать элементарный очерк физики, имеющий целью выяснить сравнительно немногие основные, более доступные для начинающих вопросы и лишь наметить вопросы более сложные.

В элементарной школе с краткими программами, вероятно, можно было бы ограничиться подобным кругом сведений, среди которых наиболее существенные и элементарные выделены крупным шрифтом.

В средней школе с более широкими программами такой очерк, мне кажется, мог бы представлять собой **п е р в ы й к о н ц е н т р** сведений по физике, пройдя который, ученики, уже несколько ориентированные среди разнообразия физических явлений, могли бы проходить сжатый, более строгий **в т о р о й к о н ц е н т р** с развитием главнейших более сложных вопросов.

Цель «Первой ступени» заключается в том, чтобы дать элементарные сведения, ознакомить с принятыми терминами, помочь научиться примитивному экспериментированию, а главное возбудить интерес к содержанию физики и привить любовь к наблюдению.<sup>1</sup>

Всякий преподаватель легко оценит трудность изложения при поставленных задачах. Пусть не поставят они в вину, если не везде удалось мне с успехом лавировать между живостью изложения и достаточной сжатостью, между ясностью и надлежащей точностью.

Убедительно и настойчиво прошу товарищей не отказать сообщить мне свои замечания относительно недосмотров и изъянов книжки.

Мне посчастливилось работать с издателем, который с редкой щедростью стремился придать изящную внешность, справедливо полагая, что внешняя привлекательность книги несомненно бесполезна педагогически. По инициативе издателя, я с радостью, наперекор обычаю,<sup>2</sup> внес в учебник несколько портретов деятелей науки с краткими биографическими примечаниями. Конечно, при этом история науки затрагивается слишком поверхностно: тут только несколько крупных имен, несколько дат, несколько классических легенд, как «Эврика!» — Архимеда и «*E pur si muove!*» — Галилея. Мне не представляется это неуместным в начальной физике.

Из 500 с лишком рисунков более 400 сделаны заново.

Не могу не выразить здесь своей искренней благодарности художнику П. В. Абрамову, который не только тщательно выполнил многие — несомненно удачнейшие — рисунки и все виньетки, но, кроме того, так много помог мне в подготовке и воспроизведении всех остальных иллюстраций.

Глубоко благодарен я также заведывающему типографией С. М. Михайлову, с живым интересом вкладывавшему всю свою опытность в сложное дело набора и тиснения этого томика.

*Ал. Цингер.*

<sup>1</sup> С целью развития наблюдательности, которой обычно так непростительно мало в питомцах нашей средней школы, я позволил себе присоединить к книжке «Послесловие», которое при классном обучении годится разве только для чтения вслух, как тема для беседы в последний свободный урок перед каникулами.

<sup>2</sup> В настоящее время такой обычай начинает прививаться (прим. к 4-му изданию).

## К 6-му изданию.

21 апреля 1916 года тяжкий недуг свел в преждевременную могилу первого издателя «Начальной физики» — Владимира Михайловича Саблина, которому книжка эта в значительной мере обязана не только своим успехом, но и самым существованием.

С чувством глубокой признательности вспоминаю то исключительное внимание и тот искренний, живой интерес, которые проявлял Владимир Михайлович к работе над этой книжкой. Среди этой работы развились и окрепли наши теплые дружественные отношения, начало которых восходило к далеким годам нашей ранней юности.

Владимиру Михайловичу считал я своим долгом посвятить прежние издания «Первой ступени»; настоящее издание посвящаю его памяти.

Горячее, сердечное ему спасибо! Мир его праху!

Выражая искреннюю признательность всем сообщавшим мне свои отзывы и замечания относительно недочетов в первых изданиях книжки, убедительно прошу всех читателей, как учащихся, так и учащихся, не отказать в дальнейших указаниях.

А. Ц.

## К 10-му изданию.

В настоящее издание, помимо мелких исправлений и дополнений, заново введено, во-первых, элементарное ознакомление с 3-м динамическим законом Ньютона (§ 50), во-вторых, довольно значительная по своему объему глава X — «Графики физических явлений и законов». К этому существенному дополнению учебника побудило меня все более и более настойчиво высказываемое педагогами мнение, что и на 1-й ступени обучения ознакомление с графическим методом вполне возможно и целесообразно. Горячо сочувствуя этому течению педагогической мысли, я не решился, однако, изменить всю структуру книжки, вставляя графики в различных местах по всему курсу, а предпочел выделить их в отдельную главу. Надеюсь, что для преподавателя, который предпочтет связывать графики с соответствующими вопросами курса при первом же с ними ознакомлении, все же не представит большого затруднения расположение материала, принятое в настоящем издании. Самое изложение графического метода оставляет, разумеется, много желать в отношении полноты и строгости, но сомневаюсь, чтобы в начальной физике было уместно вдаваться в подробности, имеющие по существу математический характер.

При выпуске настоящего издания считаю приятным для себя долгом выразить глубокую признательность проф. М. М. Глаголеву и другим лицам, которые в то время, когда я был лишен возможности принять участие в работе, взяли на себя сложные хлопоты по выпуску предыдущего печатавшегося в Лейпциге издания (9-го).

Горячей признательностью обязан я также берлинскому представительству Наркомпроса, благодаря ценному содействию которого, работая в Берлине, я был снабжен многочисленными образцами новейшей европейской и американской учебной литературы, что так много помогло мне в работе вообще и в частности при пересмотре настоящего издания «Начальной физики».

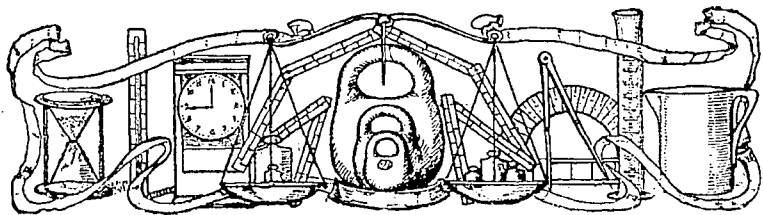
Наконец, может-быть, более, чем всех других, должен я благодарить уважаемого товарища по педагогической работе, Ф. Н. Красикова, взявшего на себя тяжелый, кропотливый труд корректуры и окончательного редактирования. На его имя по адресу Центрального Физико-Педагогического Института (Москва, Китайский проезд, 3) прошу учащихся и учащихся направлять свои указания, замечания и пожелания, касающиеся книги.

А. Ц.

Берлин.  
Май 1923.

# НАЧАЛЬНАЯ ФИЗИКА





## ГЛАВА ПЕРВАЯ.

### ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ.

**1. Физическое тело. Вещество.** Слова: **физина, физический** происходят от греческого слова  $\phi\acute{o}\varsigma$  (фюсис), означающего **природа**; в буквальном смысле слова «**физика**» значит «**наука о природе**».

**Физическим телом** мы называем всякую вещь, всякий вещественный предмет, все материальное, вещественное.

Бумага, перо, чернила, стол, мел, спичка, стены комнаты, воздух, человеческое тело, дерево, облако, земной шар, солнце и т. д., все это — **физические тела**.

Всякое физическое тело непременно занимает собой некоторую часть пространства и может так или иначе действовать на наши органы чувств; всякое физическое тело можно или видеть, или слышать, или осязать, или чувствовать по запаху, по вкусу. Мы не могли бы иметь понятия о существовании такого тела, которое совершенно не вызывало бы в нас никаких ощущений.

Все то, из чего состоят физические тела, весь тот материал, из которого состоит вещественный мир, мы называем **веществом** или **материей**.

**2. Явления. Явления физические и химические.** Всякие перемены, которые мы постоянно наблюдаем среди окружающих нас физических тел, называются **явлениями**.

Например, когда вы пишете, то происходят явления: движение вашей руки, прилипание чернил к перу, трение пера о бумагу, прилипание чернил к бумаге, просыхание чернил и т. д. Если зажечь спичку, то происходят явления: горение спички, образование пламени, рассеяние дыма, образование и распространение тепла и света и т. д.

Бесконечно разнообразные явления можно разделить на два разряда — на явления **физические** и явления **химические**.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Слово **химия** происходит от греческого  $\chi\eta\mu\acute{\iota}\alpha$  (хемейя), обозначавшего в Греции «египетскую науку». Среди разнообразных знаний, которые составляли древне-египетскую науку, были и относящиеся к области химии в теперешнем смысле слова.

Физическими явлениями мы называем такие явления, при которых не происходит превращения одного вида вещества в другой.

Химическими явлениями, наоборот, называются такие явления, при которых именно происходит такое превращение вещества.

Явления прилипания чернил к перу и к бумаге, явление падения капли чернил следует назвать явлениями физическими; наоборот, явление горения спички следует назвать явлением химическим, так как при горении вещество спички претерпевает значительные изменения: вместо спички получается уголь, пепел, дым и другие летучие продукты горения, которые рассеиваются в воздухе.

Рассмотрим для примера несколько явлений, чтобы приучиться вглядываться в их подробности и точнее уяснить себе разницу между явлениями физическими и химическими.

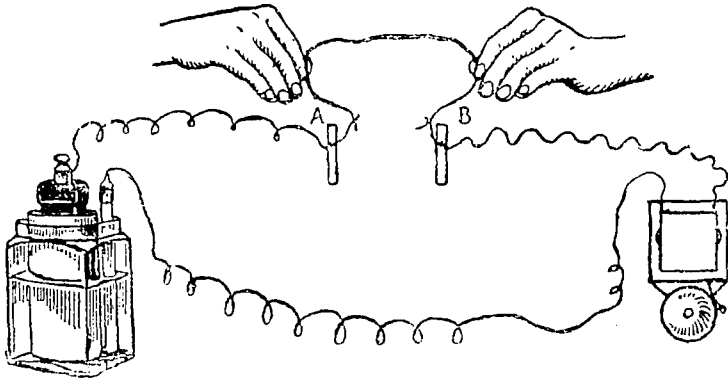


Рис. 1.

Звонок звонит, когда А и В замыкаются металлической проволокой.

1. Возьмем две проволоочки, по виду довольно похожие друг на друга: одна проволоочка серебряная, другая магниевая. Между этими проволоочками есть сходства; обе они обладают металлическим блеском, обе белого, «серебристого» цвета. Чтобы обнаружить для примера одно из свойств, общих обеим проволоочкам, возьмем обыкновенный электрический звонок. Если звонок соединить с гальваническим элементом металлическими проволоками, то звонок звонит. Раздвинем концы проволок и будем пробовать соединять их при помощи различных материалов. Если концы соединить деревянной спичкой или стеклянной палочкой, звонок не звонит, но если будем соединять нашими проволоочками, то звонок будет звонить и при той, и при другой проволоочке (рис. 1). Обе проволоочки проводят электрический ток, тогда как дерево и стекло тока не проводят. Нетрудно подметить и различие между нашими проволоочками: серебряная проволоочка при одинаковых размерах заметно тяжелее магниевой; на маленьких весах эта разница ясно обнаруживается. Пробуя отломить кусочки от той

и другой проволоочки, легко обнаружим, что серебряная значительно тверже, прочней.

Внесем серебряную проволочку в горячее пламя спиртовой или газовой горелки. Разогревшись, проволочка раскалится, будет светить ярким красноватым светом, потом конец проволочки растает, расплавится, и образует каплю. Вынув теперь проволочку из огня и остудив, увидим, что капля застыла в твердый шарик. Итак, мы наблюдали явление, заключающееся в том, что серебро раскалялось, расплавлялось, приняло форму шарика и снова отвердело. При этих изменениях вещество серебра не изменяется, серебро остается серебром. Явления расплавления и отвердевания серебра мы называем физическими явлениями.

Введем теперь в пламя проволочку магния. Накалившись, магний загорается светлым пламенем, при чем образуется белый дым и остается легкий белый пепел, совершенно не похожий на первоначально взятую металлическую проволочку. Этот белый дым, этот пепел представляет собой новое вещество, так называемую жженую магнезию, представляющую собой соединение магния с кислородом — газом, содержащимся в воздухе. Такое явление горения следует, конечно, причислить к химическим явлениям.

II. Возьмем немного воды в пробирную трубку и будем нагревать над пламенем горелки. Вода вскоре закипит, обращаясь в пар,<sup>1</sup> пар воды, попадая в верхнюю, менее нагретую часть трубки, снова обращается в воду, которая в виде мелких капелек садится на стенки трубки (рис. 2). Обращение воды в пар и обращение пара в воду мы называем физическим явлением. Физическим же явлением называют и наблюдаемое при охлаждении превращение воды в лед. При этих превращениях вещество воды не изменяется; вода переходит только, как говорят, из одного состояния в другое.

Подобный же переход из одного состояния в другое можно наблюдать с иодом.

Разогреем низ пробирной трубки и бросим туда кусочек твердого иода; он обратится там в пар лилового цвета. Охлаждаясь, этот пар снова обращается в твердый иод, который в виде маленьких блестящих иголочек садится на стенки трубки.

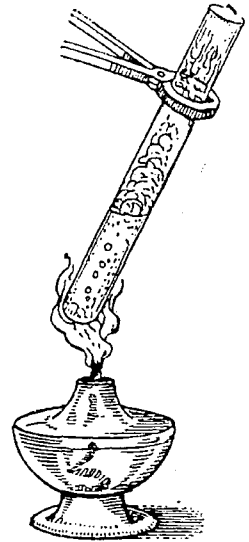


Рис. 2.

Вода при нагревании обращается в пар, который, охлаждаясь, снова обращается в воду.

<sup>1</sup> Пар воды совершенно прозрачен и бесцветен, как воздух. Облака, туман, а также и те видимые сероватые облачка, которые выходят, например, из горячего самовара и называются обыкновенно «паром», представляют собой не пар, а жидкую воду в форме чрезвычайно мелких капель.

Попробуем теперь нагреть в пробирной трубке немного красного порошка о к с и р т у т и. Через некоторое время порошок почернеет, и мы заметим следующие изменения; внутри трубки появится газ, отличающийся от комнатного воздуха, это — к и с л о р о д; если теперь ввести в трубку слегка тлеющую деревянную палочку, она ярко вспыхивает; на стенках в верхней части трубки появляются мелкие серебристые капельки ртути. Окись ртути от нагревания распалась на ртуть и кислород. Произошло х и м и ч е с к о е я в л е н и е.

III. Возьмем кусочек мела. Можно заставить этот мел упасть с некоторой высоты, при этом мел может расколоться; можно истолочь этот мел в ступке. Падение мела, раздробление его на части — явления ф и з и ч е с к и е.

Положим кусочек мела в пробирную трубку и вольем туда соляной кислоты. При этом будут выделяться пузырьки газа, который скоро наполнит трубку. Этот газ отличается и от воздуха и от кислорода: в нем совсем гаснет зажженная лучинка. Это у г л е к и с л ы й г а з, — тот самый газ, который мы выдыхаем при дыхании.

Так как с углекислым газом приходится не один раз иметь дело при изучении физики, то укажем один из способов получения этого газа в значительных количествах.

В двугорлую склянку (рис. 3) кладут мел или мрамор и через воронку с трубкой, доходящей почти до дна, вливают соляную кислоту; образующийся газ заполняет склянку, вытесняет воздух и по трубке выходит наружу.

Углекислый газ настолько тяжелее воздуха, что его можно некоторое время держать в открытых сосудах и переливать из одного сосуда в другой, подобно жидкости. Если на весах уравновесить какой-нибудь сосуд, то, наливая в этот сосуд углекислый газ, заметим отклонение весов (рис. 4). Чтобы следить за тем, где находится углекислый газ, удобнее всего пользоваться горячей палочкой или свечкой, которые гаснут, попадая в углекислый газ.

Понятно, что явление получения углекислого газа при действии соляной кислоты на мел надо причислить к х и м и ч е с к и м явлениям.

Прибор, подобный тому, который изображен на рис. 3, может служить для добывания в о д о р о д а; для этого в двугорлую склянку кладут кусочки цинка и обливают его смесью серной кислоты с водой.

Водород — самый легкий из газов: мыльные пузыри, наполненные водородом, быстро взлетают к потолку комнаты. Водород горит в воздухе: мыльные пузыри с водородом загораются, при прикосновении с пламенем.

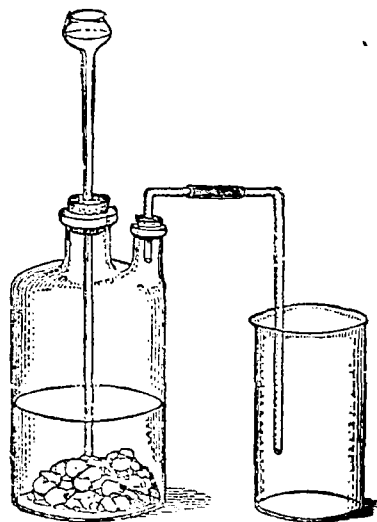


Рис. 3.

Добывание углекислого газа химическим действием соляной кислоты на мрамор.



Очень часто химические и физические явления происходят одновременно и в зависимости одно от другого; так, при химическом явлении горения спички мы одновременно наблюдаем физические явления: распространение теплоты и света, движение потока горячих газов вверх и проч.

Впоследствии нам придется встречаться и с такими явлениями, которые можно отнести как к физическим, так и к химическим.

**Физика и химия** являются науками родственными и тесно связанными между собой.

**3. Состояние вещества.** Такие тела, как мел, дерево, серебро, магний, лед, мы называем **твердыми**. Твердым телом мы назовем всякое прочное, крепкое тело, которое сохраняет свой объем и свою форму и представляет значительное сопротивление, если мы попробуем его согнуть, скрутить, сдвинуть или разломить, разорвать.

Такие тела, как веревка, нитка, тонкий лист бумаги, различные ткани и т. п., мы относим также к разряду твердых тел. Правда, подобные тела легко изменяют свою форму, но признаком твердости их является их большее или меньшее сопротивление разрыву, разделению на части.

Такие тела, как: вода, чернила, соляная кислота, ртуть, спирт, мы называем **жидкими** телами, или **жидкостями**. Жидкости не способны сохранять своей формы: они растекаются, разливаются. Чтобы сохранять жидкости, их вливают в сосуды, которые они заполняют, принимая форму этих сосудов.

Только в очень небольших количествах, в форме капель, жидкости способны удерживать свою собственную форму, но и в этих случаях жидкости не обладают свойствами твердого тела.

Надо очень мало усилия, чтобы отделить одну часть жидкости от другой. Опуская, например, руку в ведро с водой или палец в стакан, мы почти не замечаем никакого усилия.

Заметим, что встречаются некоторые тела, как: смола, сапожный вар, густой сироп, желе, которые обладают одновременно и свойствами твердых тел, и свойствами жидкости. Если по куску вара ударить молотком, то кусок раскалывается как твердое тело, но отдельные куски вара, положенные в стакан, через несколько дней спаиваются в сплошную массу с ровной поверхностью. Вар способен течь как жидкость, но только чрезвычайно медленно. Кусок свинца, положенный на поверхность вара, медленно тонет в нем.<sup>1</sup>

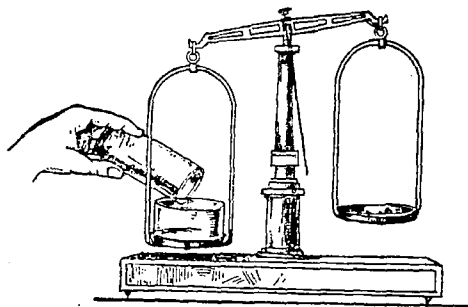


Рис. 4.

Весы отклоняются от тяжести углекислого газа.

<sup>1</sup> Подобные опыты хорошо удаются с так называемым «толуанским бальзамом», который продается в аптекарских магазинах.

Воздух, кислород, водород, углекислый газ, водяной пар, ртутный пар могут служить примерами **газобразных** тел или **газов**. Газы еще более удобоподвижны, чем жидкости; они представляют еще менее сопротивления при изменении их формы; для отделения одних частей газа от других требуется еще меньше усилия, чем для жидкостей.

Мы постоянно окружены воздухом, но ощущаем его присутствие, лишь когда сами быстро движемся (взмах руки, быстрая езда), или когда воздух быстро движется (ветер).

Существенная разница между жидкостями и газами заключается в том, что для уменьшения объема, для сжатия жидкости требуется огромное усилие, тогда как газы сжимаются сравнительно легко.

Возьмем аптечную склянку, наполним ее водой и будем вводить в горлышко плотно входящую пробку. Часть воды при этом выплескивается наружу. Если в склянку не попадет воздуха, то даже при большом усилии пробка не подается внутрь воды. Если ударить по пробке молотком, то склянка от напора воды может лопнуть. Если же в склянке будет пузырек воздуха, то, нажимая на пробку, можно заметить, что пробка подается внутрь, а пузырек воздуха при этом заметно сокращается в объеме.



Рис. 5.

Изменяя ртом давление воздуха, можно изменить объем мыльной пены.

Мы видим, что воздух — газообразное тело, сжимается, а вода, жидкое тело, не сжимается заметно.

Сжимаемость воздуха удобно наблюдать так: возьмем в пробирку мыльной пены. Если в пробирку вдуть воздух ртом, то под давлением воздуха объем каждого пузырька пены, а потому и объем всей пены уменьшится; если, наоборот, вытягивать из пробирки воздух, то давление на пену уменьшится и объем пены увеличится (рис. 5).

Существуют приборы, позволяющие изменять давление воздуха в гораздо большей степени, чем это можно сделать ртом. При помощи таких приборов, понятно, уменьшение и увеличение объема воздуха можно сделать гораздо более заметным.

Если воспользоваться воздушным насосом (устройство которого объясним после), то можно сделать такой опыт: возьмем резиновую оболочку от игрушечного воздушного шара; оставим в оболочке небольшое количество воздуха и крепко завяжем отверстие. Если этот шар положить под колокол воздушного насоса и выкачивать воздух, то воздух, заключенный в оболочке, избавляясь от давления окружающего воздуха, сильно расширяется и раздувает оболочку (рис. 6).

Всякий газ, не сдерживаемый какими-нибудь силами или стенками, стремится занять возможно больший объем,

Мы называем серебро твердым телом, воду, ртуть — жидкостями, воздух, углекислый газ — газообразными телами. Среди предыдущих опытов мы видели, однако, что твердое серебро в сильном пламени плавится, обращается в жидкость, оно может обращаться и в пар, в газообразное тело.

Вода бывает и твердой, в виде льда или снега, и газообразной, в виде пара.

В опыте с нагреванием окиси ртути нам пришлось наблюдать ртуть в газообразном состоянии, а при очень сильных морозах<sup>1</sup> ртуть замерзает, становится твердой.

Углекислый газ, сильно сжатый и охлажденный, может быть обращен и в жидкость,<sup>2</sup> и в твердое тело.

Очень сильным охлаждением можно и воздух обратить в жидкость и в твердое тело.

Одно и то же вещество может быть в различных состояниях: в твердом, в жидком и в газообразном.

Мы называем серебро твердым, ртуть жидким, а воздух газообразным телом, потому что обыкновенно, при обыкновенных условиях, эти тела бывают в таких состояниях.

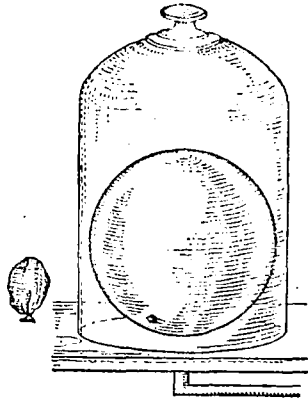


Рис. 6.

Небольшое количество воздуха раздувает шар, помещенный в безвоздушном пространстве



Рис. 7.

Бомба, содержащая жидкую углекислоту.

**4. Строение вещества. Кристаллы.** Всматриваясь в вещество, составляющее различные тела, мы замечаем, что тела различаются между собою большею или меньшею однородностью своего состава. Такое тело, в котором каждая

частица похожа на всякую другую частицу, мы называем однородным, например: кусок железа, капля ртути, капля воды, некоторый объем воздуха. Если вещество, составляющее тело, явно в одном месте одно, а в другом другое, то такое тело мы называем

<sup>1</sup> Когда наши обыкновенные термометры (так называемые термометры Реомюра) показывают около 32° ниже нуля.

<sup>2</sup> В продаже существует именно жидкая углекислота. Она хранится в прочных металлических сосудах (бомбах) (рис. 7).

Если струю жидкой углекислоты выпустить наружу, то вследствие очень быстрого испарения получается такой холод, что часть углекислоты отвердевает и получается в виде белых хлопьев углекислого «снега».

Закрыв отверстие, из которого вытекает углекислота, каким-нибудь мешком, легко собрать этот углекислый снег, который постепенно улетучивается, обращаясь из твердого состояния прямо в газ.

Холодом углекислого снега (около 55° мороза по термометру Реомюра) легко замораживается ртуть.

неоднородным. Например, человеческое тело, ручка для пера, кусок дерева, кусок гранита представляют примеры в различной степени неоднородных тел.

Понятно, что более тщательное и подробное исследование может обнаружить неоднородность там, где ее на-глаз незаметно: под микроскопом меловая пыль представляет собой обломки раковин самой разнообразной формы, а в капле воды можно иногда увидеть множество разнообразных живых организмов.

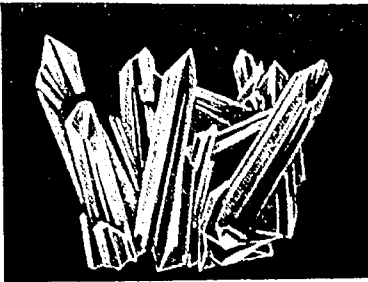


Рис. 8.  
Кристаллы горного хрусталя

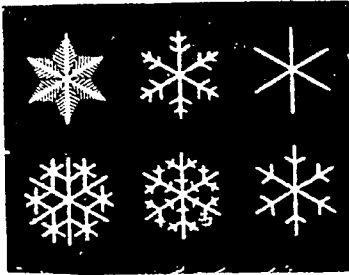


Рис. 9.  
Формы снежных эзезлочек.

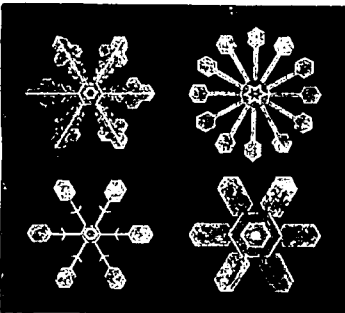


Рис. 10.  
Фотографические изображения снежинок при сильном увеличении.



Рис. 11.  
Морозные узоры из кристалликов льда.

Совершенно однородным телом мы называем такое, в котором никакими доступными нам средствами нельзя подметить неоднородности.

Если взглянуть в кусок сахара или в нетолченную поваренную соль, то ясно можно заметить, что они состоят из мелких кусочков, ограниченных как-будто отшлифованными плоскими гранями. Твердые тела, которые сами собой принимают форму таких более или менее правильных многогранников, называют **кристаллами**.

Мы знаем, что если положить поваренную соль в воду, то она в воде разойдется, **р а с т в о р и т с я**.

Если растворить как можно больше соли в небольшом количестве воды и потом этот **р а с т в о р** оставить спокойно стоять в открытом стакане или в блюде, то через несколько времени (несколько дней) часть воды испарится, а соль будет появляться на дне в виде **к р и с т а л л о в**, имеющих форму **п р а в и л ь н ы х к у б и к о в**. Очень многие вещества выделяются подобным образом из растворов в виде кристаллов, формы которых зависят от вещества и бывают весьма разнообразны.<sup>1</sup>

Очень многие вещества в природе встречаются в форме кристаллов различных величин и различных форм; для примера укажем **г о р н ы й х р у с т а л ь**, или **к в а р ц**, который встречается иногда в виде очень больших кристаллов (рис. 8). Благодаря кристаллической форме частичек льда, зимой на окнах получаются всем знакомые морозные узоры, а снежинки образуются в форме разнообразных правильных звездочек (9, 10 и 11).

**5. Непроницаемость вещества.** Всякое вещественное, «физическое» тело непременно занимает некоторую часть пространства,

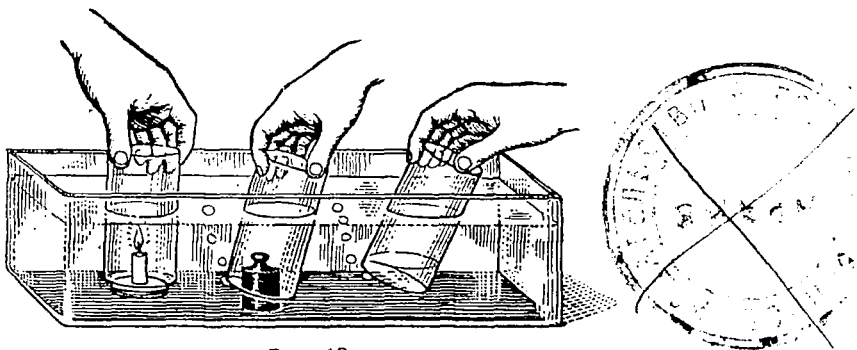


Рис. 12.

Опыты, обнаруживающие непроницаемость воздуха.

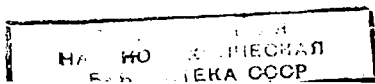
и в том месте, которое занято одним телом, другое тело одновременно помещаться не может. Это свойство вещества называется **н е п р о н и ц а е м о с т ь ю**.

Если я окуну палец в стакан с водой, то палец, входя в воду, вытеснит с этого места воду, и уровень воды в стакане поднимется, а если стакан полон, — вода выльется.

<sup>1</sup> Красивые кристаллы можно получать из растворов: квасцов, двухромовокислого калия, медного купороса и др.

А. Цилгер. Нач. физ.

2



14  
219/68

Если я опущу палец в «пустой» стакан, то вытесню тот воздух, который находился в стакане. Чтобы видеть, как вытесняется из стакана воздух, когда в стакан что-нибудь входит, опустим о п р о к и н у т ы й стакан в воду; вода не войдет в стакан. Если стакан слегка наклонить, то вода будет проходить в стакан, но вместе с тем воздух будет пузырями выходить из стакана. Если на дно сосуда поставить какой-нибудь предмет и накрывать его стаканом, то, по мере того, как предмет будет входить в стакан, воздух будет из него выходить (рис. 12).

? Не нарушается ли непроницаемость вещества, когда вбивают в землю кол, или гвоздь в стену?

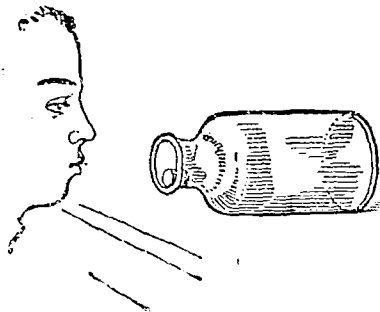


Рис. 13.

При вдувании воздуха пробка вылетает наружу.

? Положите на стол широкогорлую бутылку и вложите в горлышко небольшой кусок пробки. Если вы дунете на пробку, стараясь вдунуть ее в н у т р ы бутылки, пробка полетит не внутрь, а н а р у ж у (рис. 13). Почему?

**6. Измерения.** При изучении физических явлений и свойств тел на каждом шагу приходится и з м е р я т ь те или другие величины, играющие роль в явлениях; напр., размеры тел, расстояния между телами, вес тел, температуру тел, время, в течение которого происходит то или другое явление, и т. д., и т. д.

Измерение есть сравнение величины с однородной ей величиной, принятой за е д и н и ц у. Например, измерить длину комнаты значит сравнить эту длину с длиной, выбранной за единицу, например: с аршином, саженью или метром.

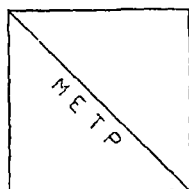
Ниже мы ознакомимся с принятыми единицами основных физических величин.

**7. Единицы длины.** В научных измерениях во всех странах в настоящее время принята так называемая м е т р и ч е с к а я (десятичная) с и с т е м а м е р.

Название метрической системы происходит от слова м е т р, <sup>1</sup> обозначающего основную единицу длины.

На старую русскую меру длина метра немного менее п о л у т о р а а р ш и н а, приблизительно  $22\frac{1}{2}$  вершка.

В квадрате, каждая сторона которого равна 1 аршину, длина диагонали очень близка к 1 метру (рис. 14).



А Р Ш И Н

Рис. 14.

<sup>1</sup> От греческого слова *μέτρον* (метрон) — мера.

Длина метра почти в точности равна одной сорокамиллионной  $\left[ \frac{1}{40\,000\,000} \right]$  доле длины земного меридиана (круг по поверхности земли, проходящий через полюсы; рис. 15).

В приблизительных расчетах, считая землю правильным шаром, можно и длину экватора принимать равной 40 000 000 метров.

В Севре, близ Парижа, в Международном Бюро Мер и Весов с особыми предосторожностями хранится сделанный из чрезвычайно прочного, неизменяющегося материала (из иридиевой платины) стержень, на котором отмечена точная длина метра.<sup>1</sup>

С этого образцового метра сделано с различной точностью и аккуратностью бесчисленное множество копий, которые служат для научных, технических, торговых и всяких других надобностей.

Чтобы не выражать больших длин слишком большими числами, а маленьких слишком малыми дробями, на ряду с метром употребляются более крупные и более мелкие единицы, составляющие десятки, сотни, тысячи метров, а также десятые, сотые, тысячные доли метра.

Единицы эти носят названия:

Дека метр	(dkm) =	10 метрам
Гекто метр	(hm) =	100 метрам
Кило метр	(km) =	1000 метрам
Деци метр	(dm) =	0,1 метра
Сантиметр	(cm) =	0,01 метра
Милли метр	(mm) =	0,001 метра
Микрон	(μ) =	0,000001 метра <sup>2</sup>

Для наглядности приводим таблицу производных единиц длины с указанием приблизительной их величины в русских мерах.

<sup>1</sup> Две сделанные со всевозможной тщательностью копии с этого метра имеются в СССР; они хранятся в Академии Наук и в Главной Палате Мер и Весов (в Ленинграде).

Подобные копии существуют и в других государствах.

<sup>2</sup> Приставки: дека-, гекто-, кило- происходят от греческих слов *δέκα* (дека) — десять, *ἑκατόν* (гекатон) — сто, *χίλιοι* (хилиой) — тысяча.

Приставки: деци-, санти- (или центи-), милли- происходят от латинских слов *decem* — десять, *centum* — сто, *mille* — тысяча.

Слово микрон происходит от греческого слова *μικρός* (микрос) — малый.



Рис. 15.

Длина четверти меридиана равна 10 000 000 метров.

1000 метров — километр (km) =  $\frac{15}{16}$  версты (точнее 0,937 версты)

100 » гектометр (hm) } редко употребляются.  
10 » декаметр (dam) }

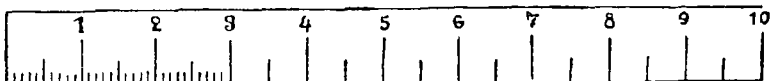
Метр (m) = { 22,5 вершка  
3 фута 3 д. 3 линии (точнее 3,281 ф.)  
39,37 дюймов

0,1 метра — дециметр (dm) = 3,94 дюйма

0,01 » сантиметр (cm) = 0,394 »

0,001 » миллиметр (mm) = 0,394 линии.

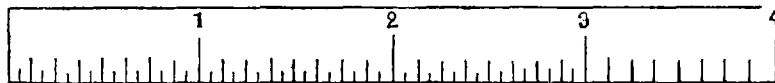
0,000001 » микрон ( $\mu$ )



САНТИМЕТРЫ



ВЕРШКИ



ДЮЙМЫ



СОТКИ (1/100 САЖЕНИ)

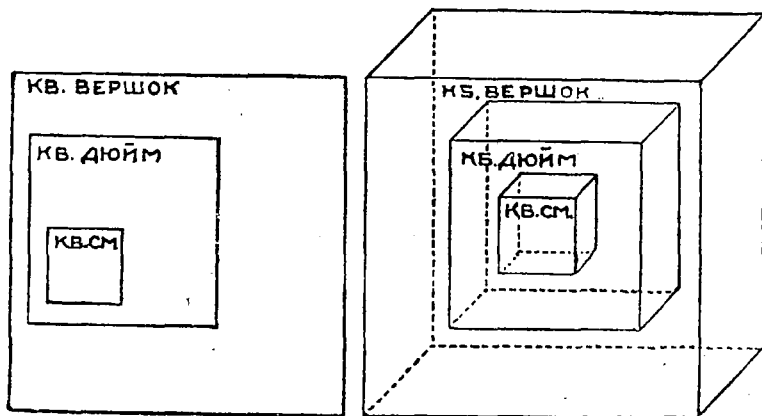


Рис. 16.

Образцы линейных, квадратных и кубических мер в натуральную величину.



Полезно запомнить и некоторые величины русских единиц, выраженные в метрических:

1 аршин = 71 см, точнее, 71,12 см.
1 фут = 30,5 см.
1 сотка ( $1/100$ сажени) = 2,13 см.
1 дюйм = 2,5 см, точнее 2,54 см.

**8. Измерение длин.** Для измерения различных длин употребляются разделенные на сантиметры и миллиметры линейки, называемые *м а с ш т а б а м и*, которые изготавливаются различных вели-

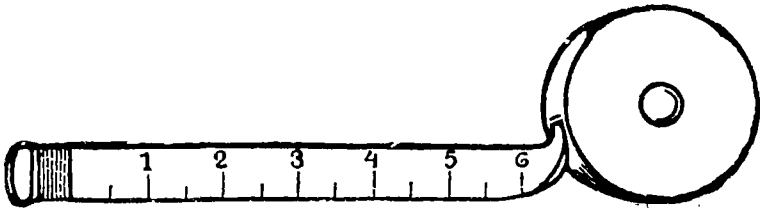


Рис. 17.

Рулетка с подразделениями на сантиметры.

чин, из различных материалов с различной точностью, смотря по надобности.

Для измерения больших длин употребляются «рулетки» — длинные разделенные ленты, сматывающиеся внутри прочной коробки (рис. 17).

Положим, нам нужно смерить длину иголки. Приложим иголку к масштабу так, чтобы один конец совпал с началом первого сантиметра, и посмотрим, где придется другой ее конец (рис. 18). Мы видим, что он приходится очень близко к концу 5-го сантиметра. Отсюда заключаем, что длина иголки очень близка к 5 см, или 50 мм. Если мы желаем определить длину точнее, то обращаем внимание на то, что острие иголки чуть заходит за первый миллиметр 6-го сантиметра, следовательно, точнее, длина иголки равна 5,1 см, или 51 мм.

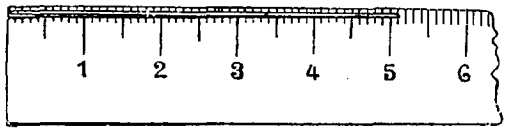


Рис. 18.

Измерение длины иголки при помощи масштаба.

Если мы хотим определить длину еще точнее, то мы должны принять в соображение и тот кончик, который заходит за 51-й мм; длину этого кончика мы можем определить приблизительно на-глаз в десятых долях миллиметра. Положим, что приблизительная величина этого кончика 0,2 мм, и, следовательно, длина всей иголки равна 51,2 мм.

При такой оценке мы, благодаря недостаткам нашего зрения, благодаря тому, что начало иголки не в точности совпадает с началом масштаба, наконец, благодаря вероятной, хоть маленькой, неверности

самого масштаба, — могли сделать ошибку. Чтобы определить возможную величину этой ошибки, можно измерение произвести несколько раз, изменяя условия: повертывая иголку, измеряя ее различными масштабами, или в разных местах одного и того же масштаба и т. д. Положим, что при таких измерениях мы получали различные длины от 51 мм до 51,5 мм. Так как ошибки наши были одинаково возможны как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения, то можно считать, что среднее арифметическое из всех получаемых результатов близко к истинной длине. Пусть это среднее арифметическое в нашем примере равно 51,23 мм, тогда можно считать, что длина равна 51,2 мм с возможной ошибкой до 0,2 мм. При такой возможной ошибке, разумеется, нет смысла принимать в расчет сотые доли миллиметра.

Если бы измерение производилось с большей тщательностью, при помощи микроскопа, с более точным масштабом и т. д., мы определили бы длину точнее, но все же только приблизительно, все же с возможной ошибкой, только меньшей, чем у нас.

При измерении длин и всяких других величин полезно знать и помнить, как велика возможная ошибка измерения.

**9. Точность измерений.** Не следует думать, что всегда, чем измерение точнее, тем лучше: излишняя точность не имеет никакого смысла.

Положим, что вместо иголки нам надо смерить длину спичечной коробки. В этом случае нет смысла стараться смерить десятые доли миллиметра, так как, измеряя эту длину в разных местах, мы будем получать величины, разнящиеся на целый миллиметр и больше, а потому долями миллиметра мы должны пренебречь.

Не имеет смысла давать расстояние от Москвы до Ленинграда с точностью до одного метра, или даже до одного километра, если не указать в этих городах определенных пунктов, от которых следует считать расстояние.

При измерении величин различных размеров и для различных целей требуется различная точность.

Длина образцового метра в Палате Мер и Весов определяется с точностью до 0,00001 пип, до одной стотысячной доли миллиметра.

По русским законам, в аршинных линейках, служащих для торговых целей, допускалась ошибка в 1 линию, т.-е. больше чем в 2,5 мм.

В приблизительных расчетах часто достаточно метр считать равным  $1\frac{1}{2}$  аршинам, т.-е. пренебрегать ошибкой приблизительно в  $1\frac{1}{2}$  вершка.

Обыкновенно важна не самая величина ошибки, а то, какую долю всей измеренной величины представляет собой возможная ошибка.

Если портной ошибается на 1 мм в длине вашего платья, вы не заметите, но если наборщик ошибется на миллиметр в постановке букв, это всякий ясно заметит.

Арифметические действия над приближительными величинами следует производить также приближенно.

Например,  $\frac{1}{3}$  длины метра, смеренного с возможной ошибкой в 0,5 см, надо считать в 67 см или 66,5 см, а не имеет смысла считать 66,666 см, или 66,667 см.

• Измерьте при помощи масштабов длины: пера, карандаша; размеры книги, тетради, стола, свой рост, длину и ширину классной доски, комнаты, окна и т. п. Оцените приближительно величины возможных ошибок при сделанных измерениях.

Полезно измерить и запомнить: длину своей руки, длину двух верхних суставов указательного пальца, ширину ладони, длину своего шага и т. п. Зная эти величины, можно легко производить приближительные измерения без всяких масштабов.

? Начертите на глазомер отрезки в 18, 25, 40 см длиной и проверьте масштабом.

? Измерьте расстояние между линейками в вашей тетради. Когда измерение будет точнее: если вы смерите только одно расстояние между двумя соседними линейками, или если смерите сразу все расстояния на странице и разделите на число промежутков?

? Измерив толщину книги, определите среднюю толщину бумаги, на которой она напечатана. Оцените возможную ошибку.

? Измерьте длину диаметра и длину окружности какого-нибудь кружка, например, монеты, основания чернильницы и т. п.

Вычислите отношение длины окружности к длине диаметра.

? Определите в метрах длину «морской мили», которая равна длине одной минуты (60-й доли градуса) дуги меридиана.

*Отв. 1852 м.*

**ю Единицы площади. Квадратные меры.** За единицу площади принимается площадь к в а д р а т а, каждая сторона которого равна единице длины.

Поэтому в русских единицах площади измеряются: квадратными дюймами, квадратными аршинами, квадратными футами, квадратными саженьями и т. д.

В метрической системе единицами площади служат квадратные метры, кв. сантиметры, кв. километры и т. д.

Метрические квадратные меры мы будем сокращенно обозначать соответственными буквами линейных мер с показателем 2.

Квадратный метр . . . . .	$m^2$
» дециметр . . . . .	$dm^2$
» сантиметр . . . . .	$cm^2$
» миллиметр . . . . .	$mm^2$
и т. д.	

При превращении и раздроблении метрических квадратных мер следует помнить, что если линейные меры одна больше другой в 10 раз, то соответствующие квадратные меры будут больше одна другой в  $10 \times 10$ , т.е. в 100 раз. Если линейные меры одна больше другой в 100 раз, то соответствующие квадратные меры одна больше другой в  $100 \times 100$ , т.е. в 10 000 раз, и т. д.



Рис. 19.

Квадратный см, разделенный на 100  $mm^2$ .

Таким образом:

$$\begin{aligned} 1 \text{ м}^2 &= 100 \text{ дм}^2 = 10\,000 \text{ см}^2 = 1\,000\,000 \text{ мм}^2 \\ 1 \text{ см}^2 &= 100 \text{ мм}^2 \end{aligned}$$

Зная отношения линейных метрических единиц к русским, нетрудно найти и отношения квадратных единиц.

Например, так как линейный метр содержит 22,5 линейных вершка, то квадратный метр содержит  $22,5 \times 22,5$  — приблизительно 506 квадр. вершков.

Если линейный дюйм содержит 2,5 см, то квадратный дюйм содержит  $2,5 \times 2,5 =$  приблизительно  $6,3 \text{ см}^2$ .

**II. Измерение площадей.** Из геометрии мы знаем, что величина площади прямоугольника равна произведению его двух измерений, т.е. произведение чисел, выражающих основание и высоту прямоугольника в линейных единицах, равно числу, выражающему площадь прямоугольника в соответствующих квадратных единицах.

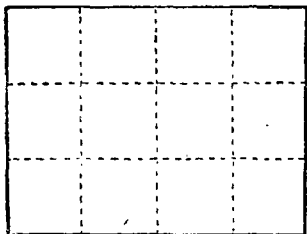


Рис. 20.

Прямоугольник, площадь которого равна  $4 \text{ см} \times 3 \text{ см} = 12 \text{ см}^2$ .

Следовательно, измерение площади всякой прямоугольной фигуры сводится к измерению длин.

Подобным образом к измерению длин сводятся измерения площадей других разнообразных геометрических фигур. Так, например, площадь треугольника выражается половиной произведения основания на высоту. Площадь круга равна квадрату радиуса, умноженному на число  $\pi$ .<sup>1</sup>

Когда измерение площадей сводится к измерению длин, понятно, что точность, с какой измеряются площади, зависит от той точности, с какой измерялись длины.

Если мы не имеем нужных геометрических сведений, или если фигура измеряемой площади не представляет никакой геометрической правильности, то все же можно смерить площадь с большей или меньшей точностью таким, например, способом.

Пусть, например, нам надо смерить площадь такой неправильной фигуры, как кленовый лист. Воспользуемся для этого клетчатой бумагой, разграфленной на квадратные миллиметры (рис. 21). Начертим контур листа на этой бумаге и сосчитаем число квадратиков, попавших внутрь контура. (Для этого, понятно, нет надобности действительно их все по одному пересчитывать.)

<sup>1</sup> Число  $\pi$  выражает отношение длины окружности круга к длине диаметра.  $\pi$  приблизительно равно 3,14 или  $\frac{22}{7}$ .

Если хотим произвести измерение поточнее, то можно присчитать и площади тех квадратиков, которые захвачены контуром лишь отчасти, оценивая на-глаз площади захваченных частей; это, конечно.

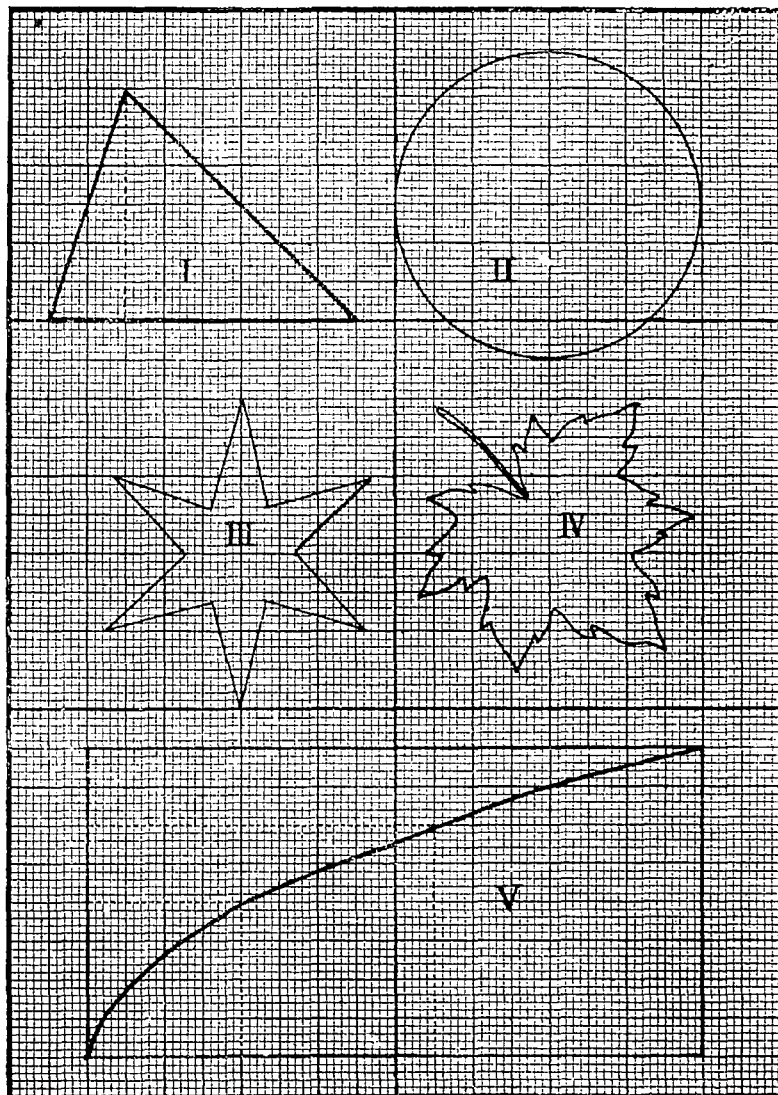


Рис. 21.

Измерение площадей при помощи клетчатой бумаги.

даст более точный результат, чем если бы эти части отбросить, или счесть за целые квадратики.

? Измерьте площадь: листа бумаги, пола комнаты, классной доски и т. п. Начертите на клетчатой бумаге круги с радиусами в 1, в 2, в 3, в 4 и т. д. см, измерьте и сравните их площади.

? Метрической единицей площади земли принят гектар. 1 гектар = 100 ар, 1 ар = 100 м<sup>2</sup>. Выразите величины ара и гектара в квадратных саженьях и десятинах (2400 кв. саж.).

Отв.: 1 ар немного меньше 22 кв. саж.

? На приложенной таблице (стр. 25) измерьте площади круга и треугольника (рис. 21, I и II) один раз счетом квадратиков, а другой раз вычислением по геометрическим формулам.

? Определите, на какие части кривая (парабола), начерченная внизу таблицы (рис. 21, V), разделяет тот прямоугольник, в котором она вычерчена.

**12. Единицы объема.** За единицу объема принимается объем куба, каждое ребро которого равно единице длины.

В русских мерах объемы измеряются кубическими футами, куб. вершками, куб. саженьями и проч.; кроме того, для сыпучих тел единицами объема служат четверть, четверик, гарнец, а для жидких тел — бочка, ведро, бутылка.

В метрической системе объемы измеряются кубическими метрами, куб. сантиметрами, куб. миллиметрами и т. д.

Мы будем сокращенно обозначать единицы объема буквами соответствующих линейных единиц с показателем 3.

Куб. метр . . . . .	m <sup>3</sup>
» дециметр . . . . .	dm <sup>3</sup>
» сантиметр . . . . .	cm <sup>3</sup>
и т. д.	

Если одна линейная единица больше другой в 10 раз, то соответствующие кубические единицы будут одна больше другой в  $10 \times 10 \times 10 = 10^3$ , т. е. в 1000 раз.

$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3 = 1\,000\,000 \text{ cm}^3 = 1\,000\,000\,000 \text{ mm}^3$ $1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3; 1 \text{ cm}^3 = 1000 \text{ mm}^3$
---

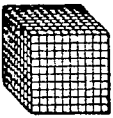


Рис. 22.

Кубический см. разделенный на 1000 куб. мм.

Кубический дециметр носит особое название — **литр**. В странах, где введена метрическая система мер, обыкновенно объемы жидких и сыпучих тел выражаются в **литрах**, а также в десятках и в сотнях литров.

Русское ведро равно приблизительно 12 литрам.

Гектолитр = 100	литрам = 100 dm <sup>3</sup>
Декалитр = 10	литрам = 10 dm <sup>3</sup>
Литр = 1	dm <sup>3</sup> = 1000 cm <sup>3</sup>
Децилитр = 0,1	литра = 100 cm <sup>3</sup>
Сантиметр = 0,01	литра = 10 cm <sup>3</sup>
Миллилитр = 0,001	литра = 1 cm <sup>3</sup>

Если линейный дюйм равен 2,5 линейным сантиметрам, то куб. дюйм равен  $2,5 \times 2,5 \times 2,5 =$  приблизительно  $15,6 \text{ см}^3$ .

**13. Измерение объемов.** Из геометрии известно, что объем прямоугольного параллелепипеда равен произведению трех измерений, т.-е. если перемножить числа, выражающие длину, ширину и высоту прямоугольного параллелепипеда в линейных единицах, то получим число, выражающее его объем в соответствующих кубических единицах.

Этой теоремой, при помощи которой измерение объемов сводится к измерению длин, можно пользоваться при измерении объемов тел, имеющих форму, близкую к прямоугольным параллелепипедам (комната, ящик, коробка, палка сургуча и т. п.).

Для разнообразнейших фигур также можно измерение объемов свести к измерению длин; так, например, чтобы выразить объем шара, зная длину его радиуса, надо число, выражающее длину радиуса, возвести в куб и помножить на  $\frac{4}{3} \pi$ .

Если мы не знаем нужных геометрических теорем, а также если измеряемое тело не представляет никакой правильности, то для определения объемов с большей или меньшей точностью можем воспользоваться таким, например, способом.

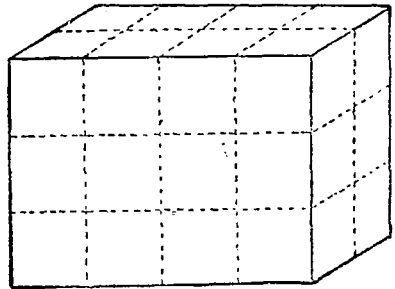


Рис. 23.

Параллелепипед, объем которого равен  $4 \text{ см} \times 2 \text{ см} \times 3 \text{ см} = 24 \text{ см}^3$ .

Возьмем мензурку или градуированный сосуд, т.-е. сосуд, на стенке которого нанесены черточки и поставлены цифры, показывающие, сколько куб. сантиметров жидкости помещается в сосуде, когда уровень жидкости доходит до соответствующей черточки (рис. 24). (Грубую мензурку нетрудно изготовить своими средствами.)

Очевидно, при помощи мензурки легко определить внутренний объем какого-нибудь сосуда: надо наполнить измеряемый сосуд водой, вылить эту воду в мензурку и посмотреть, до какой черты доходит уровень воды в мензурке.

Определить объем какого-нибудь твердого тела можно так: налить в мензурку столько воды, чтобы измеряемое тело все могло быть погружено в воду, и заметить места уровня до и после погружения в воду тела. Подъемом уровня определится объем погруженного тела.

Если измеряемое тело имеет такой объем или такую форму, что его нельзя погрузить в мензурку, то можно пользоваться приспособлением, изображенным на рис. 25.

В просторный сосуд введена изогнутая трубка так, что налитая в сосуд вода не может стоять выше верхнего конца трубки. Как только уровень воды поднимается, излишек воды стекает по трубке вниз.

Измеряемое тело погружается в этот просторный сосуд, а вытекающая вода собирается в мензурку, где измеряется ее объем, равный объему тела.

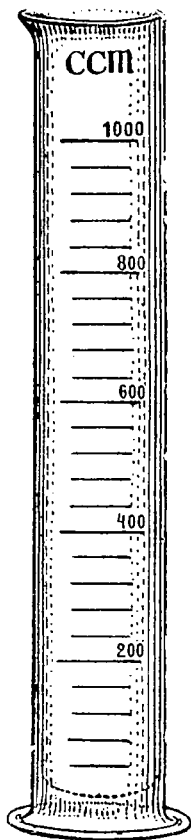


Рис. 24.  
Мензурки.



?) Определите приблизительно: объем комнаты в кубических метрах, объем книги в кубических сантиметрах, объем спички в кубических миллиметрах и т. п.

? При помощи мензурки определите емкость стакана, чашки, рюмки и т. п. в кубических сантиметрах.

? Возьмите какой-нибудь предмет в форме прямоугольного параллелепипеда и определите его объем: один раз, измерив масштабом его длину, ширину и высоту, другой раз при помощи мензурки. Сравните полученные результаты.

? Если у нас имеется довольно широкая мензурка, то, налив в нее немного воды и бросив дробинку (или булавку), мы не заметим подъема уровня.

Как можно при помощи этой же мензурки определить объем дробинки (или булавки) с достаточной точностью?

? Как при помощи мензурки можно определить объем одной капли воды?

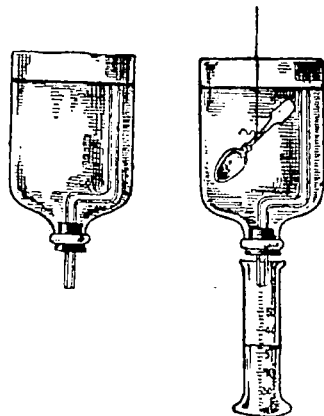


Рис. 25.  
Прибор для определения объемов тел по объему вытесняемой воды.

**14. Сила тяжести.** Весом тел или силою тяжести мы называем ту силу, которая тянет тела вниз, к земле.

Благодаря силе тяжести, тела падают на землю, если какая-нибудь другая сила не препятствует этому падению.

Чтобы тела не падали, их необходимо как-нибудь закреплять, подвешивать или класть на какую-нибудь опору: на пол, на стол, на полку и т. п.

Некоторые тела могут удерживаться не падая, благодаря присутствию окружающего нас воздуха: без воздуха не могли бы летать ни птицы, ни аэростаты, ни воздушные змеи, не мог бы подниматься вверх дым из труб.

**15. Направление силы тяжести.** Уроните дробинку, не давая ей толчка в стороны, она упадет сверху вниз. Подвесьте какую-



нибудь тяжесть на нитке и подождите, когда нитка перестанет колебаться, — нить натянется сверху вниз. То направление, по которому натянется нить, по которому тянет тела сила тяжести, называется **вертикальным** или отвесным направлением.

Для нахождения вертикального направления может служить **отвес**, — прибор, состоящий просто из веревочки с грузом (рис. 26). Такими отвесами пользуются плотники и каменщики при постройке домов (рис. 27).

Направление, перпендикулярное к вертикальному, называется **горизонтальным** направлением.

Если налить жидкость в широкий сосуд и дать успокоиться, то поверхность жидкости примет форму горизонтальной плоскости (рис. 28).

Для проверки горизонтальности направления служит так называемый **уровень** (рис. 29), состоящий из слегка изогнутой стеклянной трубки, почти заполненной жидкостью;

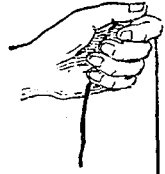


Рис. 26.  
Отвес.

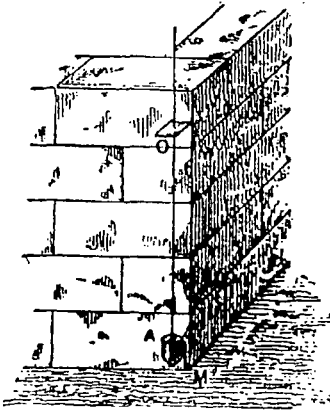


Рис. 27.

Отвесом проверяется правильность кладки стены.

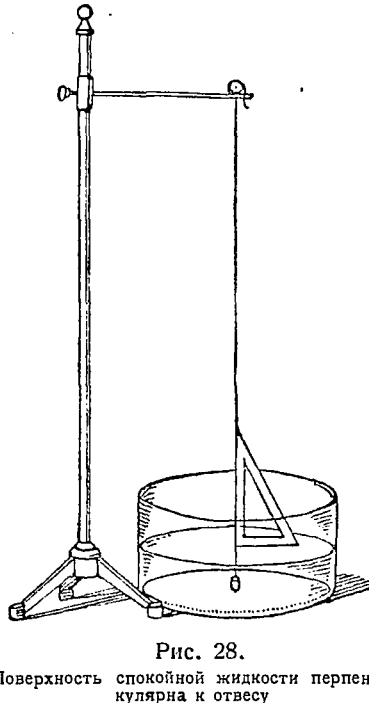


Рис. 28.

Поверхность спокойной жидкости перпендикулярна к отвесу

оставлен лишь небольшой пузырек воздуха, который стремится занять самое высокое место трубки. Уровень устраивают так, чтобы при горизонтальном положении уровня пузырек находился в середине трубки. Если уровень не горизонтален, то пузырек более или менее сдвигается в сторону. Для проверки горизонтальности плоскости (пола, стола и т. п.) уровень следует ставить в нескольких направлениях.

При плотничьих работах для проверки горизонтальности употребляется более грубый и более простой прибор, называемый в а т е р п а с о м. Ватерпас (рис. 30) состоит из прямого бруса с приделанной планкой, на которой отмечена черта, перпендикулярная к направлению бруса. Около этой черты п о д в е ш е н небольшой отвес, при горизонтальном направлении бруса нить отвеса должна быть параллельна черте.

- Проверьте отвесом вертикальность стен комнат, дверных притолок и т. п.
- Можно ли считать параллельными два близкие вертикальные направления?

Можно ли считать параллельными два вертикальные направления в далеко отстоящих точках (например, за 100, за 1000 километров)?

Как наклонены друг к другу вертикальные направления в точках, отстоящих друг от друга на 10 000 километров по поверхности земли?

? Имеет ли форму горизонтальной плоскости вода в очень маленьких сосудах, например, в чайной ложке?

Можно ли считать горизонтальной плоскостью поверхность очень большого совершенно спокойного озера?

? Поставьте уровень на стол и, подводя под ножку стола клин, следите за уровнем. Куда двинется пузырек — к клину или от клина?



Рис. 29.

Уровень с пузырьком.

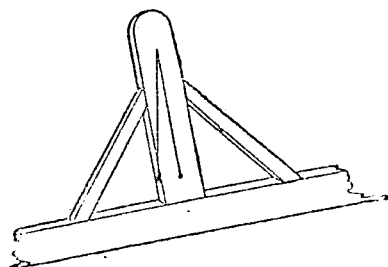


Рис. 30

Плотничий ватерпас.

**16. Единицы веса.** Как на каждом шагу в обыденной жизни, так и при научных исследованиях часто является надобность измерять вес различных тел.

Единицами веса в русских мерах служат пуд, фунт, золотник и проч.

В метрической системе мер основная единица веса есть **грамм (g)**.

Один грамм равен весу воды в объеме одного кубического сантиметра.<sup>1</sup>

На русскую меру вес грамма равен приблизительно  $\frac{1}{4}$  золотника.

Малые веса выражаются в десятых, сотых и тысячных долях грамма, а большие веса — в десятках, сотнях и тысячах граммов, которые носят особые названия.

1000 гр.	— килограмм	(kg) = 2,5 ф., точнее 2,442 ф.	} редко употребляются.
100 »	гектограмм	(hg)	
10 »	декаграмм	(dkg)	
	грамм	(g) = $\frac{1}{4}$ зол., точнее 0,2344 зол.	
0,1 гр.	дециграмм	(dg).	
0,01 »	сантиграмм	(cg).	
0,001 »	миллиграмм	(mg).	

<sup>1</sup> Более точное определение см. дальше, в § 25.

Очень большие веса выражаются в тоннах.

1 тонна = 1000 kg.

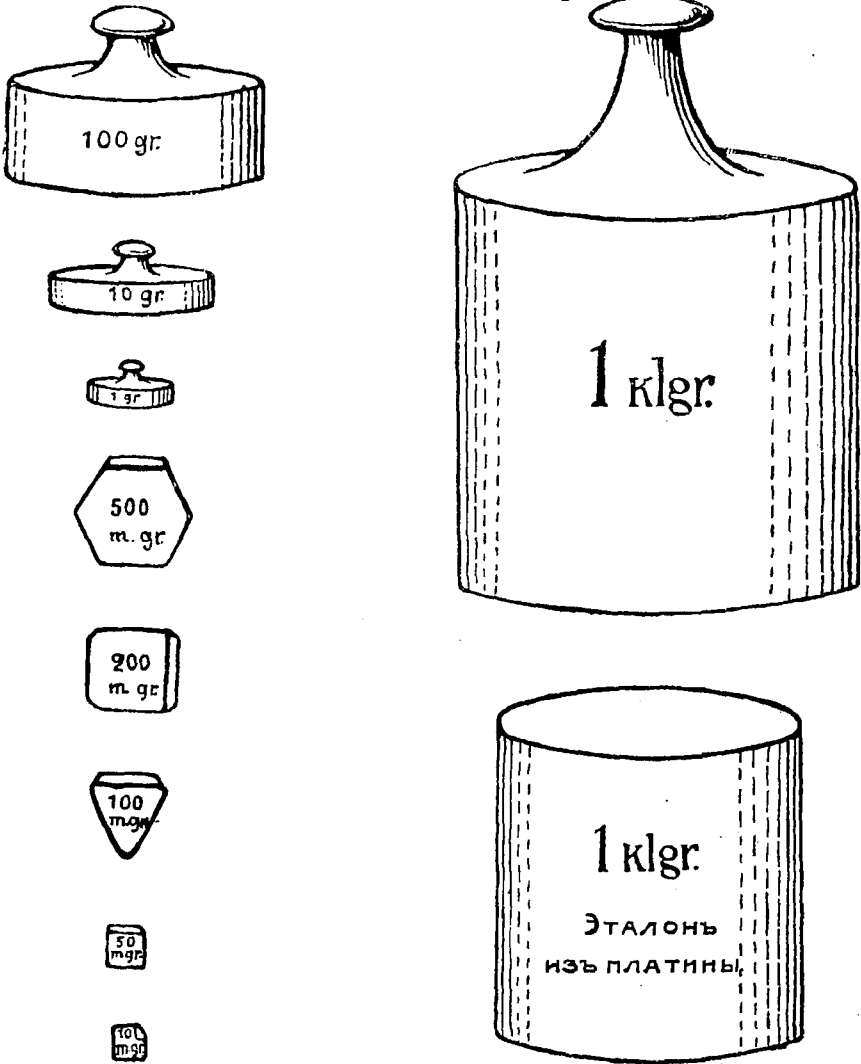


Рис. 31.

Размеры метрических гирь из латуни и эталона из платины.

Главные русские единицы веса выражаются в метрических единицах приблизительно так:

1 пуд	=	16 kg	(точнее 16,380 kg.)
1 фунт	=	400 g	( » 409,51 g).
1 золотник	=	4 g	( » 4,266 g).

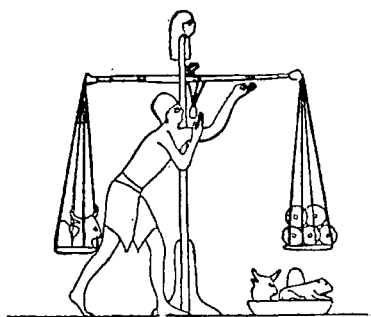
Подобно образцовому метру в международном Бюро Мер и Весов хранится образцовая гиря (этalon), вес которой равен 1 кг.

**17. Метрическая система.** Главные достоинства метрической системы мер заключаются, во-первых, в том, что эта система десятичная, что очень упрощает вычисления; во-вторых, в том, что система эта международная. Только Англия и Северо-Американские Соединенные Штаты не ввели еще метрической системы для повседневного употребления. Для научных измерений во всем мире пользуются метрическими мерами.

Еще законом 1899 г. в России метрические меры позволено было применять наравне с русскими мерами. В настоящее время в СССР проведен закон об исключительном пользовании метрическими мерами.

Советуем учащимся не только освоиться с метрической системой мер, но и стараться путем упражнения приобрести навык на глаз мер оценивать различные величины в метрических мерах.

- ? Сколько весит: один кубический метр воды? Один кубический миллиметр воды?
- ? Сколько пудов составляет тонна?
- ? Ведро вмещает 30 фунтов воды. Сколько литров в объеме ведра?
- ? Сколько фунтов воды вмещает стакан, объем которого равен  $240 \text{ cm}^3$ ?
- ? Какой объем занимает один золотник воды?
- ? Сколько весит вода в объеме классной комнаты?
- ? Выразите вес своего тела в метрической мере.
- ? Какой наибольший вес в килограммах можете вы поднять?



Древне-египетское изображение весов с коромыслом.



Слово „весы“, написанное древне-египетскими иероглифами.

**18. Весы.** Измерение веса тел производится при помощи **весов**. Каждому знакомы весы разнообразных размеров и разнообразных типов, которые употребляются для различных практических целей.

Опишем те виды весов, какие наиболее подходят для наших измерений.

**1. Пружинные весы.** Главную часть этих весов составляет сильная стальная пружина, которая более или менее растягивается силою веса измеряемых тел. Величина растяжения указывается стрелкой, движущейся вдоль шкалы,<sup>1</sup> на которой отме-

<sup>1</sup> Шкалою — от латинского слова *scalae* — лестница — называется всякий ряд делений: например, шкалой термометра (градусника) называется та линейка, на которой нанесены градусы.

чены соответствующие веса в каких-нибудь единицах, например, на нашем рисунке (рис. 32) на шкале отмечены и килограммы и русские фунты.

Достоинства пружинных весов заключаются в их простоте, дешевизне и прочности.

Недостатки же заключаются: во-первых, в том, что такие весы после сколько-нибудь долгого употребления делаются неверными и вследствие того, что изменяется упругость пружины; во-вторых, такие весы мало чувствительны; они не позволяют подмечать и измерять малые различия в весе.

Таковыми весами удобно пользоваться только тогда, когда не требуется большой точности, когда можно пренебречь сравнительно крупной ошибкой.

Для очень многих взвешиваний, которые потребуются нам при дальнейшем изучении физики, весьма удобными являются пружинные весы с более тонкими, легче растягивающимися пружинами.

На рис. 33 изображен прибор, в котором имеется двое весов подобного рода. Каждый из этих весов состоит из двух пружин, внизу соединенных перекладкой, к которой подвешена чашечка. Один конец перекладки снабжен указателем, при растяжении пружин перемещающимся вдоль шкалы, на которой отмечены числа граммов, соответствующие растяжениям. Подобные весы нехитро изготовить домашними средствами.

Весы, имеющиеся в приборе, обладают различной чувствительностью (на нашем рисунке левые весы более чувствительны, чем правые).

Такие весы позволяют взвешивать тела до нескольких сот граммов весом с точностью до долей грамма.

Шкала в таких весах устраивается иногда передвижная, что представляет значительное удобство в таком, например, случае, когда требуется определить вес жидкости, не производя отдельного взвешивания сосуда. Для этого сначала на чашку весов помещают пустой сосуд и опускают шкалу на столько, чтобы указатель показывал вес 0, а потом вливают в сосуд жидкость и снова помещают на чашку; тогда указатель прямо показывает вес одной жидкости.<sup>1</sup>

**II. Весы с коромыслом.** Весы (рис. 34) состоят из коромысла, в середине которого вделана трехгранная призма; этой призм

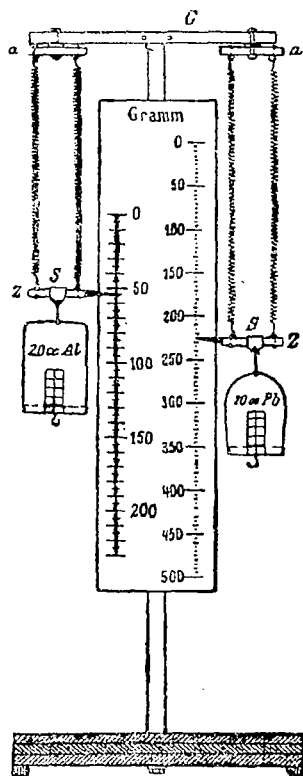


Рис. 33.



Рис. 32.  
Пружинные весы.

<sup>1</sup> Описанный здесь тип пружинных весов изобретен бывшим петроградским преподавателем физики Б. Ю. Кольбе — известным изобретателем многочисленных физических приборов, служащих для учебных целей.

мой коромысло опирается на подставку. К концам коромысла подвешаны две одинаковые чашки. Длинная стрелка, прикрепленная к коромыслу, позволяет наблюдать маленькие наклоны весов в ту или другую сторону.

Такого типа делаются наиболее точные весы.

Сравнительно грубые, недорогие весы такого типа все же настолько чувствительны, что позволяют взвешивать с точностью до 1 сг или даже 1 мг.

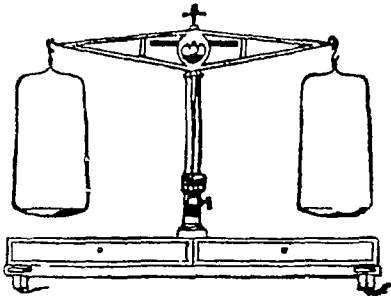


Рис. 34.  
Весы с коромыслом.

III. Весы Роберваля.<sup>1</sup> Весы этого типа (рис. 35) очень часто употребляются для торговых целей. Подробности устройства этих весов обыкновенно бывают скрыты внутри подставки. Особенность весов Роберваля заключается в том, что чашки их помещены над коромыслом.

На рисунке 36 видна сущность их устройства: кроме коромысла  $AB$ , внизу имеется второе коромысло  $A'B'$ , которое может вращаться около своей середины. При качании весов стержни  $AA'$  и  $BB'$ , а также и чашки передвигаются параллельно самим себе.

Небольшими весами Роберваля

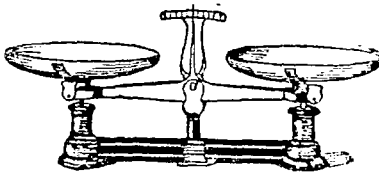


Рис. 35.  
Весы Роберваля.

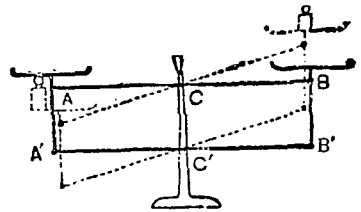


Рис. 36.  
Схема весов Роберваля.

можно удобно и быстро взвешивать тела до 1 кг весом с точностью до десятых долей грамма.

На таких весах можно, например, с достаточной точностью взвесить обыкновенных размеров письмо, чтобы определить, какие марки следует наклеить.

Нам часто можно будет удовлетворяться точностью до 1 г.

**19. Разновески.** Для взвешивания надо иметь набор гирек, или разновесок, из которых можно было бы удобно и быстро подбирать вес, равный весу взвешиваемого тела.

<sup>1</sup> Роберваль (1602 — 1675) — французский математик.

Для взвешивания тел с точностью до 1 г употребляется такой набор гирек:

500 g,	200 g,	200 g,	100 g.
50 g,	20 g,	20 g,	10 g.
5 g,	2 g,	2 g,	1 g.

Из таких гирек можно составить любое целое число граммов от 1 г до 1110 г.

При подборке нужных разновесок следует держаться такого правила: подбирать гирьки по очереди, начиная с более крупных; если вес велик, гирьку снять и пробовать следующую, меньшую; если вес мал, прибавлять следующую меньшую.

Пусть, например, нам дано взвесить тело, вес которого заключается между 167 г и 168 г. Мы можем на-глаз угадать, что вес гораздо меньше 500 г, и потому этой гири не стоит и пробовать. Кладем 200 г, видим, что этого много, и эту гирию снимаем. Кладем 100 г, видим, что этого мало, прибавляем 50 г, этого тоже мало; прибавляем 20 г — этого много; снимаем 20 г и кладем 10 г — этого мало; прибавляем 5 г — мало, прибавляем 2 г — мало, прибавляем еще 1 г — много. Итого получаем:

$100\text{ g} + 50\text{ g} + 10\text{ g} + 5\text{ g} + 2\text{ g}$	$= 167\text{ g}$	мало
$100\text{ g} + 50\text{ g} + 10\text{ g} + 5\text{ g} + 2\text{ g} + 1\text{ g}$	$= 168\text{ g}$	много

Из отклонений стрелки при той или другой нагрузке можно приблизительно определить, к какому числу граммов искомый вес ближе, и оценить на-глаз десятые доли грамма.

Подобным же образом подыскивается нужный вес и при более точных взвешиваниях, для которых требуются более мелкие разновески.

- ? Определите при помощи весов вес фунтовой гири в метрических единицах веса.
- ? Уравновесив при помощи дроби на весах мензурку, вливайте 100, 200, 300 и т. д. кубических сантиметров воды и взвешивайте эти количества воды.
- ? Как можно на сравнительно грубых весах с достаточной точностью определить вес дробинки, булавки или зес капли воды?
- ? Отвесьте 100 г мелкой дроби или песку.
- ? Выпилите из доски или вырежьте из толстого картона круги с радиусами в 5, в 10, в 15 см. Свешайте эти круги и по весу определите отношение их площадей.
- ? Как можно при помощи весов определять площади неправильных фигур?

**20. Измерение времени.** Естественную, данную самой природой единицу времени представляют собой сутки<sup>1</sup>.  $\frac{1}{24}$  доля суток

<sup>1</sup> Время одного оборота земли вокруг оси составляют так называемые звездные сутки. Время между двумя последовательными полуднями (между кульминациями, т.-е. прохождениями солнца чрез высшее положение над горизонтом) называется истинными солнечными

составляет час,  $\frac{1}{60}$  часа — минута,  $\frac{1}{60}$  минуты — секунда.

В физике обыкновенно за основную единицу времени принимается секунда, которая, следовательно, составляет  $\frac{1}{24 \cdot 60 \cdot 60} = \frac{1}{86400}$  суток.

Для измерения времени употребляются различного устройства более или менее верные часы. Особенно верные часы, употребляющиеся для наиболее точных научных (главным образом, астрономических) измерений, носят название хронометров.<sup>1</sup>

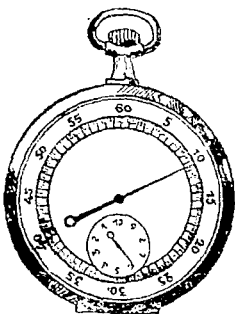


Рис. 37.  
Секундомер.

Для многих физических измерений времени бывают пригодны обыкновенные часы с секундной стрелкой. Более удобный инструмент представляет собой секундомер — часы с большой секундной стрелкой, делающей полный оборот в минуту. Маленькая стрелка на отдельном циферблате указывает целые минуты (рис. 37). Секундомеры устраивают с таким приспособлением, что первым нажатием кнопки стрелка пускается в ход, вторым нажатием — останавливается в любой момент, и, наконец, третьим нажатием приводится в начальное положение.

? Сделайте маятник из тонкой нитки с свинцовым шариком. Тщательно смерьте расстояние от центра шарика до точки прикрепления нити. Дайте толчок шарик и смерьте, во сколько времени маятник сделает 100 колебаний, считая за одно колебание переход шарика из одного крайнего положения в противоположное.

Сколько колебаний делает маятник в минуту?

В какое время маятник делает одно колебание?

? Измерьте время колебания одного и того же маятника: один раз дав шарик лишь незначительный толчок, другой раз более сильный так, чтобы размах колебания был раза в три, четыре больше.

? Измерьте время колебания двух маятников одинаковой длины с шариками различного веса, например, один шарик свинцовый, другой, приблизительно такой же величины, деревянный.

? Сделайте возможно тщательно маятники длиною (от центра шарика до точки привеса нити) один в 99,5 см, другой вчетверо короче, т.-е. в 24,9 см. Измерьте время колебания того и другого маятника.

? Измерьте, во сколько времени вы проходите ровным шагом расстояние в 10 метров.

Какое расстояние проходите вы в одну секунду?

Во сколько времени пройдете вы один километр?

с у т к а м и. Истинные солнечные сутки несколько больше звездных. Величина истинных солнечных суток несколько меняется в течение года. Среднее арифметическое из истинных солнечных суток за год составляют средние солнечные сутки. Эти средние солнечные сутки и принимаются за единичное время.

<sup>1</sup> От греческого слова *χρόνος* (хронос) — время.



**21. Температура.** Всем нам знакомое и привычное ощущение позволяет нам различать **температуру**, т.е. степень нагретости тел. Мы различаем тела теплые, более теплые, горячие, холодные, более холодные и проч.

Свойства тел сильно могут изменяться от изменения температуры; так, мы знаем, что, между прочим, тела при изменении температуры могут переходить из одного состояния в другое: охлаждаемая вода делается твердым льдом, а достаточно сильно нагретая вода закипает и обращается в пар.

Только грубую, приблизительную оценку температуры можно делать «наощупь», по непосредственному ощущению. Непосредственное ощущение позволяет подмечать только сравнительно большие различия температуры. Кроме того, ощущение может нас обманывать: при одной и той же комнатной температуре металлические тела наощупь кажутся холоднее деревянных, полированные предметы — холоднее шероховатых.

Сделайте такой поучительный опыт. Возьмите три сосуда, наполните один холодной водой, второй — водой средней, «комнатной» температуры, а третий — теплой водой. Опустите правую руку в теплую, а левую — в холодную воду, подержите некоторое время и затем перенесите обе руки в комнатную воду, тогда получается очень странное ощущение: одна и та же вода левой рукой ощущается как теплая, а правой — как холодная.

Для более точной оценки температуры употребляются различного устройства приборы, называемые **термометрами**.<sup>1</sup>

Наиболее употребительны термометры, при помощи которых температура определяется по расширению ртути.

**22. Расширение тел при нагревании.** I. Т в е р д ы е т е л а. Твердые тела настолько мало расширяются при нагревании, что на-глаз мы вовсе не замечаем, чтобы нагретые тела были больше, чем холодные. Надо употребить какую-нибудь уловку, чтобы заметить это расширение.

Возьмем подковообразный кусок дерева или пробки: с одной стороны, как изображено на рисунке 38-м, закрепим острый конец иголки, а с другой стороны сквозь свободно лежащее ушко вставим в дерево вторую иголку. Нагревая первую иголку на пламени свечки, или, лучше, спиртовой горелки, мы увидим, что вследствие удлинения первой иголки, вторая иголка заметно отклонится, что удобно наблюдать, вставив еще свободную иголку рядом со второй.

Возьмем медный шарик, который в ненагретом виде как раз проходит сквозь пригнанное к нему кольцо (рис. 39). Если шарик разогреть на спиртовой или газовой

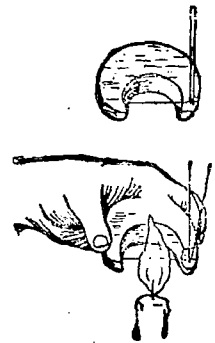


Рис. 38.

Удлинение иголки при нагревании.

<sup>1</sup> От греческого слова θερμός (термос) — теплый.

горелке, то, расширившись, он уже не пролезает сквозь кольцо. Если шарик остывает лежать на кольце, то через несколько времени шарик, остывши, сожмется, а кольцо, нагревшись от прикосновения шарика, расширится, и шарик снова пройдет сквозь кольцо.

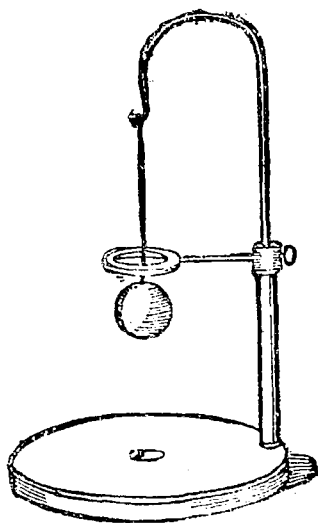


Рис. 39.

Шарик с кольцом: для наблюдения расширения твердого тела при нагревании.

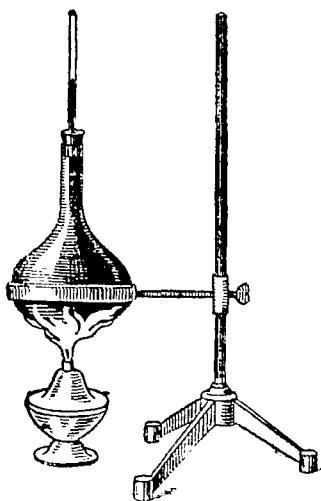


Рис. 40.

Расширение жидкости при нагревании.

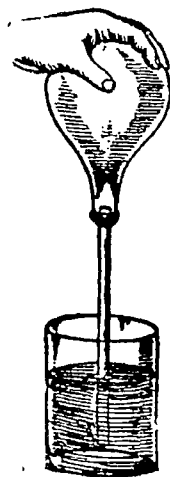


Рис. 41.

Расширение воздуха при нагревании.

II. Жидкие тела. Возьмем небольшую колбу с плотно пригнанной пробкой, сквозь которую проденем тонкую трубку. Наполним колбу подкрашенной водой так, чтобы уровень воды приходился в трубке (рис. 40).

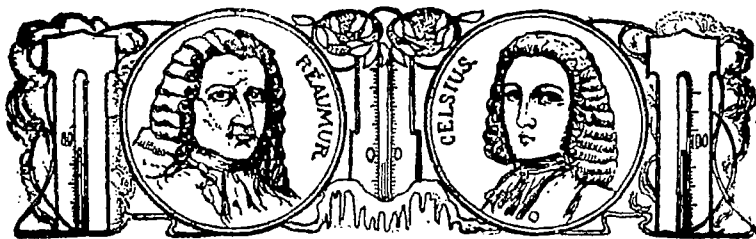


Рис. 42.

Реомюр (1683 — 1757) — знаменитый в свое время французский естествоиспытатель, носивший прозвание „Плиния XVIII века“. Цельсий (1707 — 1744) — шведский астроном.

Будем нагревать колбу, следя за уровнем воды в трубке. В первые моменты можно заметить, что уровень воды немножко понижается. Это происходит оттого, что прежде всего нагреваются стенки колбы, вследствие чего объем колбы увеличивается, и уровень еще не нагретейшей воды понижается.

По мере дальнейшего нагревания уровень воды поднимается до прежней высоты и продолжает подниматься еще значительно выше.

Подобный опыт можно произвести не только с водой, но и с каким-либо маслом, с керосином, вообще со всякой жидкостью, пока она не закипит.

Из этого опыта мы можем заключить, что жидкости при нагревании расширяются, и притом расширяются сильнее, чем твердое вещество стенок сосуда.

Заметим, что описанная нами колба с трубкой представляет собой грубое подобие термометра.

III. Газы. Возьмем колбу с трубкой, как в предыдущем опыте, только наполненную не водой, а воздухом. Опрокинем колбу трубкой вниз в стакан с водой (рис. 41). Теперь достаточно взяться за колбу руками, чтобы воздух в колбе заметно расширился, при чем часть воздуха будет пузырьками выходить из трубки под водой. Если хоть слегка подогреть колбу пламенем, то воздуха выйдет очень много. Если затем прекратить нагревание, то воздух в колбе начнет остывать и сокращаться в объеме, при этом часть воды из стакана поднимется в трубку и в самую колбу. Такие же явления происходят и в том случае, если вместо воздуха наполнить колбу каким-нибудь другим газом.

Газы расширяются при нагревании и притом расширяются значительно сильнее, чем жидкости и твердые тела.

2. Ртутный термометр. Самый обычный тип термометра представляет собой всем известный ртутный термометр (градусник). Он состоит из небольшого стеклянного резервуара («шарика»), наполняемого ртутью, и длинной тонкой трубки, в которую выступает ртутный столбик. На самой трубке или на какой-нибудь линейке рядом с ней помещается шкала с делениями на градусы (рис. 43).

При устройстве шкалы прежде всего отмечаются так называемые постоянные точки термометра. За постоянные точки принимаются:

- 1) температура таяния чистого льда и
- 2) температура кипения чистой воды.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Более точные определения постоянных точек даны в отделе тепловых явлений (в главе V).

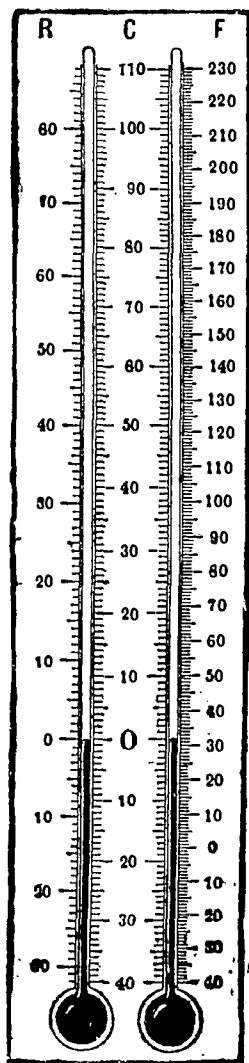


Рис. 43.

Термометры со шкалами Реомюра, Цельсия и Фаренгейта.

Длина прироста ртутного столбика при переходе от температуры таяния льда до температуры кипения воды делится на равные отрезки, соответствующие градусам.

I. Шкала Реомюра. В обыденной жизни мы обыкновенно пользуемся шкалой Реомюра, в которой промежуток между постоянными точками разделен на 80 равных частей. Температура тающего льда обозначается цифрой 0 градусов, а температура кипящей воды — цифрой 80 градусов.

II. Шкала Цельсия. Для научных измерений (между прочим в медицине) принята шкала Цельсия, в которой промежуток между постоянными точками делится на 100 равных частей. Температура таяния льда так же, как в шкале Реомюра, обозначается 0 градусов, температура же кипения воды — 100 градусов.

Как в термометре Реомюра, так и в термометре Цельсия шкалы можно продолжать вверх, выше точки кипения воды, и вниз, ниже точки таяния льда.

Принято обозначать градусы значком °. Градусы выше нуля (градусы «тепла») принято считать положительными, а градусы ниже нуля (градусы «холода») — отрицательными. Градусы по шкале Реомюра обозначаются буквой R, а Цельсия — буквой C. Таким образом + 25° R означает 25 градусов выше нуля по шкале Реомюра, а — 10° C означает 10 градусов ниже нуля по шкале Цельсия.

Градусы шкалы Цельсия мельче, чем Реомюра, и потому одинаковые температуры в градусах Цельсия выражаются большими числами. Так как 100 градусов Цельсия равны 80 градусам Реомюра, то, чтобы перевести градусы Реомюра в градусы Цельсия, надо число градусов Реомюра умножить на  $\frac{100}{80}$ , т. е. на  $\frac{5}{4}$ . Ясно, что для обратного перевода градусов Цельсия в градусы Реомюра градусы Цельсия надо умножить на  $\frac{4}{5}$ .

III. Шкала Фаренгейта.<sup>1</sup> В Англии и Америке употребляется термометрическая шкала Фаренгейта, в которой точка таяния льда обозначается 32°, а точка кипения воды + 212°. Таким образом, промежуток между постоянными точками разделен на 180°.

По шкале Фаренгейта 0° (около — 17,8° C) соответствует температуре таяния смеси льда с нашатырем и поваренной сольюю.

Ртутными термометрами можно пользоваться для определения температуры в пределах от — 39° C (точка замерзания ртути) до + 350° C (точка кипения ртути).

Точность, с которой можно определять температуру ртутным термометром, зависит от того, насколько велик резервуар с ртутью, насколько соответственно длинна и тонка трубка, насколько точно нанесены деления и т. д.

Хорошие ртутные термометры позволяют измерять температуру с точностью до 0,01°.

<sup>1</sup> Фаренгейт (1686 — 1736) — немецкий физик.

Мы будем предполагать, что имеем в своем распоряжении такие термометры, которые позволяют определять температуру самое большее с точностью до  $0,1^{\circ}$ .

**24. Особенность теплового расширения воды.** Вода при температурах от  $0^{\circ}$  С до  $4^{\circ}$  С представляет замечательное исключение из общего правила расширения тел при нагревании. В указанных границах температуры вода сжимается при нагревании и, наоборот, расширяется при охлаждении. При  $4^{\circ}$  С вода занимает наименьший объем. Если охлаждать воду, начиная от комнатной температуры, то до  $4^{\circ}$  С вода, подобно всем телам, уменьшается в объеме, но при дальнейшем охлаждении, до  $0^{\circ}$ , она слегка расширяется. При  $0^{\circ}$  С вода замерзает и в момент замерзания сильно увеличивается в объеме.

Чтобы проследить эти изменения объема воды, возьмем небольшую колбу, наполним ее водой, оставив лишь небольшой пузырек воздуха, и плотно закупорим пробкой. Положим затем эту колбу боком в смесь снега с солью так, чтобы часть колбы с пузырьком воздуха была видна. По мере охлаждения воды пузырек воздуха сперва будет увеличиваться, потом когда температура воды перейдет  $4^{\circ}$  С, станет заметно уменьшаться. Наконец, при  $0^{\circ}$  С, вода замерзает и, расширившись, разбивает колбу.

- ? Почему бывает полезно нагреть горлышко склянки, чтобы вынуть застрявшую стеклянную пробку?  
Почему нагревание при этом следует производить быстро?
- ? Делается ли от нагревания кольцо просторнее или уже?
- ? Что сильнее расширяется при нагревании — стекло или ртуть?
- ? Газы расширяются при нагревании, но если нагревать газ в закупоренной колбе, то газ не может расширяться. Какое изменение произойдет тогда в газе?
- ? Какие неудобства представлял бы термометр с водой вместо ртути?
- ? Положите в металлический стакан чистого снега, влейте воды и через несколько времени вставьте термометр. Изменится ли показание термометра, если таяние снега ускорить подогреванием.
- ? Смешайте снег с поваренной солью и измерьте температуру таяния.
- ? Выразите в градусах Цельсия и Реомюра: температуру комнаты, наружную температуру воздуха, температуру вашего тела, наиболее высокую летнюю температуру, наиболее низкую зимнюю температуру и т. п.
- ? Если в американском рассказе вы встретите фразу: «стояла жаркая погода, температура достигла  $120^{\circ}$ », сочтете ли вы это за фантастическое преувеличение?

**25. Замечания относительно теплового расширения тел.** Если объемы тел изменяются при изменении температуры, то ясно, что в одном и том же объеме будут заключаться при различных температурах различные количества вещества.

Выше было сказано, что грамм есть вес, равный весу одного кубического сантиметра воды, но, очевидно, в одном кубическом сантиметре будет вмещаться различное количество воды, смотря по тому, будет ли эта вода теплая, или холодная. Для более точного определения грамма необходимо указать, при какой температуре должна быть взята вода.

Грамм есть вес, равный весу одного кубического сантиметра воды при  $4^{\circ}$  С, т.е. при той температуре, при которой вода занимает наименьший объем.

Очевидно, что масштабы, служащие для измерения длины, мензурки, служащие для измерения объемов и т. д., изменяются при изменениях температуры, и потому верный масштаб или верная мензурка при одной температуре будут неверными при температурах более высоких или более низких.

Масштабы и мензурки делаются обыкновенно так, чтобы они были верными при той средней температуре, при которой чаще всего приходится ими пользоваться ( $15^{\circ}\text{C}$ ).

Впрочем, тепловое расширение твердых и жидких тел так незначительно, что, кроме отдельных случаев, когда это будет оговорено, мы совершенно не будем принимать его в расчет.

**26. Удельный вес.** Возьмем различные вещества, напр.: свинец, стекло и дерево. В одинаковых объемах; они будут иметь различный вес.

Если же взять одинаковые веса этих веществ, то они будут занимать различные объемы.

Различные вещества обладают, как говорится, различным **удельным весом**.

Удельный вес определяется весом вещества в объеме одного кубического сантиметра.

Свешаем кусочек латуни в один кубический сантиметр. Пусть вес его равен 8 г, следовательно, удельный вес латуни равен 8 грамма на кубический сантиметр.

Понятно, что для определения удельного веса вещества нет надобности непременно взвешивать один кубический сантиметр этого вещества; можно взвесить какой-либо объем известного объема вещества и затем полученный вес разделить на число кубических сантиметров объема.

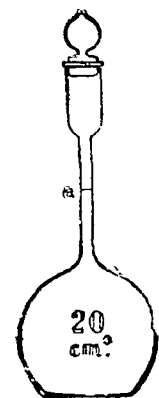


Рис. 44.  
Пикнометр.

Так как мы уже умеем измерять и веса и объемы тел, то для нас не представит трудностей определение удельных весов.

Возьмем, например, кусок железа: пусть объем его оказался равным  $12\text{ см}^3$ , а вес  $93,6\text{ г}$ .

Если  $12\text{ куб. сантиметр}$  железа весят  $93,6\text{ грамма}$ , то один куб. сантиметр весит в 12 раз меньше, т.е.  $\frac{93,6}{12} = 7,8\text{ грамма}$ .

Так как для получения удельного веса приходится некоторое число граммов делить на некоторое число кубических сантиметров то будем удельный вес обозначать знаком  $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ .

Например, удельный вес железа:

$$\frac{93,6\text{ г}}{12\text{ см}^3} = 7,8 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Понятно, что точность, с которой определяются **удельные веса**, зависит от той точности, с которой измеряются соответствующие веса и объемы.

Удельные веса.

Твердые вещества.

Платина . . . . .	21,5	$\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
Золото . . . . .	19,3	»
Свинец . . . . .	11,4	»
Серебро . . . . .	10,5	»
Медь . . . . .	8,9	»
Латунь (сплав меди с цинком) . . . . .	около 8,0	»
Железо . . . . .	7,8	»
Олово . . . . .	7,3	»
Цинк . . . . .	7,2	»
Алмаз . . . . .	3,5	»
Алюминий . . . . .	2,7	»
Мрамор . . . . .	около 2,7	»
Лед при 0° . . . . .	0,92	»
Дубовое дерево . . . . .	около 0,8	»
Еловое » . . . . .	» 0,5	»
Пробка . . . . .	» 0,2	»

Жидкости.

Ртуть . . . . .	13,6	$\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
Серниая кислота . . . . .	1,8	»
Глицерин . . . . .	1,3	»
Вода . . . . .	1	»
Керосин . . . . .	около 0,9	»
Винный спирт (этиловый алкоголь) . . . . .	0,8	»
Этиловый (серный) эфир . . . . .	0,7	»

Для определения удельных весов жидкостей удобно пользоваться специально для этого сделанными сосудами, которые позволяют брать определенные точно измеренные объемы жидкости. Такие сосуды, называемые пикнометрами,<sup>1</sup> представляют собою колбочки с узеньким горлышком, на котором сделана отметка, соответствующая положению уровня жидкости, когда объем ее равен величине, написанной на колбочке (рис. 44).

Пусть, например, пустой пикнометр, емкостью в 20 см<sup>3</sup> весит 5 г, а наполненный до черты керосином 22 г. Отсюда заключаем, что 20 см<sup>3</sup> керосина весят 17 г, а потому удельный вес керосина равен:

$$\frac{17 \text{ г}}{20 \text{ см}^3} = 0,85 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Вследствие теплового расширения удельные веса тел изменяются с изменением температуры; но в большинстве случаев мы не будем принимать в расчет этого маленького изменения.

Удельный вес воды равен  $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$  в точности только при 4° С, но в расчетах,

<sup>1</sup> От греческого *πικνός* (пикнос) — плотный, густой.

где не требуется большой точности, можно принимать такой удельный вес воды при всякой температуре, а потому при всякой температуре можно приблизительно считать, что число граммов веса воды равно числу кубических сантиметров ее объема.



Платина.



Золото.



Свинец.



Серебро.



Медь.



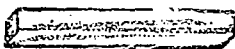
Железо.



Олово.



Алюминий.



Алмаз.



Мрамор.

Дубовое  
дерево.Еловое  
дерево.

Пробка.

Нетрудно сообразить, что если веса выражать в граммах, объемы в кубических сантиметрах, то числа, выражающие удельные веса различных тел, взятые как отвлеченные числа, выражают отношение веса вещества к весу воды, взятой в таком же объеме.

Например, удельный вес серебра равен  $10,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ . Один кубический сантиметр серебра весит 10,5 г, один кубический сантиметр воды весит 1 г; поэтому, если сравнить вес одинакового числа кубических сантиметров серебра и воды, понятно, серебро будет в 10,5 раз тяжелее воды.

Если вес неоднородного тела разделить на его объем, то получим средний удельный вес этого тела. Например, средний удельный вес человеческого тела около  $1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ .

**27. Соотношение между объемом, весом и удельным весом.** Выше было указано, как определяется удельный вес, если известны объем и вес тела; нетрудно сообразить, что если известен удельный вес, то по данному объему легко определить вес тела, или, наоборот, по данному весу определить объем.

Например: сколько весит кусок золота в объеме  $5 \text{ см}^3$ ?

Рис. 45.

Изображенные куски различных веществ имеют одинаковые веса по 1 гр.; объемы их обратно пропорциональны удельным весам.

Один кубич. сантиметр золота весит 19,3 г, следовательно,  $5 \text{ см}^3$  будут весить в 5 раз больше:

$$19,3 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot 5 \text{ см}^3 = 96,5 \text{ г.}$$



Какой объем занимает кусок свинца в 114 g весом? Один кубич. сантиметр свинца весит 11,4 g; следовательно, кусок в 114 g занимает столько кубич. сантиметров, сколько раз 11,4 содержится в 114.

$$\frac{114 \text{ g}}{11,4 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 10 \text{ cm}^3.$$

Соотношение между объемом, весом и удельным весом легко выразить и в алгебраической форме. Будем обозначать объемы латинской буквой  $v$ , веса — буквой  $p$ , а удельные веса — буквой  $d$ .

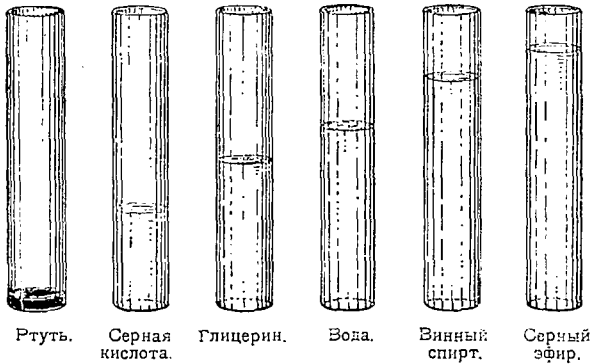


Рис. 46.

Вес каждой жидкости равен 1 гр.; объемы обратно пропорциональны удельным весам.

Удельный вес равен весу, разделенному на объем, т.-е

$$d = \frac{p}{v}.$$

Из этой же формулы получается:

$$p = d \cdot v \quad \text{и} \quad v = \frac{p}{d}.$$

- ? Что тяжелее: пуд пуха или пуд железа? Почему мы считаем железо тяжелее пуха?
- ? Определите объем куска свинца весом в 1 пуд, куска меди весом в 1 фунт, 1 золотника ртути и т. п.
- ? Определите вес ртути в объеме чайного стакана (250 cm<sup>3</sup>).
- ? Может ли очень сильный человек поднять ведро ртути?
- ? Хватит ли у вас силы поднять кубический метр пробки?
- ? Сколько приблизительно стоит кусок золота в объеме спичечной коробочки, считая по 5 руб. за золотник?
- ? Насколько ведро спирта легче ведра воды?
- ? Сколько весит вода в объеме классной комнаты?

**28. Удельный объем.** Вместо удельных весов можно характеризовать вещества величинами их удельных объемов.

Удельный объем определяется объемом, занимаемым одним граммом вещества.

Один кубический сантиметр латуни весит 8 г, следовательно, 1 г латуни занимает  $\frac{1}{8}$  кубического сантиметра.

Ясно, что для определения удельного объема нужно объем тела делить на его вес.

Пусть, например, кусок стекла в  $10 \text{ см}^3$  весит 25 г; понятно, что объем, занимаемый одним граммом стекла, будет равен:

$$\frac{10 \text{ см}^3}{25 \text{ г}}, \text{ т.-е. } 0,4 \frac{\text{см}^3}{\text{г}}.$$

Удельный объем представляет собой величину, обратную удельному весу.

**29. Удельный вес газов.** Газы, как мы знаем, не имеют определенного объема; одно и то же количество газа, сильно сжатое, может занимать очень маленький объем, и, наоборот, если ему дано достаточно простора, может занимать объем во много раз больший. Поэтому газы не имеют и определенного удельного веса. Можно говорить об определенном удельном весе газа только тогда, когда мы определенно укажем, до какой именно степени сжатый газ мы берем; газ, более сильно сжатый, будет, очевидно, иметь больший удельный вес, чем газ разреженный.

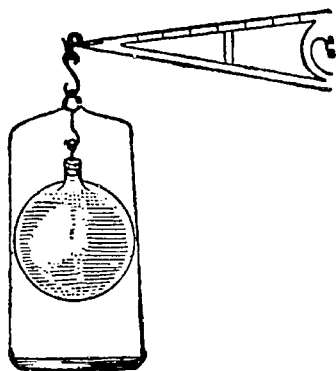


Рис. 47.

Взвешивание воздуха.

После мы выучимся точно мерить степень сжатия газов, а теперь попробуем, хоть приблизительно, определить удельный вес «комнатного» воздуха, т.-е. воздуха в той степени сжатия, какой обыкновенно нас окружает. Чтобы произвести такое измерение, нам достаточно иметь подходящий сосуд с краном, воздушный насос и весы, настолько чувствительные, чтобы вес можно было определить с точностью до 1 сг.

Мы умеем определять объем сосудов. Пусть объем нашего сосуда (рис. 47) равен 1,5 литра, т.-е.  $1500 \text{ см}^3$ . Выкачаем при помощи насоса воздух из сосуда, закроем кран и подвесим сосуд к коромыслу весов.

Вес самого сосуда нам не интересен, и потому можем уравновесить его дробью или песком. Получивши равновесие весов, откроем кран; тогда воздух комнаты с шумом войдет в сосуд, и мы ясно увидим, что равновесие весов нарушится, сосуд, наполнившись воздухом, станет заметно тяжелее.

Определим это увеличение веса. Пусть для восстановления равновесия потребовалось положить на противоположную

чашку весов 1,8 g. Тогда удельный вес воздуха получится равным:

$$\frac{1,8 \text{ g}}{1500 \text{ cm}^3} = 0,0012 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}.$$

Если бы мы производили измерение точнее, то получили бы несколько большую величину — около  $0,0013 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ .

Итак, 1 cm<sup>3</sup> окружающего нас воздуха весит приблизительно 0,0013 g, а следовательно, 1 литр = 1000 cm<sup>3</sup> весит приблизительно 1,3 g.

? Во сколько раз воздух легче воды?

*Отв. Приблизительно в 770 раз.*

? Как велик удельный объем воздуха?

? Сколько весит кубический метр воздуха?

? Сколько весит воздух в объеме классной комнаты?

? Как велик объем, занимаемый одним пудом воздуха?

**30. Твердость вещества.** Возьмем для примера куски: дерева, железа, свинца и стекла. Все эти тела твердые, но степень твердости их различна. Если пробовать, например, резать эти куски стальным клинком обыкновенного перочинного ножа, то дерево будет разрезаться свободно, свинец — с значительным затруднением, на железе с трудом можно сделать царапину, а на стекле и царапины не получится.

Для приблизительной оценки степени твердости мы можем пробовать царапать одно вещество другим и считать за более твердое то, которое на другом делает заметную царапину.

Выбранные нами для примера вещества по порядку твердости расположатся так:

дерево, свинец, железо, сталь ножа, стекло.

При определении твердости различных минералов, встречающихся в природе, пользуются так называемой шкалой твердости, т.-е. набором из нескольких образцовых минералов, расположенных в порядке их твердости. Твердость какого-нибудь нового минерала определяют указанием, между какими образцовыми минералами он помещается.

В таких шкалах твердости наименее твердым образцом берется тальк, минерал пластинчатого строения, настолько мягкий, что свободно царапается ногтем.

В качестве наиболее твердого образца берется алмаз.

Твердость вещества зависит не только от того, какое это вещество, но и от того, как оно приготовлено; например, железо литое, тянутое или кованое обладает несколько различной твердостью.

Сталь обладает весьма различной твердостью, смотря по тому, «отпущена» она или «закалена», т.-е. медленно она охлаждена после сильного нагревания или быстро.

Возьмем два одинаковых куска стали, оба их приблизительно одинаково нагреем на газовом пламени до красного каления, но один из них охладим медленно, постепенно уменьшая пламя горелки, а другой в раскаленном виде бросим в холодную воду. Получим два куска, очень различные по твердости: отпущенная сталь мягка, как железо, а закаленная может получиться настолько твердой, что будет резать стекло.

Многочисленные сорта стали, употребляющиеся для самых разнообразных практических целей, различаются между собой по способу закалки, а также по составу: разные сорта стали состоят из железа с примесью от  $1\frac{1}{2}\%$  до  $2\%$  угля и иногда с примесью других веществ.

- ? Можно ли считать, что вещества с большим удельным весом обладают большей твердостью?
- ? Определите опытом, какое по твердости место займут медь, кремний и т. п. в упомянутом роде веществ: дерево, свинец, железо, сталь, стекло.
- ? Зависит ли твердость вещества от температуры?

**31. Упругость твердых тел.** Возьмите кусок резины; вы можете его растянуть, сжать, согнуть, закрутить, вообще можете изменить его объем и его форму, но резина сопротивляется этим изменениям и старается принять прежнюю форму и прежний объем.

Как только мы ее отпустим, резина приходит в первоначальный вид. Та сила, с которой резина стремится принять первоначальную форму и первоначальный объем, называется **силой упругости**. Резина может служить примером очень упругого вещества: кусок резины можно исказить очень сильно, и все же он вполне возвращается к прежней форме.

Различные вещества обладают весьма различной упругостью. Возьмем, например, приблизительно одинаковые полоски из стали, железа, свинца, дерева и стекла. Будем сгибать полоску стали. Если эта полоска надлежащим образом закалена, то ее можно сгибать очень сильно, и все же она после будет вполне выправляться. Такие изменения, которые вполне уничтожаются упругими силами, мы будем называть **упругими изменениями, или упругими деформациями**. Итак, при сгибании стальной пластинки возможны весьма значительные упругие деформации. Но можно согнуть эту пластинку настолько сильно, что она уже не выправится; получится деформация, уже не исчезающая, не упругая. Деформация, как говорится, **перейдет предел упругости**. Наконец, сгибая пластинку еще сильнее, можно ее сломать.

Если таким же образом пробовать сгибать железную пластинку, то увидим, что для нее предел упругости гораздо ближе, чем для стали: железо при меньшем изгибе уже не расправляется. **Ломается железо при большем изгибе, чем сталь: оно мягче стали.**

Для свинцовой пластинки предел упругости достигается еще гораздо скорее, чем для железа. Свинцовая пластинка способна выправляться лишь после самых ничтожных изгибов.

Деревянная и стеклянная пластинки допускают довольно значительные упругие деформации, но предела упругости деформаций не

достигают; пластинки эти нельзя согнуть так, чтобы они остались заметно согнутыми; при значительном сгибании они ломаются. Дерево (сухое) и стекло могут служить примерами х р у п к и х веществ.

Сгибание представляет пример такой деформации, при которой изменяется только форма тела, объем же остается без изменения. В твердых телах возможны и такие деформации, при которых изменяется и объем тела, но только для заметного изменения объема большинства твердых тел требуются очень значительные усилия.

Возьмем кусок резины; если сжать резину, например, сверху и снизу, то она в этом направлении значительно сократится, но в то же время она заметно раздастся в стороны (рис. 48), и потому нельзя с уверенностью сказать, уменьшилась ли она в объеме или нет. Чтобы легко получить заметное уменьшение объема твердого тела, возьмем кусочек пробки: его легко просто пальцами сжать очень заметно, при чем почти никакого расширения в стороны нет (рис. 49),



Рис. 48.

Сжатый кусок резины раздается в стороны.

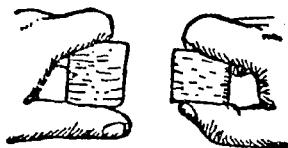


Рис. 49.

Сжатый кусок пробки не раздается в стороны.

следовательно, объем заметно уменьшается. При этом уменьшении объема пробка проявляет заметную упругую силу, стремясь достигнуть прежнего объема.

Итак, твердые тела проявляют силы упругости и при изменении их формы и при изменении их объема.

**32. Упругость жидкостей.** Жидкости не оказывают сопротивления при изменении их формы и, следовательно, не проявляют при этом упругости.

Если в резиновую трубку влить воды, то от этого несколько не изменится гибкость трубки.

Но, как мы уже знаем, жидкости сохраняют неизменным свой объем. Нужно огромное усилие, чтобы заметно сжать объем жидкости, а сжатая жидкость с соответственно огромной силой упругости стремится занять прежний объем.

Жидкости проявляют упругость при изменении объема, но не проявляют при изменении их формы.

Только в очень небольших количествах (в форме капель) жидкость способна сохранять свою форму и проявлять некоторое подобие упругости.

Возьмем маленькую каплю ртути. Чем меньше капля, тем форма ее ближе к форме шарика. Если на такую каплю надавить чем-нибудь, например, стеклян-

ной пластинкой, то капля расплывется, но после опять выпрямится в шарик подобно маленькому резиновому мячику.

**33. Упругость газов.** Ясно, что газы при своей крайней удобоподвижности еще менее, чем жидкости, способны оказывать сопротивление изменениям формы, но при уменьшении объема они проявляют более или менее значительное сопротивление, которое тем больше, чем сильнее газ сжат.

Благодаря стремлению беспредельно расширяться, газы всегда производят давление на стенки сосудов. Если нет стенок или каких-нибудь других препятствий, газ расширяется без конца. Газ сам по себе не имеет определенного объема и этим существенно отличается и от жидкости и от твердого тела.

Силу давления сжатого газа можно наблюдать при помощи всем известной игрушки — «воздушного пистолетика». Возьмем стеклянную трубку, приспособим к ней плотно подходящий поршень, вдвинем его с одного конца трубки, а другой конец закроем какой-нибудь пробкой. Если теперь быстро толкнем поршень, то сжатый в трубке воздух, стремясь расшириться, с силой вытолкнет пробку.

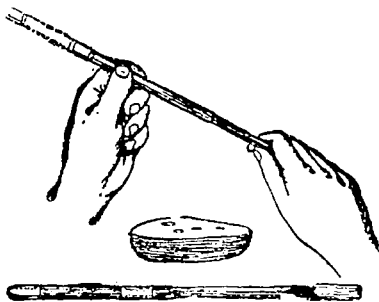


Рис. 50.  
Воздушный пистолетик.

При выстрелах настоящих пистолетов, ружей, пушек и т. п. происходит подобное же явление: большое количество горячих газов, образую-

щихся при быстром сгорании пороха, производит сильное давление и выталкивает пулю или снаряд.

Газы оказывают сопротивление только при уменьшении объема.

- ?) Отчего упруг резиновый мячик: от упругости оболочки или от упругости воздуха, находящегося внутри?
- Изменится ли упругость мячика, если оболочку проткнуть?
- ? Жидкость не сопротивляется изменению формы. Однако, если взболтать воду в ведре, она через несколько времени опять примет прежнюю форму. Какая сила тут действует? Упругость или какая-нибудь другая?
- ? Удобно ли было бы скульптору лепить из какого-нибудь упругого материала?
- ? Изменяется ли упругость тел от изменения температуры?
- ? Как сгибают стеклянные трубки?
- ? Как куют железо?

**34. Молекулярная гипотеза.** Исследуя свойства упругости тел, явление расширения тел при нагревании, явление перехода из одного состояния в другое и т. д., мы можем задаться вопросом: почему эти явления происходят именно так, а не иначе, какая связь между этими разными явлениями, что происходит во внутреннем строении тех тел, в которых мы наблюдаем различные изменения?

Подробные исследования очень многих физических, а также и химических свойств вещества издавна привели к предположению или, как говорится, к гипотезе,<sup>1</sup> что всякое вещество не сплошь заполняет собой занимаемое пространство, а состоит из отдельных зернышек, отдельных частичек.

Эти частички называют молекулами.<sup>2</sup>

Предполагается, что молекула представляет собой такое самое малое количество вещества, при котором вещество еще остается самим собой.

Если, например, я буду делить каплю воды на все более и более мелкие части, то самая малая капелька все же будет некоторым количеством в о д ы; молекула же должна представлять такое количество воды, разделив которое, мы получим уже не в о д у, а составные части молекулы воды, которые могут иметь совсем другие свойства, чем вода.

Постараемся хоть приблизительно исследовать, какие свойства должны приписать молекулам на основании того, что мы знаем о веществе.

**35. Размеры молекул.** Если наблюдать при помощи микроскопа вещество, раздробленное на мельчайшую пыль, то все-таки видны разнообразной формы тела, которые могут быть еще раздроблены на множество более мелких частей. Мельчайшие инфузории, микробы, величиной иногда меньше одного микрона (0,001  $\mu\text{m}$ ), представляют собой живые организмы, способные питаться, двигаться, очевидно состоящие из большого числа молекул. Наиболее совершенные микроскопы позволяют видеть предметы приблизительно до 0,2 микрона величиной; молекулы должны быть значительно меньше. Золото расплющивается в листы толщиной до 0,1 микрона, но и при такой ничтожной толщине золото способно образовать сплошной слой. Зажавши такой листочек между стеклянными пластинками и посмотрев на свет, мы ясно увидим в этом слое изъяны, но также и сплошные места, которые пропускают свет, приобретающий зеленую окраску. Эта окраска и служит указанием, что свет прошел через слой самого золота, а не чрез случайные дырочки.

Слой вещества подобной толщины, до 0,1  $\mu$ , легко получить из масла. Возьмем маленькую каплю прованского или какого-нибудь еще жидкого масла на кончик тонкой иголки и пустим на поверхность чистой воды. Капля в 1  $\text{mm}^3$  дает ясно видный слой около 100  $\text{cm}^2$ , или 10 000  $\text{mm}^2$  поверхностью; толщина такого слоя, следовательно, около 0,1  $\mu$ . После мы познакомимся со способом, позволяющим подмечать еще гораздо более тонкие, невидимые слои масла на воде.

Возьмем кусочек около 1  $\text{mm}^3$  фуксина,<sup>3</sup> растворим его в 100  $\text{cm}^3$  спирта и 1  $\text{cm}^3$  этого ярко окрашенного раствора выльем в литр воды.

<sup>1</sup> Греческое слово  $\beta\lambda\acute{o}\tau\eta\varsigma$  (гипотетис) буквально значит «предположение».

<sup>2</sup> Латинское слово *molecula* — маленькая масса.

<sup>3</sup> Удобным материалом для подобных опытов служит еще черная анилиновая краска — н и г р о з и н.

Вода по всему своему объему получит заметную окраску. Нетрудно рассчитать, что вещество нашей краски, занимавшее всего  $1 \text{ mm}^3$ , теперь распространилось по объему в 100 миллионов раз большему. В каждой капельке подкрашенной воды есть частицы фуксина; следовательно, объем каждой частицы наверное значительно меньше

$$\frac{1}{100\,000\,000} \text{ mm}^3.$$

Подобные опыты убеждают нас, что молекулы чрезвычайно малы: они гораздо меньше того, что можно мерить какими-нибудь масштабами или взвешивать на каких-нибудь весах.

Однако, весьма различные физические свойства вещества позволяют различными окольными путями оценить приблизительную величину молекул. Такие расчеты приводят к предположению, что диаметр молекул (допуская, что молекулы имеют форму, близкую к шару) не далек от 1 миллимикрона, т.-е.  $0,001 \mu = 0,000001 \text{ mm}$ . Чтобы представить себе всю малость этой величины, сообразите, что 1 миллимикрон во столько же раз меньше миллиметра, во сколько раз сам миллиметр меньше километра.

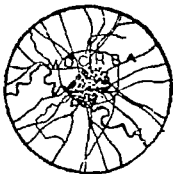


Рис. 51.

Карта Москвы, уместающаяся на площади двугривенного.

Представьте себе карту, начерченную в таком масштабе, что вся Москва свободно помещается на площади круга с радиусом в 11 микр (рис. 51); если бы мы захотели в том же масштабе отметить на этой карте маковое зернышко, лежащее на улице, то это зернышко пришлось бы изобразить величиной приблизительно в молекулу.

Средней величины яблоко во столько раз меньше земного шара, во сколько раз молекула меньше этого яблока.

**36. Пористость вещества.** При охлаждении или под сильным давлением тела способны уменьшать свой объем: эти явления заставляют предполагать, что между молекулами есть промежутки — поры, которые при разных условиях могут увеличиваться и уменьшаться. Тут речь идет не о таких порах, какие мы видим простым глазом или в микроскоп: в губке, в пемзе, в дереве, в меле, в фильтровальной бумаге и т. п., а о порах в сплошном теле, о промежутках между молекулами.

Возьмем длинную стеклянную трубку (лучше пошире), нальем ее до половины водой, а сверху нальем подкрашенного спирта (рис. 52).

Пока жидкости не перемешались, отметим верхний уровень спирта и, плотно закупорив трубку, повернем ее несколько раз, чтобы жидкости перемешались. Уровень окажется заметно ниже (в трубке длиной в метр получается понижение на 3, на 4 сантиметра): объем смеси спирта с водой окажется заметно меньше суммы их объемов. Молекулы спирта проникли в промежутки между молекулами воды и обратно.



Подобное сжатие смешиваемых жидкостей в меньшей степени наблюдается и с другими жидкостями.

Итак, надо допустить, что между молекулами есть промежутки.

**37. Молекулярное сцепление.** Мы знаем, что твердые и жидкие тела сохраняют свой объем, что нужно усилие, чтобы растянуть, сжать или сломать, разорвать твердое тело. Чтобы объяснить это свойство, надо допустить, что молекулы, находясь друг от друга на некоторых расстояниях, связаны между собою некоторыми силами **молекулярного сцепления**.

Упругость твердых и жидких тел показывает, что молекулярное сцепление удерживает молекулы более или менее на определенных расстояниях. В определенном расположении; как сближение, так и удаление молекул требует усилия.

Возьмем каплю ртути и разделим ее пополам; если эти две капли сблизить, они снова сольются в одну, благодаря силам сцепления. Заметим, что для слияния капель необходимо их сдвинуть до полного соприкосновения.

Разломим пополам кусок дерева, стекла или стали и сложим обломки, как они были; обломки не срастаются. Сила сцепления, которая с заметным трудом

преодолевалась при разломе, теперь не в состоянии восстановить целость куска.

Возьмем два кусочка свинца, сделаем на их концах свежие гладкие срезы и, соединив эти срезы, прижмем сильнее один кусок к другому: куски слепляются, и требуется заметное усилие, чтобы их разорвать (рис. 53).

Приходится допустить, что сила сцепления способна проявляться лишь на самых незначительных расстояниях. Излом твердого дерева или стекла нам не удастся сложить достаточно вплотную, чтобы сблизить молекулы попрежнему и восстановить



Рис. 52.

Сокращение объема смеси спирта и воды при смешивании

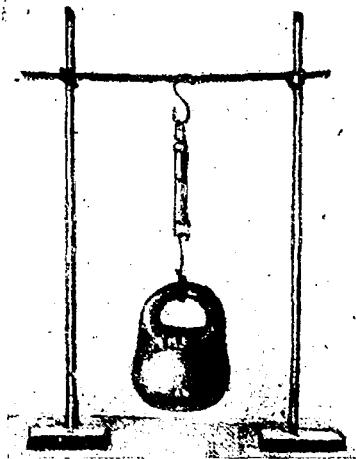


Рис. 53.

Сцепление кусков свинца выдерживает значительную тяжесть.

сцепление, но это удается с мягким свинцом или с размягченным (раскаленным) железом.

? Опустите палец в воду и выньте. Почему палец мокрый? Какая сила удерживает на пальце каплю воды?  
 ? Как кузнец «сваривает» два куска железа? Расплавляет ли он при этом железо?

? Как склеивают тела клеем, сургучом и т. д.?

Как спаивают металлы?

Почему для склейки и паяния употребляют жидкий клей, жидкий припой?

? Сдавите два кусочка свинца и смерьте силу, нужную для того, чтобы разорвать куски. Смерьте площадь прикосновения кусков и определите, какая сила разрыва приходится на каждый квадратный миллиметр. Смерьте силу разрыва пельной свинцовой проволоочки в квадратный миллиметр поперечного сечения.

**38. Движение молекул.** Уравновесим на весах широкий открытый сосуд и вольем в него углекислого газа, который, будучи тяжелее воздуха, будет некоторое время подобно жидкости удерживаться в сосуде. По истечении нескольких минут углекислый газ рассеется по воздуху, и весы вернутся к равновесию.

Если даже при опыте мы будем совершенно избегать всякого движения воздуха, углекислый газ, наперекор силе тяжести, разойдется, смешавшись с воздухом.

Нальем в стеклянный цилиндр до половины какого-нибудь раствора более тяжелого, чем вода, например, раствора медного купороса. Поверх раствора аккуратно нальем чистой воды так, чтобы граница между водою и раствором была как можно ясней. Через довольно большой промежуток времени (несколько дней или даже недель) с раствором произойдет то же, что с углекислым газом: наперекор силе тяжести раствор разойдется по всему объему воды.

Замечательно, что подобное явление удается наблюдать и с твердыми телами: удавалось, например, подмечать, что если кусок меди и цинка сдавить, то со временем частицы меди на очень заметную глубину проникают в цинк и обратно; в месте прикосновения образуется сплав меди с цинком (латунь).

Эти явления, называемые диффузией,<sup>1</sup> приводят к предположению, что молекулы вещества в различных состояниях более или менее быстро движутся. Если сделать предположение, что эти движения ускоряются при повышении температуры тел, то довольно естественное объяснение получают и явление расширения тел при нагревании, и особенности различных состояний вещества.

Если при нагревании твердого тела составляющие его молекулы приходят в более и более быстрые колебания, сильнее и чаще толкают друг друга, то, естественно, тело увеличивается в объеме; иногда, вследствие ослабления силы сцепления между движущимися молекулами, тело размягчается.

При достаточном нагревании молекулы движутся настолько быстро, и связь между ними настолько ослабляется, что тело уже перестает быть твердым, сила тяжести преодолевает силу сцепления; тело обра-

<sup>1</sup> Расплывание, рассеивание — от латинского глагола *diffundere*.

щается в жидкость, способную растекаться под действием собственной тяжести.

Наконец, если молекулы получают очень быстрое движение, то сила сцепления между ними делается незаметной, молекулы разлетаются в разные стороны, тело стремится неограниченно увеличиться в объеме: получается паробразное или газообразное состояние тела.

Приблизительно, грубое подобие движения молекул в газе может дать толпящийся в воздухе рой пчел. Тот же рой, сцепившийся в комок и повисший на сучке дерева, представляет собой грубое подобие капли жидкости. Наконец, представивши себе рой пчел, еще крепче сцепившихся, еще реже переползающих, мы получим, пожалуй, подобие твердого тела.

Особенною правильностью группировки молекул объясняются свойства кристаллов.



Рис. 54.

Рой пчел, сидящий на ветке, представляет подобие капли жидкости.

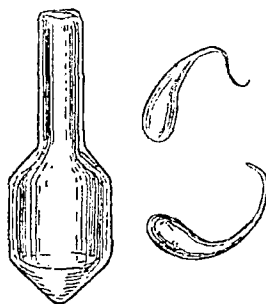


Рис. 55.

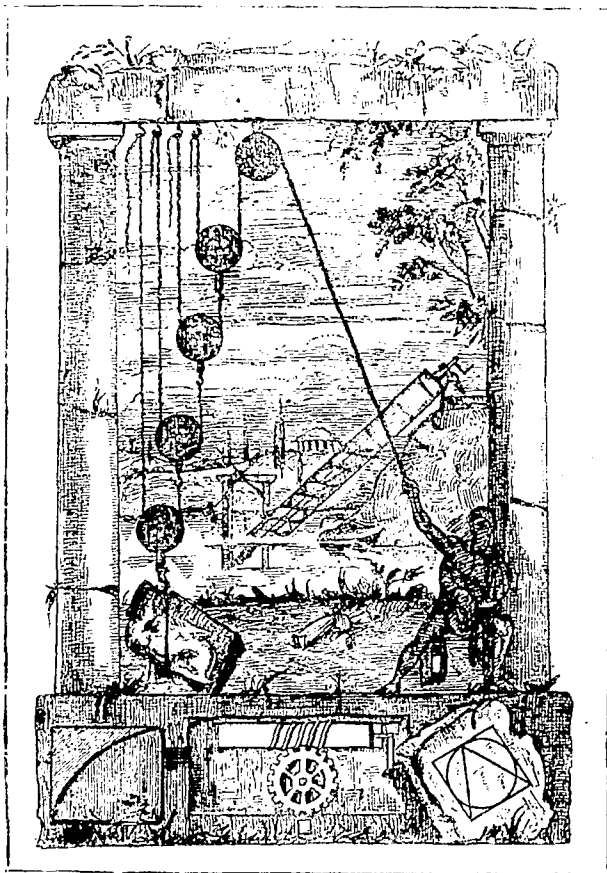
Болонская склянка и батавские слезки в половину натуральной величины.

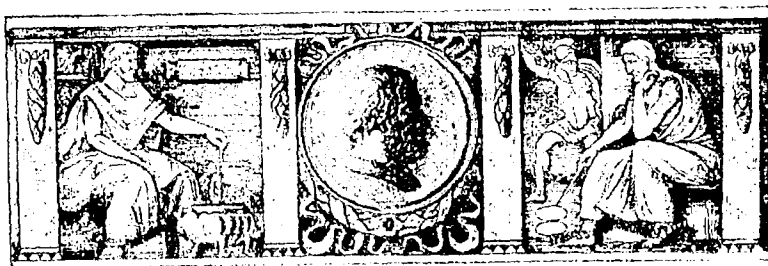
**39. Замечание относительно молекулярной гипотезы.** Молекулярная гипотеза представляет собой одну из главных, основных гипотез физики: при помощи этой гипотезы уясняются очень многие разнообразные явления, и неизвестно ни одного такого явления, которое бы ей противоречило. Однако, не следует забывать, что нет возможности исследовать свойства отдельных молекул, что эти свойства возможно выяснить только косвенным путем лишь в самых общих чертах. Существует огромное число известных нам явлений, в которых роль молекул представляется пока совершенно загадочной. К числу таких явлений относятся многие подробности в явлениях упругости. Трудно, напр., выяснить, какие именно изменения происходят среди молекул железа и угля, когда сталь так сильно изменяет свои свойства при разной закалке.

Примером трудно объяснимых проявлений молекулярных сил могут служить любопытные свойства каленого стекла. В продаже существуют флакончики из перекаленного стекла под названием *болонских склянок*; эти склянки очень крепки, но только пока цела их поверхность.

Положите в такую склянку свинцовой дроби или железных гвоздей, встряхивайте изо всей силы, вы не разобьете склянки; но стоит вложить туда несколько песчинок или маленький кусочек перекаленной стали, которые могут оцарапать стекло, и при встряхивании склянка лопается, иногда с маленьким выстрелом.

Так называемые *батовские слезки*, представляющие собой капли быстро охлажденного стекла с тонкими хвостиками, очень прочны, пока цел хвостик; они выдерживают сильные удары молотком. Но стоит отломить хвостик, и слезка моментально вся с силой разлетается на мелкие кусочки. Если такую слезку разломить внутри стакана с водой, то от взрыва слезки иногда лопается и стакан.





## Архимед.

(287 — 212 гг. до начала нашего летосчисления.)

Архимед, величайший математик и физик древности, родился в 287 г. до начала нашего летосчисления в Сиракузах, на о. Сицилии. Он прославился многочисленными научными трудами, главным образом, в области геометрии и механики.

Ему приписывается изобретение до 40 различных механизмов, между прочим: полиспаста, «бесконечного винта» для вращения зубчатого колеса и «архимедова винта» для подъема воды.

Архимедом была дана теория рычага и других простых машин. Мысль, что при помощи рычага можно получить сколько угодно большой выигрыш в силе. Архимед выражал словами: «дай мне точку опоры, и я сдвину землю».

Одним из важнейших открытий Архимеда является носящий его имя закон: тело, погруженное в жидкость, теряет в своем весе столько, сколько весит жидкость в объеме, вытесненном телом.

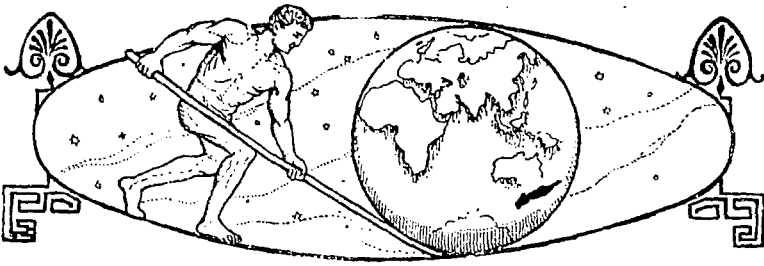
Относительно открытия этого закона рассказывается такая легенда. Царь Сиракузский Гиерон II, получив от ювелира заказанный золотой венец и подозревая, что венец сделан не из чистого золота, а содержит примесь серебра, поручил Архимеду решить этот вопрос, не ломая венца. Среди размышлений об этой задаче Архимеду случилось брать ванну. Чувствуя облегчение собственной тяжести при погружении в воду и наблюдая выливающуюся из ванны воду, Архимед сообразил, что путем взвешивания вытесняемой телом воды или путем взвешивания тела в воздухе и в воде можно определить то, что мы называем удельным весом тела, можно, следовательно, решить вопрос о венце. Согласно легенде, Архимед так обрадовался сделанному открытию, что, не одевшись, побежал по улицам Сиракуз с криком: «эврика! эврика!» (εὕρηκα — нашел!).

Последние три года жизни Архимеда Сиракузы были осаждены римскими войсками и флотом. По словам историков, Архимед для защиты родного города изобрел удивительные орудия и приспособления, которые губили римлян и наводили на них суеверный страх.

Когда, в 212 г. до начала нашего летосчисления, благодаря измене, Сиракузы были взяты, несмотря на приказ римского военачальника щадить жизнь Архимеда, он был убит солдатом, не знавшим его в лицо. Рассказывают, что Архимед сидел в то время, задумавшись над чертежом, сделанным на песке, и хотел остановить солдата, крикнув: «Не наступи на мои круги!».



Архимед при осаде Сиракуз. (Старинная деревянная мозаика.)



## ГЛАВА ВТОРАЯ.

### НАЧАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ МЕХАНИКИ.

**40. Предмет механики.** Слово **механика** — от греческого *μηχανή* (механэ), что значит: хитрость, выдумка, машина, собственно должно было бы означать науку о машинах, но принято придавать этому слову более широкий смысл, называя механикой учение вообще о движении и о тех силах, которые могут производить движение.

Бросьте мячик; он, описав кривую в воздухе, падает на пол, отскакивает и т. д.; сила вашей руки дает движение мячику, сила притяжения земли искривляет путь мячика и заставляет его упасть на пол; упав на пол, мячик сжимается, и сила его упругости дает ему снова толчок вверх и т. д.

Зажмем покрепче один конец стальной пластинки, а другой конец оттянем и пустим: сила упругости даст пластинке колебательное движение. Если длину свободного конца уменьшим, то колебания пластинки делаются более быстрыми и при достаточной быстроте начинают производить сотрясения воздуха, которые мы слышим, как звук; если пластинку укорачивать еще, колебания делаются еще более быстрыми, и звук изменяется, делается выше. Движение упругой пластинки порождает звуки.

Возьмите два куска дерева и двигайте их так, чтобы они сильно терлись друг о друга. Потертые места нагреваются настолько, что это будет заметно наощупь. Подобным образом можно получить очень сильное нагревание: дикари ухитряются таким путем получать огонь. Ударив куском стали о кремнь, вы получите искры. Вспомните те искры, которые сыплются из-под ножа, когда его точат на быстро вращающемся камне. Вследствие движения может получиться нагревание.

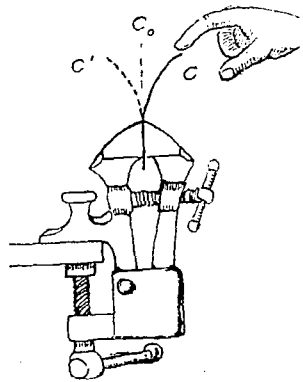


Рис. 56.

Колебания упругой пластинки.

Можно и наоборот, при помощи нагревания получить движение. Налейте в пробирку немного воды, закупорьте пробирку не очень сильно пробкой и нагревайте воду над горелкой. Вода закипит, образовавшийся пар будет давить на пробку, и пробка вылетит. Сила, выбрасывающая пробку, есть та самая сила, которая приводит в движение паровозы и всякие другие паровые машины. Вследствие нагревания может получиться движение.

Чем магнит отличается от куска железа или стали? Он способен притягивать к себе железо, способен давать движение куску железа. Может-быть, вам случалось видеть детскую игрушку: уточки и рыбки, которые плавают по воде за магнитной палочкой.

Возьмите обыкновенный электрический звонок; пока путь электрического тока не замкнут, звонок спокоен; но когда мы нажимаем кнопку, получается электрический ток, молоточек застучит по звонку, звонок задрожит и издаст звук.

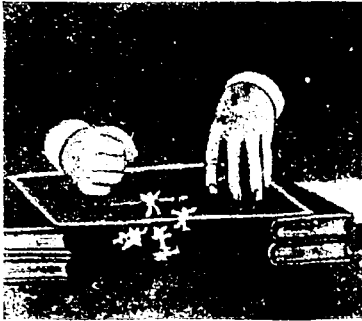


Рис. 57.

«Электрическая пляска» обрезков бумаги и бузиновых шариков.

Положите краями на какие-нибудь опоры пластинку стекла, а под нее обрезки бумаги, кусочки бузиновой сердцевины, вообще какие-нибудь легкие тела. Натрите стекло кожей, — кусочки будут подскакивать, прилипать к стеклу, снова отскакивать, начнется «электрическая пляска». Движение вашей руки вызывает на стекле «электричество». Электрическая сила приводит в движение кусочки бумаги.

Все только-что описанные опыты, которые мы в свое время разберем подробнее, показывают нам, что простейшее из явлений — явление движения — получается в связи с другими самыми разнообразными физическими явлениями.

Естественно поэтому начать изучение различных физических явлений с изучения явления движения, т.-е. с механики.

**41. Движение.** Рассмотрим сначала различные виды движений, не обращая внимания на те силы, которые эти движения производят. В некоторых случаях будем для простоты предполагать, что у нас движется не тело, а геометрическая точка. Путь, описываемый движущейся точкой, будем называть **траекторией** движения. По форме траектории движения можно разделить на **прямолинейные** и разнообразнейшие **кривлинейные** движения.

Вертикально падающая капля воды, вертикально брошенный вверх мячик, катящийся по гладкой доске кегельный шар и т. п. движутся прямолинейно.



Примерами различных криволинейных движений могут служить: движение конца стрелки часов или человека, катающегося на карусели (круговые движения), движение мячика, брошенного наклонно, или артиллерийского снаряда, или капли в наклонно пущенной струе воды (движения параболические, т.-е. движения на параболе, как называется описываемая ими кривая) и, наконец, движение летающей птицы или мухи, путь которых может не представлять никакой геометрической правильности.

Как прямолинейные, так и криволинейные движения могут быть **равномерными** и **неравномерными** или переменными.

Равномерным движением называется такое движение, при котором тело во всякие равные промежутки времени проходит равные пространства, т.-е. когда тело движется все время с одинаковой быстротой или с одинаковой скоростью.

Если поезд идет равномерно по 60 километров в час, то он в каждый час делает 60 км, каждую минуту —  $1 \text{ км}$ , каждую секунду  $\frac{1}{60} \text{ км}$ , каждую десятую долю секунды  $\frac{1}{600} \text{ км}$  и т. д.

Ход поезда на ровном месте в промежутке между станциями, ровный бег лошади, ровный бег пешехода, движение стрелок часов и т. п. могут служить примерами приблизительно равномерных движений.

Из наблюдаемых в природе движений самым равномерным является вращение земли около оси; астрономические наблюдения показывают, что время оборота земли вокруг оси (звездные сутки) не изменилось сколько-нибудь заметно со времен глубокой древности.

Среди разнообразнейших неравномерных движений можно различать ускоренные движения (падающее тело, поезд, отходящий от станции и т. п.), замедленные движения (тело, брошенное вверх, поезд, подходящий к станции и т. п.) и, наконец, вообще переменные движения то замедляющиеся, то ускоряющиеся (шарик колеблющегося маятника, полет птицы и т. п.).

**42. Скорость равномерного движения.** Равномерные движения могут различаться между собою быстротою, или **скоростью**, мы говорим, что скорее движется тот поезд, который в одно и то же время проходит большее пространство, чем другой поезд, или тот поезд, который одно и то же пространство проходит в меньший промежуток времени, чем другой.

Скорость определяется пространством, проходимым в единицу времени.

Говорится: поезд идет со скоростью 50 верст в час, ядро летит со скоростью 500 метров в секунду.

Зная, какое пространство прошло тело равномерным движением, и зная, в какое время пройдено это пространство, мы

легко найдем скорость движения, разделив число пройденных единиц длины на число единиц времени.

Если известно, например, что тело равномерным движением в 4 секунды проходит 100 см, то скорость его равна  $\frac{100}{4} = 25$  сантиметрам в секунду.

Так как для определения скорости приходится число единиц длины делить на число единиц времени, то единицы скорости принято обозначать в форме частного от соответствующей единицы длины, деленной на соответствующую единицу времени, например:  $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$  — километр в час,  $\frac{\text{м}}{\text{мин}}$  — метр в минуту,  $\frac{\text{см}}{\text{сек}}$  — сантиметров в секунду.

В нашем примере скорость определяется так:

$$\frac{100 \text{ см}}{4 \text{ сек}} = 25 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$$

Понятно, что для определения скорости нет непременно надобности, чтобы тело двигалось единицу времени или несколько единиц времени; достаточно знать пространство, проходимое за сколько угодно малый известный промежуток времени, и уже можно вычислить скорость за целую единицу времени. Чтобы определить, например, что автомобиль едет со скоростью 120 километров в час, не надо непременно наблюдать движение в течение целого часа на протяжении 120 километров; достаточно знать, в какое время автомобиль пробегает километр или метр или даже хоть только сантиметр.

При неравномерном движении скорость изменяется и может изменяться непрерывно, каждое мгновение. Если для неравномерного движения мы разделим длину пройденного пути на число единиц времени, то мы получим среднюю скорость.

Если поезд от Москвы до Ленинграда (круглым счетом 600 километров) шел 12 часов, то мы говорим, что поезд шел 50 километров в час. Но, очевидно, поезд шел временами быстрее, временами медленнее, временами совсем останавливался. 50 километров в час есть средняя скорость этого поезда: если бы поезд шел все время равномерно, он должен был бы идти с этой скоростью, чтобы пройти от Москвы до Ленинграда в 12 часов.

Если бы мы определяли скорость поезда для какого-нибудь определенного километра или метра или сантиметра, то мы все точнее и точнее получали бы истинную скорость поезда для определенного места пути или для определенного момента времени.

<sup>1</sup> Час принято обозначать буквой h, от латинского слова hora — час.

Приведем приблизительные величины скоростей для некоторых движений:

Человек идет шагом . . . . .	125 $\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$
Пароход быстроходный . . . . .	8,5 $\frac{\text{m}}{\text{sec}}$
Велосипедист . . . . .	10 »
Лошадь (беговая) . . . . .	12,5 »
Поезд (скорый) . . . . .	17 »
Голубь (почтовый) . . . . .	27 »
Ласточка . . . . .	65 »
Звук в воздухе (при 0°) . . . . .	330 »
Точка экватора при суточном вращении земли . . . . .	463 »
Пушечное ядро . . . . . до	900 »
Звук в воде . . . . .	1500 »
Земля в годичном движении вокруг солнца . . . . .	30 $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$
Свет (в пустоте) . . . . .	300000 »

Для равномерного движения очень нетрудно выразить соотношение между скоростью движения, пройденным пространством и временем движения в алгебраической форме.

Если обозначим скорость движения через  $v$ , пройденное пространство — через  $s$ , а время движения — через  $t$ , то получим, что

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

или

$$s = v \cdot t, \quad \text{или} \quad t = \frac{s}{v}.$$

? Улитка в течение 10 минут проползла 90 см, определите скорость ее движения в  $\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ ?

? С какою приблизительно скоростью движемся мы, благодаря вращению земли вокруг оси?

? Скорость движения морских судов выражается в особых единицах, в так называемых «узлах». Скорость в 1 узел равна скорости в 1 морскую милю (см. задачу в § 9) в час.

Вычислите, как выразится в километрах в час скорость парохода, делающего 20 узлов.

? Сколько приблизительно времени идет от Ливерпуля до Нью-Йорка (5 400 km) пароход, делающий 18 узлов?

? Какое расстояние пробегает в минуту звук, распространяющийся в воздухе?

? Какое расстояние может пролететь ласточка в течение 10 часов?

? Во сколько времени свет проходит пространство от Солнца до Земли (150 000 000 km)?

Во сколько времени звук по воздуху или курьерский поезд могли бы пройти такое же расстояние?

**43. Относительное движение.** Когда мы говорим о каком-нибудь движении: о его траектории, о его направлении, о его скорости, то непременно при этом предполагаем, что есть тела или точки не по-

движные, относительно которых и происходит рассматриваемое движение.

Представьте себе, что вы проходите по классу; вы совершаете некоторое движение относительно стен, пола, столов и т. д., которое мы считаем за неподвижные.

Теперь представьте себе, что это — не класс, не неподвижная комната, а вагон движущегося поезда; тогда, понятно, движение ваше относительно стен этого вагона будет одно, но ваше же движение относительно земли, относительно полотна дороги, телеграфных столбов и прочего будет совсем другое.

Движение ваше относительно полотна дороги будет, как говорится, сложным движением: оно будет слагаться из вашего движения относительно вагона и из движения самого вагона относительно полотна.

Заметим, что мы не знаем таких тел или таких точек, которые были бы совершенно неподвижными: мы знаем, что земля вращается вокруг своей оси и движется вокруг солнца, которое само движется относительно других звезд и т. д., следовательно, говоря, что тело неподвижно, мы всегда подразумеваем, что оно неподвижно только относительно каких-нибудь других тел, которые движутся вместе с ним.

**44. Примеры сложных движений.** I. Представьте себе, что вы идете равномерно поперек вагона в то время, как вагон движется относительно земли также равномерно, но втрое скорее вас.

Относительно вагона вы проходите траекторию  $Aa'a''a'''$  (рис. 58), но, благодаря движению вагона, сама эта траектория в то же время перемещается так, что точка  $A$  проходит путь  $Ab'b''b'''$ ; траектория вашего сложного движения относительно земли будет  $Ac'c''c'''$ .

II. Представьте себе, что во время равномерного движения парома пассажир ходит взад и вперед поперек парома, при чем движется равномерно вдвое скорее парома. Относительно парома пассажир проходит взад и вперед путь  $AB$  (рис. 59), но благодаря движению самого парома траектория сложного движения пассажира относительно берегов реки будет ломаная линия  $Ab'a''b'''a''''...$  и т. д.

III. В равномерно движущемся вагоне вертикально падает яблоко (рис. 60). Относительно вагона движение яблока будет прямолинейным (ускоренным), а относительно полотна дороги его движение будет криволинейным (по параболе, подобно падению яблока, брошенного горизонтально).

? Брызги вертикально падающего дождя делают наклонные следы на окнах движущегося вагона. Почему? В какую сторону получается наклон? От чего зависит величина наклона?

? Как изменится траектория сложного движения в примере I, если скорость поезда будет больше или меньше?

? Как изменится траектория сложного движения в примере II, если пассажир будет останавливаться на поворотах?

? Придумайте пример сложения не двух, а трех или четырех движений.

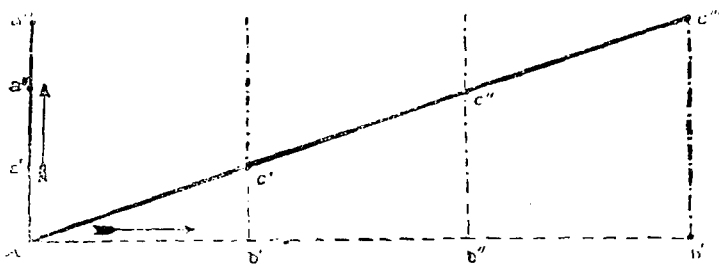


Рис. 58.

Траектория сложного движения человека, идущего поперек движущегося вагона.

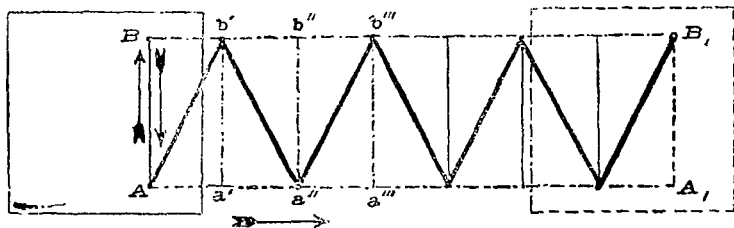


Рис. 59.

Траектория сложного движения человека на движущемся пароне.

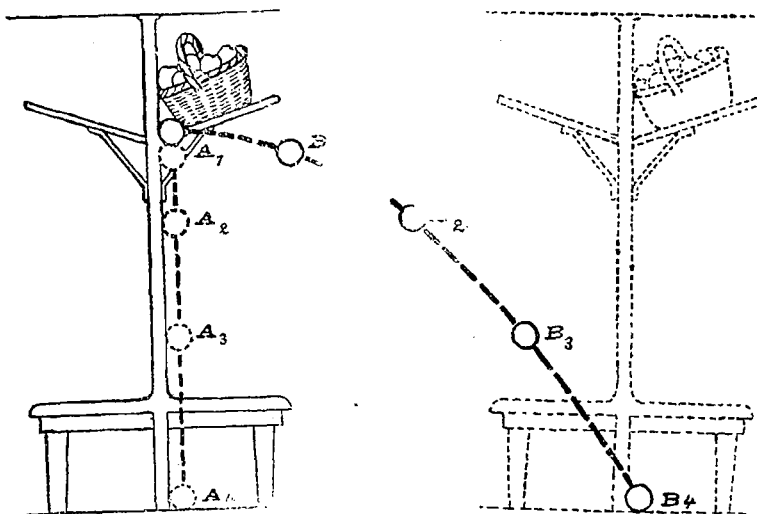


Рис. 60.

Траектория сложного движения яблока, падающего в движущемся вагоне.  
А. Цингер. Нач. физ.

**45. Изображение скоростей в виде отрезков (векторов).** При более подробном и точном изучении движений нам на каждом шагу является необходимым знать, какую скорость имеет тело или точка, при чем не только надо знать величину, но и направление этой скорости: недостаточно знать, что скорость точки равна, например,  $10 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ , но надо еще знать, в каком направлении движется точка с этой скоростью.

При изучении многих вопросов движения удобно пользоваться векторным изображением скоростей, т.-е. изображением скоростей в виде прямолинейных отрезков или стрелок, длина которых берется пропорционально величине скорости, а направление указывает направление скорости.



Рис. 61.

Изображение скорости в виде вектора.

Если условимся, например, что 3 мм длины стрелки выражает скорость в  $1 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ , тогда стрелка в 30 мм длины, проведенная от точки в каком-нибудь направлении, будет изображать нам (рис. 61), что точка движется в этом направлении со скоростью  $10 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ .

При равномерном прямолинейном движении скорость все время остается и одинаковой величины и одинакового направления (рис. 62, а).

При криволинейном движении направление скорости в какой-нибудь точке есть направление касательной в этой точке траектории.

При равномерном, но криволинейном движении скорость, оставаясь одинаковой величины, изменяет свое направление. Например, равномерное движение по кругу (рис. 62, в).

При неравномерном прямолинейном движении скорость изменяется по величине, но сохраняет неизменное направление. Например, вертикально падающее тело (рис. 62, б).

Наконец, при неравномерном криволинейном движении скорость изменяется и по величине и по направлению. Например, мячик, летящий по параболе (рис. 62, д).<sup>1</sup>

**46. Сложение скоростей.** Сложением скоростей называется определение скорости сложного движения по данным скоростям тех «составляющих» движений, из которых складывается сложное движение.

Решим задачу сложения скоростей для самого простого случая, когда складываются два прямолинейных равномерных движения.

<sup>1</sup> Некоторые дополнительные подробности учения о движениях приведены еще в конце книги, в главе X — «Графики физических явлений и законов».

Пусть пассажир идет по палубе парохода по прямой  $AA'$  (рис. 63) со скоростью  $1 \frac{m}{sec}$ , пароход же в это время движется по направлению  $AB'$  со скоростью  $2 \frac{m}{sec}$ . В движении своем относительно

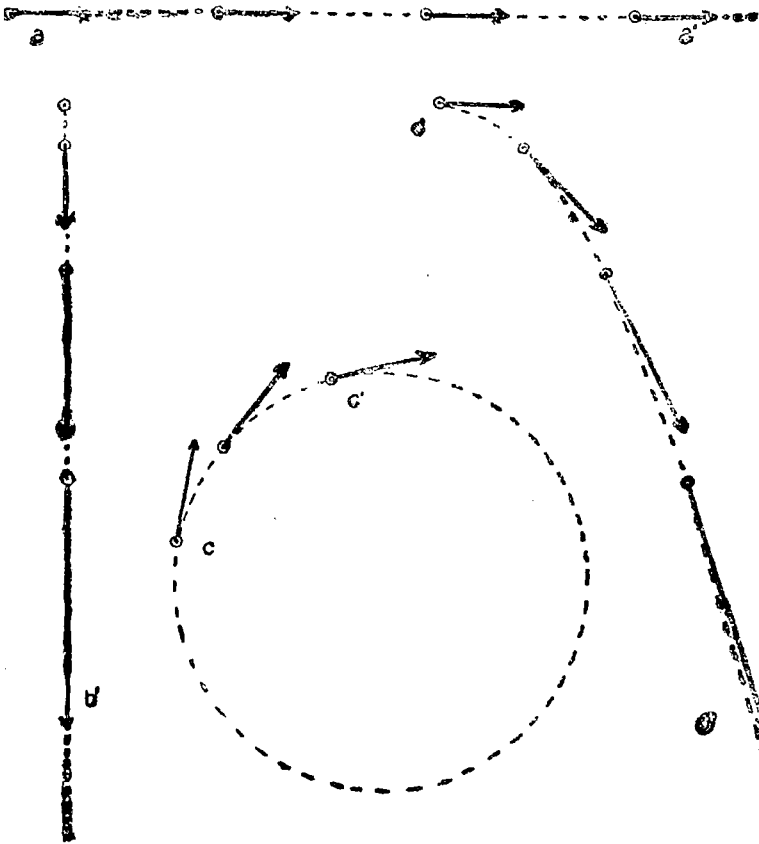


Рис. 62.

Векторное изображение скоростей в различных движениях.

парохода пассажир через 1 секунду переходит в точку  $A'$ , через 2 секунды — в  $A''$  и т. д.; а движение парохода переносит точку  $A$  в  $B'$ ,  $B''$  и т. д.

Нетрудно доказать, что сложное движение будет прямолинейным по прямой  $AC' C'' C''' \dots$  и равномерным: в 1-ю секунду проходит расстояние  $AC'$ , во 2-ю секунду равное ему расстояние  $C'C''$  и т. д.

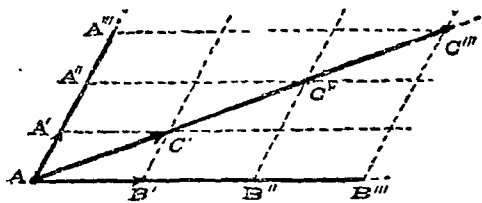


Рис. 63.

Графическое построение скорости сложного движения.

Если скорости составляющих движений изобразить векторами  $AA'$  и  $AB'$ , то скорость сложного движения изобразится вектором  $AC'$ , который представляет собой диагональ параллелограмма, стороны которого суть скорости составляющих движений.

Получаем так называемое **правило параллелограмма скоростей**.

При сложении двух прямолинейных равномерных движений скорость сложного движения ( $V$ ) по величине и по направлению выражается диагональю параллелограмма, построенного на составляющих скоростях ( $v_1$  и  $v_0$ ) (рис. 64).

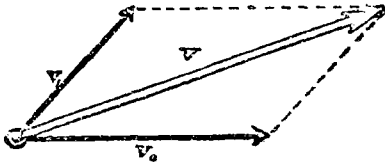


Рис. 64.

Параллелограмм скоростей.

Если составляющие скорости направлены по одной прямой в противоположные стороны, то скорость сложного движения равна их разности и направлена в сторону большей скорости (рис. 66).

Если составляющие скорости направлены под каким-нибудь углом друг к другу, то скорость сложного движения по величине

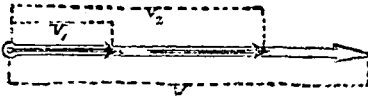


Рис. 65.

Сложение скоростей, направленных по одной прямой в одну и ту же сторону.

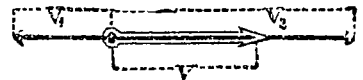


Рис. 66.

Сложение скоростей, направленных по одной прямой в разные стороны.

всегда меньше суммы, но больше разности составляющих скоростей.

При сложении неравномерных и непрямолинейных движений сложение скоростей происходит также согласно правилу параллелограмма, но задача осложняется тем, что составляющие скорости каждый момент изменяются по величине и по направлению, а потому и параллелограммы для различных моментов движения получаются различные.

? Поезд идет со скоростью  $10 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ . Кондуктор идет по вагону по направлению движения поезда со скоростью  $1 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ , другой кондуктор с такой же скоростью идет в противоположном направлении. Каковы скорости движения кондукторов относительно полотна дороги?

? Составляющие скорости, равные  $4 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$  и  $3 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ , направлены перпендикулярно одна к другой. Попробуйте определить направление и величину скорости сложного движения.



? Возможно ли, чтобы скорость сложного движения по величине была равна одной из составляющих скоростей?

? Как можно двигаться относительно плывущей барки, чтобы скорость относительно берегов была равна 0?

? Как зависит скорость движения парохода вверх и вниз по реке от скорости течения реки?

**47. Понятие о силах. Закон инерции.** До сих пор мы говорили о движении тел, не обращая внимания на причины этих движений, не обращая внимания на те **силы**, которые приводят тела в движение.

Из постоянных наблюдений окружающих нас физических тел и их движений мы хорошо знаем, что физические тела неспособны «сами собой» начинать двигаться: всякий раз, как мы наблюдаем, что какое-нибудь тело начинает двигаться, мы знаем или, по крайней мере, предполагаем какую-нибудь **силу**, вызвавшую это движение (сила тяжести, сила упругости, сила магнитного притяжения и т. п.).

Это основное свойство материальных тел стремиться сохранять состояние **покоя**, неподвижности, называется **инерцией**.<sup>1</sup>

Обыденные наблюдения учат также нас, что всякое раз начавшееся движение может продолжаться некоторое время и после прекращения действия силы, но что движение всякого тела, предоставленного «самому себе», рано или поздно прекращается.

Проследим некоторые движения на горизонтальной плоскости — на полу или на столе. Нам нужна **горизонтальная** плоскость, чтобы на движения по возможности не оказывала действия сила тяжести: на **наклонной** поверхности сила тяжести, очевидно, может либо помогать, либо препятствовать движениям.

Положим на пол книгу, картофелину и крокетный шар и дадим этим трем телам приблизительно одинаковые толчки. Движения этих трех тел получатся очень различные. Книга остановится почти мгновенно после прекращения действия толчка: картофелина прокатится на небольшое расстояние, сделав несколько неправильных поворотов; наконец, шар прокатится прямолинейно на довольно большое расстояние, лишь постепенно замедляясь.

Нетрудно усмотреть те силы, которые задержали движение книги, задержали и отклонили от прямолинейности движение картофелины, это — **сила трения** этих тел о шероховатую поверхность пола и удары о пол неправильных выступов картофелины.

Мы легко догадываемся, что и шар замедлялся в своем движении не «сам собой», а тоже благодаря шероховатостям пола и самого шара, а также благодаря **сопротивлению** воздуха.

Если бы пол и шар были глаже, движение наверно было бы более продолжительным, более равномерным и более похожим на прямолинейное. Если вам приходилось когда-нибудь играть на гладком

<sup>1</sup> Латинское слово *inertia* значит недеятельность, косность, лень.

льду только-что замерзшей реки, вы припомните, как поразительно далеко скользят по такому льду брошенный камешек или льдинка.

Теперь представьте себе такие совершенно неосуществимые условия движения: пусть движется тело, которого не задерживают никакие препятствия, на которое не действуют никакие силы. Приходится допустить, что такое тело совершенно не изменяло бы своего движения, оно вечно двигалось бы прямолинейно и равномерно.

Мы никогда не наблюдаем в действительности такого движения, так как не имеем возможности наблюдать тело, на которое не действовали бы никакие силы, но во всех движениях, на каждом шагу мы наблюдаем стремление тел сохранить свое движение по скорости и по направлению. Если тело как-нибудь изменяет свое движение, если движение ускоряется, или замедляется, или изменяет направление, мы во всех этих случаях усматриваем действие на тело какой-нибудь силы.

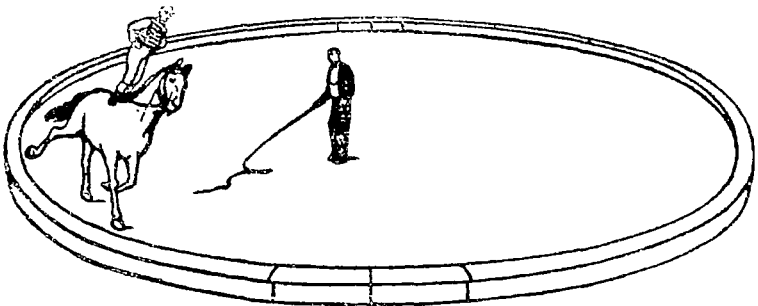


Рис. 67

Наездник и лошадь наклоняются внутрь круга, чтобы не упасть.

Инерция материальных тел сказывается не только тем, что тела стремятся сохранить состояние покоя, но и тем, что они стремятся сохранить движение.

Это стремление сохранить движение можно проследить на самых разнообразных, знакомых нам движениях. Когда вы сильно разбежитесь (например, на коньках), вам нужно употребить значительное усилие, чтобы остановиться или повернуть в сторону. Когда движущаяся лодка ударяется в берег или в пристань, пассажиры «по инерции» наклоняются вперед. Когда вы соскакиваете с идущего поезда или трамвая вы «по инерции» сохраняете его движение и, ставши на землю, чувствуете как бы толчок вперед, или как будто земля дергается назад. Велосипедист на повороте, лошадь с наездником на закруглении арены вследствие инерции испытывают стремление двигаться прямолинейно и наклоняются внутрь поворота, чтобы не упасть (рис. 67).

Этот закон инерции, с открытия которого ведет свое начало развитие механики, был впервые ясно высказан около 300 лет тому назад

<sup>1</sup> О Галилее см. в конце этой главы.

Г а л и л е е м. <sup>1</sup> Приведем этот закон приблизительно в той форме, в какой высказывал его Н ь ю т о н (почти 100 лет после Галилея).

Всякое тело сохраняет состояние покоя или прямолинейного равномерного движения, пока какая-нибудь сила не заставит его изменить это состояние (**закон инерции**).

Выяснив закон инерции, мы можем теперь точнее определить, что мы подразумеваем под словом **сила**.

Силою называется всякая причина, изменяющая движение.

Действие силы на тело может заключаться: 1) в возникновении или прекращении движения, 2) в ускорении или замедлении движения, 3) в изменении направления движения. <sup>2</sup>

Можно разделять силы на м г н о в е н н ы е, действующие очень кратковременно (толчок, удар), и н е п р е р ы в н ы е, действующие более или менее продолжительное время (сила тяжести, тяга лошади или паровоза).

Мгновенная сила мгновенно изменяет величину или направление скорости (например, удар кием по бильярдному шару, удар шара о борт и т. п.). Непрерывная сила непрерывно изменяет скорость (например, сила тяжести непрерывно изменяет и по величине, и по направлению скорость брошенного мячика).

#### 48. Понятие о массе. Различие между массой и весом.

**Плотность.** Представим себе, что на горизонтальном полу лежат у нас три шара; деревянный, другой деревянный в 10 раз большего объема и латунный, по объему равный маленькому деревянному, а по весу — большому деревянному. Пусть этим трем шарам даны одинаковые толчки. Представим себе, что плоскость вполне горизонтальна, так что сила тяжести не оказывает никакого влияния на движение, и что никаких трений никаких сопротивлений движению нет.

Тогда вследствие ударов шары начнут двигаться равномерно, при чем скорость движения двух более тяжелых шаров будет в 10 раз меньше скорости легкого.

Более тяжелые, более массивные шары обладают большей и н е р ц и е й, оказывают большее сопротивление движущей силе. Сопротивляется движущей силе не вес, не сила тяжести (она не препятствует и не помогает движению), а и н е р т н о с т ь, м а с с и в н о с т ь этих тел. Мы говорим, что большие шары обладают в 10 раз большими массами. **Масса**

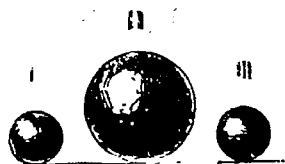


Рис. 68.

Шары I и III имеют одинаковые объемы. Шары II и III — одинаковые массы.

<sup>2</sup> Тут разумеется именно механическая сила, т.е. сила, способная изменять движение. Слово «сила» употребляется в физике и в других смыслах, говорят: сила освещения, сила звука, сила электрического тока. Эти силы не суть механические силы.

тела представляет собой меру его инертности, меру его неподатливости движущей силе.

Для однородных тел масса может быть мерою количества вещества: «Масса большого деревянного шара в 10 раз больше массы малого» — значит, что в большом шаре в 10 раз больше такого же материала — дерева.

Для неоднородных тел рассуждать подобным образом нельзя: «Масса большого деревянного шара равна массе латунного» — это не значит, что в латунном шаре содержится столько же вещества, сколько в деревянном; это значит только что эти шары оказывают одинаковое сопротивление действующим на них силам, получают одинаковые скорости от одинаковых толчков.

Массы тел пропорциональны их весам, поэтому для сравнения масс тел мы можем сравнивать их веса.

Для измерения масс за единицу массы принимают массу 1 см<sup>3</sup> воды (при 4° С) и называют эту единицу так же, как единицу веса, граммом.

Таким образом грамм, а также килограмм, миллиграмм и русские: пуд, фунт и проч. имеют двойное значение: как единицы веса и как единицы массы. Поэтому в тех случаях, когда может быть сомнение, следует отмечать: грамм-вес или грамм-масса, фунт-вес или фунт-масса.

Вес тела есть та сила, с которой это тело притягивается к земле. Эта сила различна на различных расстояниях от центра земли, и потому одно и то же тело может иметь различный вес, смотря по тому, где оно находится. <sup>1</sup>

Масса же тела, его инертность, проявляющаяся при действиях какой угодно силы, представляет собой совершенно неизменное свойство тела.

Благодаря пропорциональности массы и веса, в обыденной жизни мы часто не делаем различия между этими двумя понятиями. Например: мне нужно купить 10 фунтов дрови для противовеса к лампе и  $\frac{1}{2}$  фунта сахара к чаю. Относительно дрови здесь идет речь о весе, о силе, а относительно сахара — о количестве вещества, массе, так как, очевидно, дело не в том, чтобы купленный сахар с силою  $\frac{1}{2}$  фунта давил на стол.

Поднимая какой-нибудь груз или подбрасывая вверх какое-нибудь тело, мы преодолеваем не только вес этого тела, но и инерцию его массы.

Сдвигая какое-нибудь тело, например, стол, по горизонтальному направлению, заставляя его скользить по горизонтальному полу, мы преодолеваем не вес его, а только инерцию его массы и силу трения.

Паровоз, строгивая поезд и сообщая ему скорость по горизонтальным рельсам, преодолевает инерцию массы поезда, разнообразные тре-

<sup>1</sup> Тело, весящее в Москве ровно 1000 g, в Архангельске весит около 1001 g, а в Одессе — около 999 g, на экваторе — меньше 997 g. Это же тело, удаленное от поверхности Земли на расстояние, равное радиусу Земли, притягивалось бы к Земле всего с силой в 250 g, а удаленное на такое расстояние, как Луна (60 земных радиусов), — с силою меньше  $\frac{1}{3}$  g.

ния и сопротивление воздуха. Вес поезда, сила тяжести действуют здесь только косвенным образом, увеличивая силы трения. Когда поезд разошелся и идет равномерно по горизонтальным рельсам, движение его происходит по инерции, а работа паровоза идет на преодоление трений и сопротивлений, которые без работы паровоза замедлили и остановили бы движение поезда.

В тех местах, где железнодорожный путь идет в гору, сила тяжести препятствует движению, и потому для поддержания равномерного движения паровоз должен развивать большую силу. Наоборот, под гору сила тяжести помогает паровозу.

Подобно тому как вес одного кубического сантиметра вещества определяет собою удельный вес этого вещества, так масса одного куб. сантиметра вещества определяет собою **плотность** вещества. Плотности вещества, очевидно, выражаются в  $\frac{g}{cm^3}$  теми же числами, что и удельные веса. Разница лишь в том, что в выражении удельных весов разумеются граммы-веса, а в выражении плотностей — граммы-массы.

☞ Сообразите, где в нижеприведенных фразах говорится о весах и где о массах?

На колокол гонло 1000 пудов бронзы. Колокол в 1000 пудов сломал балку, на которой висел.

Я не могу поднять гирию в 50 kg. Я оттолкнул лодку с 5-ю пассажирами, вес которых был больше 300 kg.

Один грамм водорода, соединяясь с 8 g кислорода, образует 9 g воды.

? Когда мы двигаем какое-нибудь тело под водой, преодолеваем ли мы инерцию воды?

? Комнатная дверь и крышка сундука имеют одинаковый вес. Одинаковые ли усилия требуются, чтобы отворить дверь и открыть сундук?

? Какие силы преодолевают рабочие, передвигающие вагон по горизонтальным рельсам?

**49. Действие сил на движущиеся тела.** Если каюта парохода или вагон поезда движутся прямолинейно и равномерно, то все находящиеся в них тела также движутся и по инерции стремятся сохранить свое движение. Благодаря этому, если внутри вагона действуют какие-нибудь силы, например, вы подбрасываете и ловите мячик, то движение мячика относительно вагона происходит совершенно так же, как в неподвижном вагоне. Движение вагона изменяет относительное движение мячика только в том случае, если движение вагона будет как-нибудь изменяться (ускоряться, замедляться или изменять направление).

Если система тел движется прямолинейно и равномерно, то производимое какой-нибудь силой движение тела относительно системы не зависит от ее движения (**закон относительного движения**).

В нашем примере систему тел представляют вагон и все, что в нем находится, действующие силы — сила вашей руки и сила тяжести мячика, которые производят в движущемся вагоне такое же движение, как и в неподвижном.

Мы знаем, что наша «неподвижная» комната на самом деле движется благодаря вращению земли вокруг оси, однако, действия сил внутри комнаты производят такие же движения, как и в совершенно неподвижной комнате.

Впрочем заметим, что это не вполне верно: вращение земли есть движение равномерное, и о н е п р я м о л и н е й н о е, и поэтому это вращение может оказывать влияние на движения тел на земле. Действительно, вращение земли сказывается в направлениях ветров, в направлениях морских и речных течений, в действительности силы тяжести и пр.

? Человек тянет груз по полу движущегося вагона. При каких условиях движение вагона может помогать или препятствовать усилиям человека? При каких условиях движение вагона не будет оказывать влияния?

? Земля падает вертикально вдоль мачты парохода, если он неподвижен. Каково будет движение падающего камня относительно мачты: при равномерном, при ускоренном и при замедленном прямолинейном движении парохода? Каково будет это движение при поворотах парохода?

? Земля под нами вращается с запада на восток. Почему, подпрыгнув вверх, мы попадаем на то же место, а не смещаемся к западу?

? Как должен подпрыгивать цирковой артист, стоящий на скачущей лошади, чтобы, проскочив сквозь обруч, снова попасть на лошадь.

**50. Действие и противодействие.** Возьмите какую-нибудь пружину, например, пружинные весы; закрепите один конец этой пружины, а к другому подвесьте какой-нибудь груз, например, 3 килограмма. Пружина несколько растянется и, стремясь снова сжаться, будет тянуть, с одной стороны, подвешенный груз с силой 3 кг кверху, с другой стороны, тот гвоздь, на котором она висит, с такой же силой книзу. Если бы вы захотели настолько же растянуть эту пружину, взявши руками за концы, вам пришлось бы и той и другой рукой тянуть с силой по 3 кг.

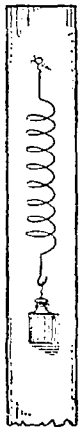


Рис. 68а.

При выстреле орудия пороховые газы выталкивают с некоторой силой снаряд и в то же время с такой же силой толкают орудие назад. Получается отдача, откат орудия назад, при чем орудие движется гораздо медленнее снаряда, так как масса орудия во много раз больше массы снаряда. Подобная отдача в более слабой степени бывает при выстреле из ружья или из револьвера.

При движении парохода вертящееся колесо или винт толкают с некоторой силой воду назад и в то же время с такой же силой сами отталкиваются от воды и тем толкают пароход вперед.

Описанные явления могут служить примерами для выяснения следующего общего закона:

Если какая-нибудь сила действует на тело, то всегда в то же время на некоторое другое тело действует равная, противоположно направленная сила противодействия. Иными словами, силы всегда проявляются в виде взаимодействия двух тел, действующих друг на

друга сравными силами в противоположных направлениях (закон равенства действия и противодействия).

Когда масса одного тела очень велика в сравнении с массой другого, то при взаимодействии большее тело сдвигается на ничтожное, иногда совсем незаметное расстояние.

Если в легкой лодке, спокойно стоящей на воде, вы пойдете от кормы к носу, вы легко можете заметить, что лодка при этом будет двигаться в противоположную сторону. Делая шаги, вы одновременно будете толкать себя вперед, а лодку с такой же силой — назад. Если вы повторите такой опыт на большом пароходе, вы уже не заметите движения парохода. Тем более нет возможности подметить, что, когда вы идете по земле, вы даете ногами толчки в противоположную сторону всему земному шару.

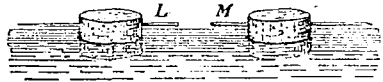


Рис. 68b.

Когда камень падает на землю, действуют силы взаимного притяжения между камнем и землей. Камень и земля движутся друг другу на встречу, только земля, обладая неизмеримо большей массой, сдвигается на совершенно незаметное расстояние.

? Если вы умеете намагнитить иголку, <sup>1</sup> сделайте такой опыт. Возьмите две одинаковые иголки; одну из них намагнитьте, и затем обе, укрепив в одинаковых пробочках, пустите плавать на воду. Если теперь вы будете удерживать намагниченную иголку *M*, то ненамагниченная — *L* будет к ней притягиваться; если же вы будете удерживать иголку *L*, то иголка *M* к ней будет притягиваться (рис. 68b).

Магнит притягивает железо и в то же время непременно сам с такой же силой притягивается к железу.

? Два рыбака, *A* и *B*, стоят в лодках, держа в руках концы веревки. Лодка рыбака *A* больше и больше нагружена, чем лодка *B*. Рыбаки тянут веревку поочередно с одинаковой силой (рис. 68с).

Как будут двигаться лодки, когда будет тянуть *A*, и когда будет тянуть *B*?

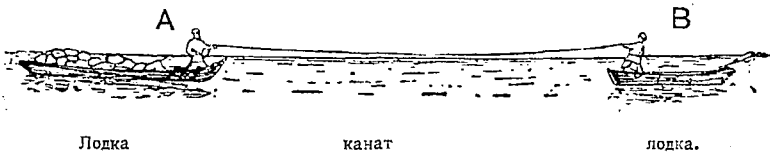


Рис. 68с.

**51. Падение тел. Влияние сопротивления воздуха.** Рассмотрим самое знакомое нам движение — движение падающего тела. Вы, конечно, много раз наблюдали, что различные тела падают с различной быстротой. Например, пуля падает быстро, кусочек бумаги медленнее, а пушинка еще медленнее; когда с верхнего яруса театра уронят бинокль, он падает со стремительной быстротой, но когда уронят афишу, она медленно падает, раскачиваясь в воздухе. Эти поверхностные наблюдения могут повести к неправильному заключению, что тела падают тем скорее, чем они тяжелее.

<sup>1</sup> Как это можно сделать, указано в главе VI — Магнетизм.

В прежнее время (до Галилея) это ошибочное заключение принималось за научную истину. Нетрудно, однако, убедиться, что это **н е п р а в и л ь н о**. Возьмите дробинку и большой лист газеты: дробинка легче газеты, но будет падать быстрее. Нетрудно заподозрить, что замедление падения происходит вследствие сопротивления воздуха.



Рис. 69.

Падение тел в  
сезвсзгушном  
пространстве.

Уроните два одинаковых листа бумаги: один развернутый, а другой сжатый в комок или сложенный в «стрелку»; комок или «стрелка» упадут быстро, а развернутый лист, встречающий сопротивление воздуха по всей своей большой поверхности, будет падать гораздо медленнее. Уроните рядом медный пяточок и кусочек бумаги, величиной немного меньше пяточка; бумажка заметно отстанет при падении; но если бумажку положить сверху на пяточок и уронить их вместе, они падают одновременно; пяточок, падая впереди бумажки, избавляет ее от сопротивления воздуха.

Сопротивление воздуха тем больше, чем больше поверхность тела, обращенная в сторону движения. Кусок картона падает гораздо медленнее плашмя, чем ребром.

Имея нужные приспособления, можно произвести такой наглядный опыт. В трубку кладут маленькие тела очень различного веса, например, дробинку и ватку. Если, быстро поворачивая трубку, ставить ее вертикально, тела падают с различной быстротой: дробь очень быстро, ватка — медленно. Но если из трубки выкачать воздух, то ватка падает так же стремительно, как дробь (рис. 69).

Наблюдаемая нами разница в скорости падения легких и тяжелых тел зависит от различного сопротивления воздуха.

В пустоте все тела падают одинаково быстро.

? Камень падает быстро, но тот же камень, растертый в порошок, сильно задерживается воздухом. Почему?

Если кубик разрезать на 1000 равных кубиков, как будет относиться сумма их поверхностей к поверхности первоначального кубика?

**§2. Законы свободного падения тел.** Падающее тело (предполагается, что сопротивления воздуха нет) находится все время под влиянием только силы тяжести. Сила тяжести непрерывно тянет вниз и непрерывно увеличивает скорость падения.

Вследствие слишком большой скорости падения движение падающего тела трудно исследовать непосредственно. Мы не будем говорить о тех способах, которые позволяют точно изучать действие силы тяжести и движение падающего тела, а приведем только главные законы этого движения.



Если в некоторый промежуток времени от начала падения тело проходит расстояние  $a$ , то во второй такой же промежуток оно пройдет  $3a$ , в третий —  $5a$ , в четвертый —  $7a$  и т. д.; в каждый следующий промежуток приходится на  $2a$  больше.

Пространства, проходимые падающим телом в равные промежутки времени, возрастают пропорционально ряду нечетных чисел 1, 3, 5, 7 и т. д.

Если за первый промежуток времени пройдено расстояние  $a$ , а во второй —  $3a$ , то, очевидно, за оба первые промежутка пройдено  $1a + 3a = 4a$ ; за первые три промежутка вместе проходит  $1a + 3a + 5a = 9a$ , за первые четыре промежутка  $1a + 3a + 5a + 7a = 16a$  и т. д.

Итак:

за один промежуток проходится . . . . .	$1a$
» два . . . . .	$4a$
» три . . . . .	$9a$
» четыре . . . . .	$16a$
. . . . .	. . . . .

Пространства, проходимые в один, в два, в три и т. д. промежутка времени, пропорциональны квадрату числа промежутков.

Грубую проверку этого закона можно сделать так: возьмем длинную бечевку от пола по возможности до потолка, разобьем ее на равные отрезки и прикрепим к ней свинцовые пули; первую на расстоянии одного отрезка от пола, вторую — на расстоянии 4-х отрезков от пола, третью — на расстоянии 9-ти отрезков, четвертую — на расстоянии 16-ти отрезков и т. д. (рис. 70).

Если теперь отпустить эту бечевку, предоставив пулям падать, то, согласно вышеприведенным законам, первой пуле придется лететь один промежуток времени, второй — два таких же промежутка, третьей — три и т. д. Пули должны падать через одинаковые промежутки времени одна за другой. Прислушиваясь к ударам падающих пуль, мы услышим эти удары через равные промежутки.

Зная вышеприведенный закон движения и зная из опыта, какое пространство проходится падающим телом в первую секунду, мы можем вычислить высоту падения за любое число секунд; для этого нужно только высоту падения за первую секунду помножить на квадрат числа секунд.

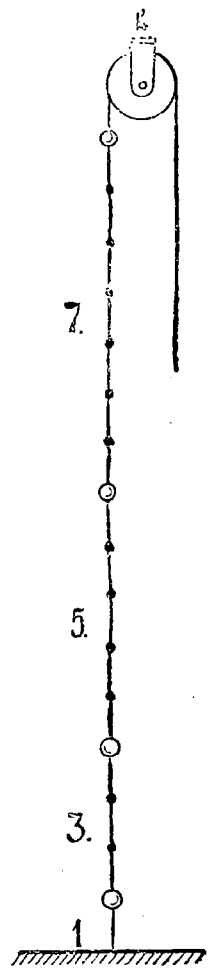


Рис. 70.

Пули, падая с веревкой, достигают пола через разные промежутки времени.

В первую секунду свободно падающее тело проходит 490 см (почти 5 метров); следовательно, в 2 сек. оно пройдет  $490 \cdot 4 = 1960$  см, в 3 секунды —  $490 \cdot 9 = 4410$  см и т. д.

Этот закон падения можно выразить формулой. Если обозначим высоту падения в сантиметрах через  $h$ , а время падения в секундах через  $t$ , то

$$h = 490 \cdot t^2.$$

Эта формула позволяет вычислять время падения, если известна высота падения. Например: сколько времени падает тело с высоты мачты Шаболовской радиостанции в Москве? Приблизительно высота мачты 150 метров, т.-е. 15000 см. Следовательно:

$$15\,000 = 490 t^2, \text{ откуда } t^2 = \frac{15\,000}{490} = \text{приблиз. } 31;$$

$$t = \sqrt{31} = 5\frac{1}{2} \text{ sec.}$$

- ? Какое пространство проходит падающее тело в 10 сек.? Во сколько раз меньше пространство проходит оно в 0,1 sec.?  
 ? Во сколько приблизительно времени тело падает от потолка до пола классной комнаты?  
 ? Сколько приблизительно времени падает тело с высоты парижской башни Эйфеля (300 метров)?

### 53. Движение тела, брошенного горизонтально или наклонно.

Если тело не уронено, а брошено каким-нибудь толчком, то его движение складывается из движения по инерции от полученного толчка и из движения падения.

Пусть, например, шарик катился по столу, докатился до края стола и, имея по инерции

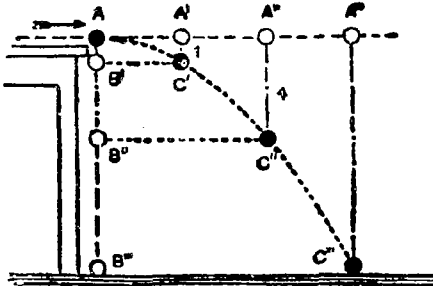


Рис. 71.

Падение тела, брошенного горизонтально.

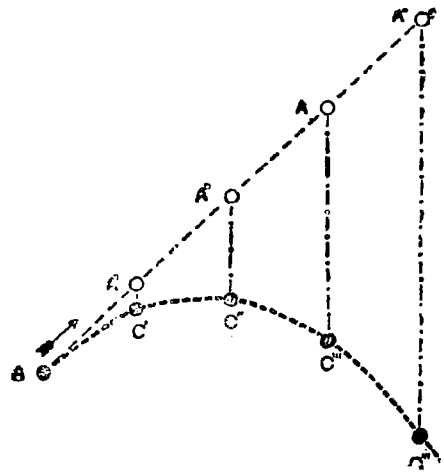


Рис. 72.

Падение тела, брошенного наклонно.

горизонтальную скорость, стал падать (рис. 71). Если бы на шарик не действовала тяжесть, он по инерции через равные промежутки времени, попал бы в точки  $A'$ ,  $A''$ ,  $A'''$  и т. д.

Если бы, наоборот, шарик двигала одна сила тяжести, но он не имел бы горизонтальной скорости, то он падал бы вертикально, переходя в точки  $B'$ ,  $B''$ ,  $B'''$ , и т. д.

Действительное движение шарика происходит по пути  $AC' C'' C''' \dots$  (по параболе), при чем время его падения до пола одинаково, как при вертикальном падении, так и при наклонном.

Время падения горизонтально брошенного тела до пола равно времени вертикального падения с той же высоты. Бросьте одновременно со стола две монеты: одну с толчком, другую без толчка: обе монеты одновременно ударятся о пол. Движение тела, брошенного наклонно, также складывается из равномерного движения по инерции по наклонной прямой и падения (рис. 72).

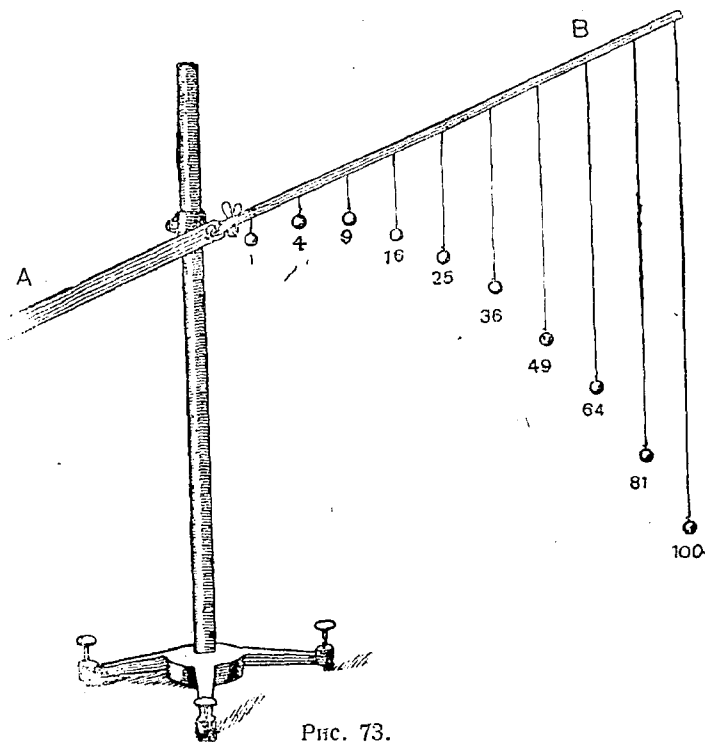


Рис. 73.

Подвешенные шарики намечают путь тела, брошенного наклонно.

Если на равных расстояниях к стержню (рис. 73) подвесить шарики на нитях, длины которых пропорциональны числам 1, 4, 9, 16 и т. д., т. е. пропорциональны пространствам, проходимым падающим телом в равные промежутки времени, то подвешенные шарики наметят параболу, по какой летит брошенное тело. Изменяя наклон стержня, можно получать параболы, соответствующие бросанию под разными углами к горизонту.

**54. Движение по кругу.** Ознакомившись с законом инерции, мы знаем, что без действия какой-нибудь силы тело сможет двигаться только прямолинейно; следовательно, всякое движение по кругу, как и движение по какой угодно кривой линии, может происходить только при действии на тело силы, тянущей тело в сторону

искривления пути. На поезд, идущий по закруглению пути, действует сила сопротивления рельсов. Привязав гирыку на бечевку, вы можете заставить эту гирыку описывать круги; при этом движении сила натяжения бечевки будет непрерывно совращать гирыку с прямолинейного пути, по которому гирыка стремится двигаться по инерции. Луна движется вокруг Земли под действием силы притяжения Земли.

Для движения по кругу необходимо действие силы, направленной внутрь закругления, к центру круга, необходима какая-нибудь, как

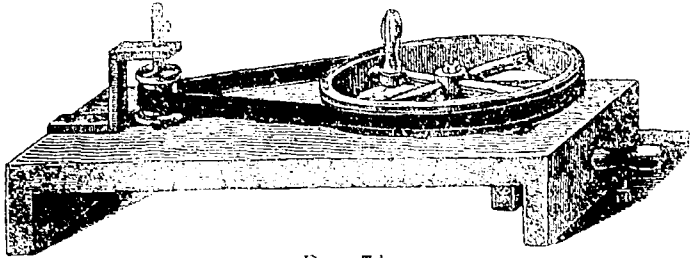


Рис. 74.

Центробежная машина.

говорится, центостремительная сила. Тела, движущиеся по кругам или вообще по кривым линиям, постоянно сохраняют по инерции стремление двигаться прямолинейно: поезд, сошедший с рельсов, или камень, сорвавшийся с бечевки, устремляются по направлению касательной к своему криволинейному пути.

Стремление двигаться прямолинейно сказывается во время движения тем, что движущееся по кругу тело непрерывно оказывает сопро-

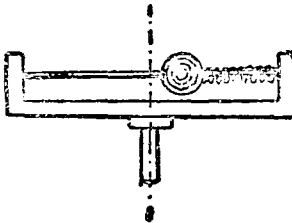


Рис. 75.

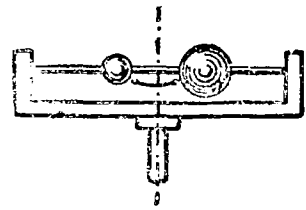


Рис. 76.

тивление тем силам, которые совращают его с прямолинейного пути. Колеса поезда на закруглениях пути давят на рельсы в сторону, противоположную закруглению; вертящаяся гирыка натягивает бечевку и тянет вашу руку.

Эту силу противодействия, которую вследствие инерции проявляют тела, движущиеся по кругам, называют центробежной силой инерции или просто центробежной силой.

Для исследования круговых движений употребляют различные приспособления, так называемые центробежные машины, позволяющие давать более или менее быстрое вращение различным телам (рис. 74).

Будем вертеть на какой-нибудь такой машине прибор (рис. 75), состоящий из просверленного шарика, свободно скользящего по стержню, закрепленному в раме, при чем пружина задерживает приближение шарика к краю рамы. Чем быстрее вращение, тем дальше шарик отходит от оси вращения, тем сильнее сжимает он пружину.

Давление пружины на шарик есть в данном случае та сила, которая удерживает шарик на круговом пути — центробежная сила; давление шарика на пружину есть центробежная сила.

Центробежная сила тем больше, чем больше скорость движения.

Если будем вращать прибор, состоящий из двух связанных между собой скользящих шариков различных масс (рис. 76), то при одинаковых скоростях движения, при одинаковых расстояниях от оси оба шарика перетягиваются в сторону большего.

При одинаковых скоростях движения центробежная сила тем больше, чем больше масса тела.

Если вращать шарообразный ком мягкой глины (рис. 77), он заметно сплющивается по оси

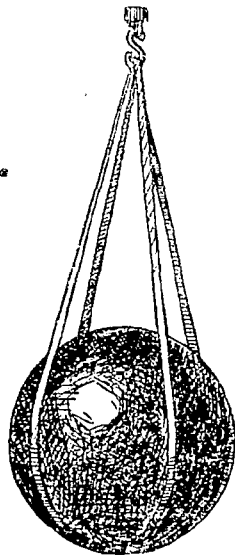


Рис. 77.

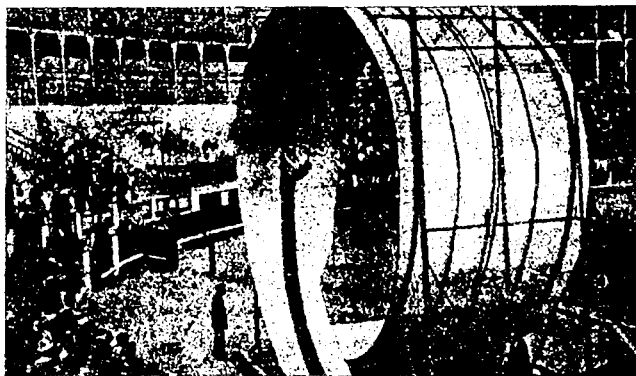


Рис. 78.

Велосипедист, описывающий петлю в вертикальной плоскости.

вращения вследствие того, что в местах, более удаленных от оси, получается большая скорость и потому большая центробежная сила.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Чтобы при этом опыте глина не разбрасывалась в стороны, ее можно заключить в оболочку из тонкой резины, какие употребляются для игрушечных воздушных шаров.

? Почему можно вращать стакан с водой на веревке, не проливая воды, хотя временами стакан при этом бывает обращен дном кверху? Почему при этом необходимо быстрое вращение?

? Как действует праща? Почему пращей можно сильнее бросить камень, чем просто рукой?

? Как отскакивают брызги воды и грязь от колес быстро движущегося экипажа?

? Объясните движения людей, бегающих на «гигантских шагах».

? Известно, что земной шар несколько сплюснут по оси вращения. Какое предположение естественно сделать для объяснения этого явления?

? Тела, находящиеся на поверхности земли, вращаются вместе с ней. Как должно влиять это вращение на силу тяжести? В каких местах земли это влияние должно быть больше, в каких меньше?

? Объясните, как едет велосипедист, изображенный на рис. 78.

**55. Равновесие сил.** Книга лежит на столе. На нее действует сила тяжести, но она не падает, так как сила упругости стола **уравновешивает** силу веса книги. Сила упругости как-раз равна весу книги и направлена в противоположную сторону вверх. Если вы давите рукой на стену, стена не движется: сила вашей руки у р а в н о в е ш и в а е т с я упругим сопротивлением стены. Заметьте, что стол под книгой, стена под действием вашей руки непременно, хоть очень мало, прогибаются; они прогибаются ровно настолько, чтобы упругостью уравновесить действие сил.

Если положить книгу на кипу газет, то прогиб получится большой; если же положить ее на стопу писчей бумаги, то прогиб еле заметен, а прогиб стола нам совсем не заметен по своей малости, но все же он непременно есть.

Если два человека с совершенно одинаковыми усилиями будут тянуть палку в противоположные стороны, палка не двинется.

Тело находится в **равновесии**, не движется, если на него действуют равные противоположно направленные силы.

Если на тело действуют две или несколько сил, то бывает возможно (не всегда) подобрать такую одну силу, которая производила бы как-раз такое же действие, как эти силы вместе. Такая сила, которая одна производит такое же действие, как несколько других, называется **равнодействующей силой**.

Про тело, находящееся в покое, можно сказать, что **равнодействующая действующих на него сил равна нулю**.

**56. Измерение сил.** Для измерения различных сил за единицу силы можно принять единицу силы тяжести, т.-е. какую-нибудь единицу веса. Веса в грамм, в килограмм или в пуд могут служить единицами силы.

Когда вы хотите характеризовать силу своих мускулов, вы говорите: «я поднимаю столько-то фунтов или столько-то пудов». Если вы хотите смерить усилие, с которым вы, например, передвигаете стол, вы можете тянуть этот стол, зацепивши его пружинными весами, и по растяжению весов определить величину силы.

Можно подобным образом, при помощи пружинных весов, смерить гу силу, с какой лошадь тянет плуг или экипаж.

Разных фасонов пружинные весы, служащие для измерений не только сил тяжести, но вообще разных сил, носят название сил о м е р о в или д и н а м о м е т р о в. <sup>1</sup>

- ? Смерьте динамометром силу, которая требуется, чтобы тянуть груз по горизонтальному полу или столу.
- Сравните эту силу с весом груза.
- ? Смерьте силу, с которой магнит притягивает кусок железа.
- ? Смерьте силу, которая требуется, чтобы растянуть отрезок каучуковой трубки вдвое.
- ? Могут ли весы с коромыслом служить динамометром?

**57. Изображение сил в виде отрезков (векторов).** Подобно тому, как раньше для определения скорости нам требовалось знать не только величину, но и направление скорости, точно так же и для определения силы, кроме ее величины, требуется еще и ее направление.

Естественно поэтому, что силы, подобно скоростям, принято изображать в виде векторов, т. е. отрезков или стрелок.

Если условимся, например, что отрезок в 0,5 см длиной соответствует силе в 1 кг, то изображенная здесь (рис. 79) стрелка в 3,5 см длиной изображает силу в 7 кг, тянущую слева направо.



Рис. 79.

Векторное изображение силы.

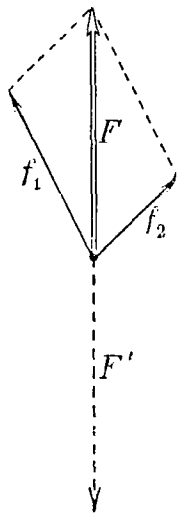


Рис. 80.

Сложение сил по правилу параллелограмма.

При векторном изображении силы имеет также значение, чтобы начало стрелки помещалось в той точке, в которой приложена сила. Ясно, что одинаковые силы могут давать телу различные движения, смотря по тому, к какой точке тела эти силы приложены.

**58. Правило параллелограмма сил.** Если две силы тянут тело за одну и ту же точку, то равнодействующая этих двух сил определяется правилом, подобным правилу сложения скоростей.

Равнодействующая двух сил, приложенных к одной и той же точке, графически выражается диагональю параллелограмма, построенного на этих силах.

Силы  $f_1$  и  $f_2$  (рис. 80) вместе производят совершенно такое же действие, как сила  $F$  одна.

Если к силам  $f_1$  и  $f_2$  прибавить силу  $F''$ , противоположную  $F$ , то должно получиться равновесие.

Подобные случаи равновесия удобно наблюдать, уравновешивая какие-нибудь три груза, как показано на рисунке 81. Вправо тянет сила в 2 кг, влево — в 3 кг, равнодействующая этих сил оказывается равной 4 кг и направлена

<sup>1</sup> От греческого слова *δυναμις* (динамис) — сила.

вертикально вверх и потому уравнивается грузом в 4 кг, тянущим вниз.

Вы можете на подобном приборе уравнивать различные грузы, и каждый раз, строя параллелограмм со сторонами, выражающими веса боковых гирь, вы получите диагональ, по длине выражающую вес средней гири, направленную вертикально вверх.

Пользуясь правилом параллелограмма, можно складывать не только две, но и сколько угодно сил, приложенных к одной точке.

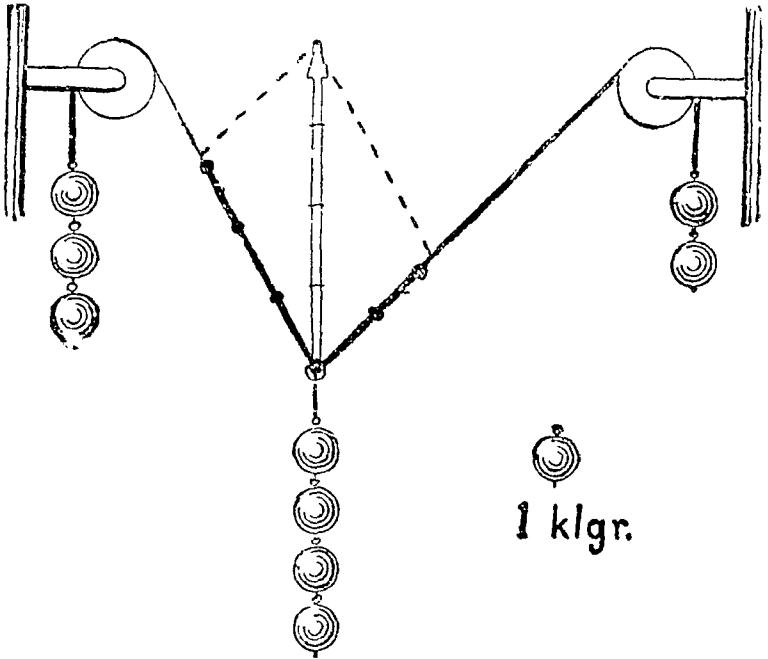


Рис. 31.

Равновесие, подтверждающее правило параллелограмма сил на опыте.

- ? Найдите равнодействующую двух сил разной величины, действующих на точку по одной прямой в одну и ту же сторону и в разные стороны.  
 ? При каком условии направление равнодействующей делит пополам угол между направлениями составляющих сил?  
 ? Две равные силы приложены к одной точке. Как они должны быть направлены, чтобы равнодействующая была равна каждой из составляющих?

**59. Разложение сил.** Если равнодействующая сила совершенно заменяет собой две данные силы, то и, наоборот, мы имеем право одну данную силу представить разложенной на две составляющие и е, подобрав их так, чтоб они были сторонами, а данная сила диагональю параллелограмма.

Ясно, что одну данную силу можно бесчисленным числом способов разложить на две составляющие, можно подобрать бесчисленное множество параллелограммов, у которых данный отрезок будет диаго-



налью. Для того, чтобы задача разложения силы на две была определенной, следует еще дать некоторые условия. Напр., можно задать определенные направления или определенные величины составляющих сил.

Для примера решим такую задачу. Лошадь, везущая вагонетку, идет рядом с рельсами и тянет ее с силой  $F$  (рис. 82). С какой силой вагонетка движется вперед? Разлагая силу  $F$  на составляющие, одну направленную вдоль рельсов, другую — перпендикулярно к ним, замечаем, что перпендикулярная слагающая  $f_1$  уничтожается сопротивлением рельсов, а продольная  $f_2$  и есть та сила, которую мы ищем.

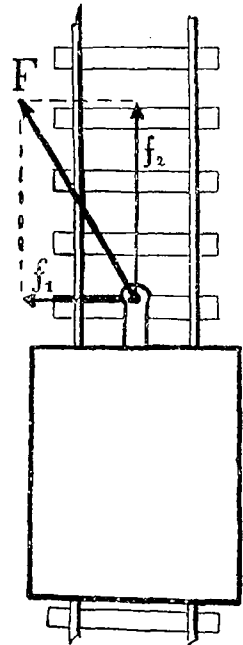


Рис. 82.

Разложение силы по правилу параллелограмма.

- ? Почему гладкий шарик может лежать спокойно только на горизонтальной плоскости?
- ? Попробуйте при помощи пружинных весов (динамометра) тянуть какой-нибудь груз по полу, один раз направляя силу параллельно полу, другой раз — под сильным наклоном. Одинаковы ли будут показания весов?

**60. Равнодействующая параллельных сил.** Пусть тело за две разные точки,  $A$  и  $C$ , (рис. 83) тянут две параллельные между собой силы в одну и ту же сторону. Такие две силы могут быть заменены одной силой  $F$ , равной сумме  $f_1 + f_2$ , тянущей тело в ту же сторону за точку  $B$ , которая лежит на прямой  $AC$  между  $A$  и  $C$  и делит отрезок  $AC$  на части, обратно пропорциональные величинам сил  $f_1$  и  $f_2$ , так что:

$$\frac{AB}{BC} = \frac{f_2}{f_1}.$$

Если  $F$  есть равнодействующая  $f_1$  и  $f_2$ , то, прилагая к  $f_1$  и  $f_2$  силу  $F$ , противоположную  $F$ , мы получим равновесие.

Подобные случаи равновесия можно получать при помощи приспособления, изображенного на рисунке 84. Планку, собственный вес которой уравновешен отдельными грузиками, тянут три силы: грузы в 5 кг и в 3 кг нитями, перекинутыми через блоки, тянут планку в точках  $A$  и  $C$  вверх, а груз в 8 кг уравновешивает эти силы, если подвешен в точке  $B$ , расстояния которой от  $A$  и  $B$  относятся, как 3 : 5.

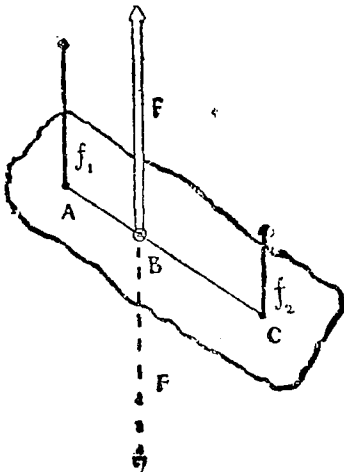


Рис. 83.

Сложение параллельных сил, направленных в одну сторону.

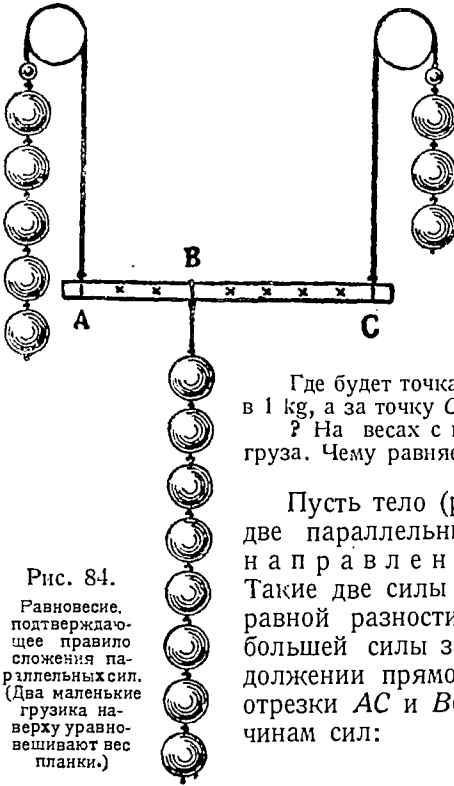


Рис. 84.  
Равновесие, подтверждающее правило сложения параллельных сил. (Два маленькие грузика наверху уравновешивают вес планки.)

Приведенное правило позволяет складывать не только две, но и сколько угодно параллельных сил, действующих в разных точках одного и того же тела.

? Попробуйте на приборе (рис. 84) брать различные грузы, прилагаемые в точках  $A$  и  $C$ , и подбирайте груз и точку его приложения  $B$  так, чтобы получилось равновесие.

В каком случае точка  $B$  будет приходится посередине  $AC$ ?

Где будет точка  $B$ , если за точку  $A$  будет тянуть сила в  $1\text{ kg}$ , а за точку  $C$  — в  $3\text{ kg}$ ?

? На весах с коромыслом уравновешены два равные груза. Чему равняется давление коромысла на подставку?

Пусть тело (рис. 85) за две точки  $A$  и  $B$  тянут две параллельные между собой силы  $f_1$  и  $f_2$ , направленные в разные стороны. Такие две силы могут быть заменены одной силой, равной разности  $f_2 - f_1$ , тянущей тело в сторону большей силы за точку  $C$ , которая лежит на продолжении прямой  $AB$  за большей силой так, что отрезки  $AC$  и  $BC$  обратно пропорциональны величинам сил:

$$\frac{AC}{BC} = \frac{f_2}{f_1}.$$

Если к силам  $f_1$  и  $f_2$  прибавить силу  $F'$ , противоположную  $F$ , то получится равновесие.

На приборе, изображенном на рисунке 84, можно видеть пример подобного равновесия. Раньше мы считали, что действуют силы в  $5\text{ kg}$  и в  $3\text{ kg}$ , а сила в  $8\text{ kg}$  их уравновешивает; но мы имеем право рассуждать и так: действуют силы в  $5\text{ kg}$  и  $8\text{ kg}$  в разные стороны, а сила в  $3\text{ kg}$  их уравновешивает. Сила в  $3\text{ kg}$  равна разности действующих сил  $8 - 5\text{ kg}$  и приложена в точке  $C$ , расстояния которой до  $A$  и  $B$  относятся, как  $8 : 5$ .

Можно также считать за действующие силы  $8\text{ kg}$  и  $3\text{ kg}$ , а силу в  $5\text{ kg}$  — за уравновешивающую.

Каждый случай равновесия на этом приборе может служить подтверждением приведенного выше правила.

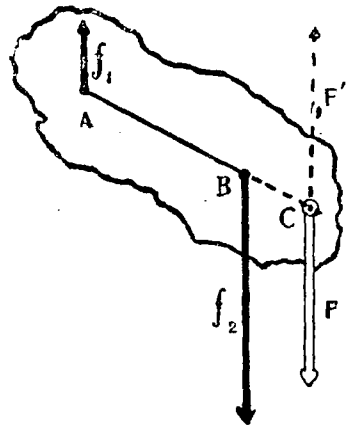


Рис. 85.

Сложение параллельных сил, направленных в разные стороны.

? Двое несут ведро на палке (рис. 86). Одинаково ли тяжело нести ведро тому и другому? Кому тяжелее? Во сколько приблизительно раз?

**61. Случай, когда две силы не имеют равнодействующей. Пара сил.** Особенный случай представляют собою две равные параллельные, противоположно направленные силы. Такие две силы не могут быть заменены одной; для таких сил невозможно подобрать равнодействующую.

Совокупность таких двух сил называют **парой сил**.

Когда на тело действует пара сил, тело только поворачивается, но не движется ни в ту ни в другую сторону.

Если два человека с одинаковой силой тянут в разные стороны концы бревна, бревно поворачивается, пока силы не направятся по одной прямой, но, повернувшись, бревно не сдвинется ни в ту ни в другую сторону.



Рис. 86.

Кому труднее нести ведро?

? На магнитную стрелку компаса действует пара сил: северный полюс тянется к северу, а южный с такой же силой — к югу. Положите магнитную стрелку на пробку и пустите ее плавать по воде. Как повернется стрелка? Поплывет ли она к северу или к югу?

**62. Центр тяжести.** Возьмем палочку из однородного вещества (например, прямую проволоку); представим себе, что эта палочка разделена на одинаковые маленькие кусочки  $a, b, c, \dots, a', b', c' \dots$  и т. д.

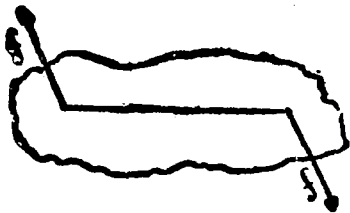


Рис. 87.

Пара сил.

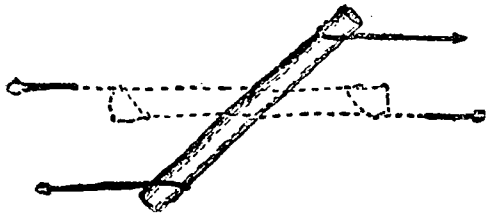


Рис. 88.

Поворот тела под действием пары сил.

На каждый кусочек (рис. 89) действует сила тяжести, все эти силы тяжести равны между собой и параллельны. Складывая их попарно,  $a c a', b c b'$  и т. д., мы, очевидно, получим, в конце концов, одну равнодействующую, которая будет равна сумме всех этих сил, т.е. будет равна весу всей палочки, и будет приложена в середине палочки.

Точка приложения равнодействующей всех сил тяжести, действующих на тело, называется **центром тяжести** этого тела.

Во всяком теле всегда есть один определенный центр тяжести.

Центр тяжести нашей палочки (рис. 89) находится в ее середине. На самом деле силы тяжести действуют на каждую частицу палочки, но действие всех этих сил таково, как будто бы одна сила, равная весу всей палочки, тянула ее за центр тяжести.

Чтобы палочка держалась в равновесии на пальце, надо положить ее на палец серединой так, чтобы центр тяжести был как-раз над пальцем.

Положите палочку на стол так, чтобы часть палочки выдавалась за край стола. Пока центр тяжести палочки над столом, палочка лежит в равновесии; но если центр тяжести выступает за край стола, она падает.

Для однородных тел геометрически правильной формы положение центра тяжести можно иногда сразу определить по симметрии формы.

Нетрудно сообразить, что центр тяжести круглой однородной пластинки находится в ее геометрическом центре.

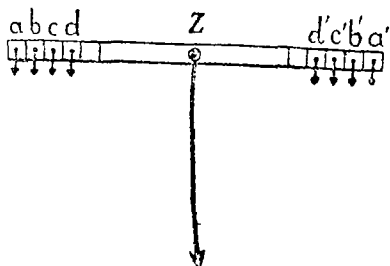


Рис. 89.

Z — центр тяжести однородной палочки.

Центр тяжести прямоугольной пластинки находится в точке пересечения ее диагоналей.

Вырежьте из картона такие пластинки; попробуйте уравновесить их на конце пальца; попробуйте класть их на край стола и следите, при каких положениях центра тяжести они не будут падать.

Центр тяжести однородного шара находится в его геометрическом центре.

- Где центр тяжести: неочиненного карандаша, очиненного карандаша, карандаша с металлическим наконечником, ручки с пером?
- ? Где центр тяжести: кольца, прямоугольной рамки? Не смущайтесь тем, что центры тяжести этих тел лежат вне самого вещества тел.
- ? Где центр тяжести: круглого прямого цилиндра, прямоугольного параллелепипеда?

**63. Равновесие тела, укрепленного в одной точке. Определение положения центра тяжести опытом.** Вырежьте из картона прямоугольную пластинку, отметьте на ней ее центр тяжести и, сделав в нескольких местах по краям небольшие отверстия, попробуйте вешать пластинку этими отверстиями на гвоздик. Пластинка, покачившись, будет приходить в равновесие. При помощи отвеса вы можете убедиться, что при равновесии точка опоры и центр тяжести лежат на одной вертикальной прямой.

Если пластинку вешать не прямо на гвоздик, а на нитке, то при равновесии нитка натянется вертикально, и ее продолжение пройдет через центр тяжести.

Нетрудно сообразить, что это должно быть при равновесии всякого подвешенного тела.

Действительно, пусть тело (рис. 90) подвешено на нитке к неподвижной точке  $O$ . Сила тяжести тянет тело за центр тяжести вертикально вниз.

Мы можем разложить эту силу по правилу параллелограмма на две силы: одну, направленную по  $OZ$ , другую, к ней перпендикулярную. Первая слагающая  $p_2$  уничтожится сопротивлением опоры, а вторая  $p_1$  будет поворачивать тело. Только тогда, когда  $OZ$  направлена вертикально, второй слагающей не будет: тело будет в равновесии.

Можно воспользоваться этим правилом, чтобы на опыте находить центры тяжести тел. Вырежьте из картона какую-нибудь неправильную фигуру: подвесьте ее (рис. 91) и, получив равновесие, прочертите направление вертикали, проходящей через точку опоры. Центр тяжести фигуры наверно находится где-нибудь на этой прямой. Подвесьте эту же фигуру за другую точку и прочертите новую вертикаль. Центр тяжести должен лежать и на этой второй вертикали; следовательно, он находится как-раз в точке пересечения двух начерченных прямых. Подвешивая фигуру за третью точку, четвертую и т. д., будем получать новые направления, которые все будут проходить через центр тяжести.

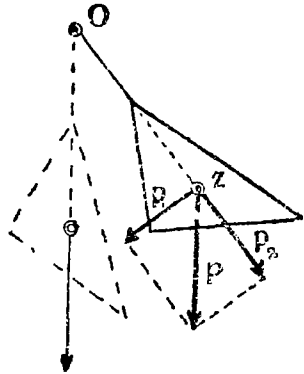


Рис. 90.

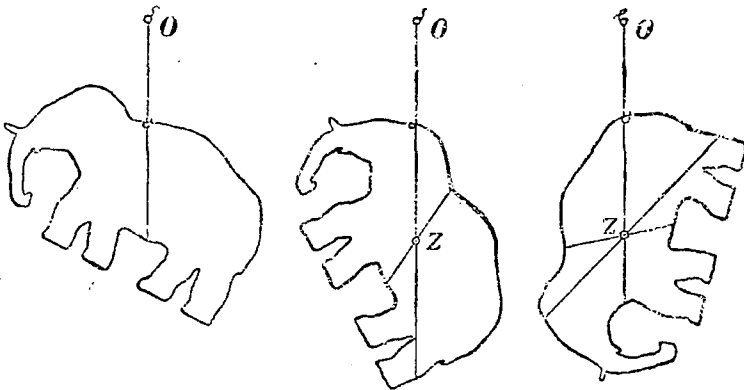


Рис 91.

Нахождение опытом центра тяжести неправильной фигуры.

? Вырежьте из картона неправильную фигуру: пробуйте класть ее на прямолинейный край стола и проверчивайте направление края в те моменты, когда фигура как-раз не удерживается на столе и начинает падать. Не сумеете ли вы найти этим путем центр тяжести фигуры?

? Попробуйте доказать теоретически или обнаружить опытом, что центр тяжести однородной треугольной пластинки находится в точке пересечения

медиан (прямых, соединяющих вершины треугольника с серединами противоположных сторон).

? Что вы можете сказать о положении центра тяжести лампы, висящей на потолке?

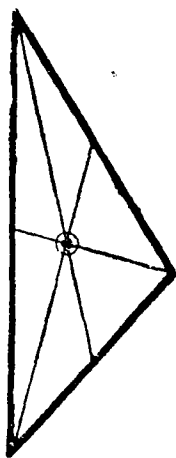


Рис. 92.

Центр тяжести треугольной пластинки лежит в точке пересечения медиан.

64. Три вида равновесия. Повесьте на гвоздик (рис. 93) какую-нибудь картонную фигуру с отмеченным центром тяжести. Фигура придет в равновесие, когда  $OZ$  будет направлено вертикально и  $Z$  будет ниже  $O$ . Если отклонить фигуру, она, покачившись, вернется в положение равновесия.

Если выведенное из положения равновесия тело силой тяжести возвращается к положению равновесия, мы называем равновесие **устойчивым**.

Поверните теперь фигуру так, чтобы  $OZ$  было вертикально, но  $Z$  лежало выше  $O$ . Теперь сила тяжести как-раз направлена на  $O$ . Тут тоже получается равновесие; но если теперь отклонить немного фигуру, она не вернется к равновесию, а будет отклоняться еще больше.

Если выведенное из положения равновесия тело силой тяжести дальше отклоняется от положения равновесия, мы называем равновесие **неустойчивым**.

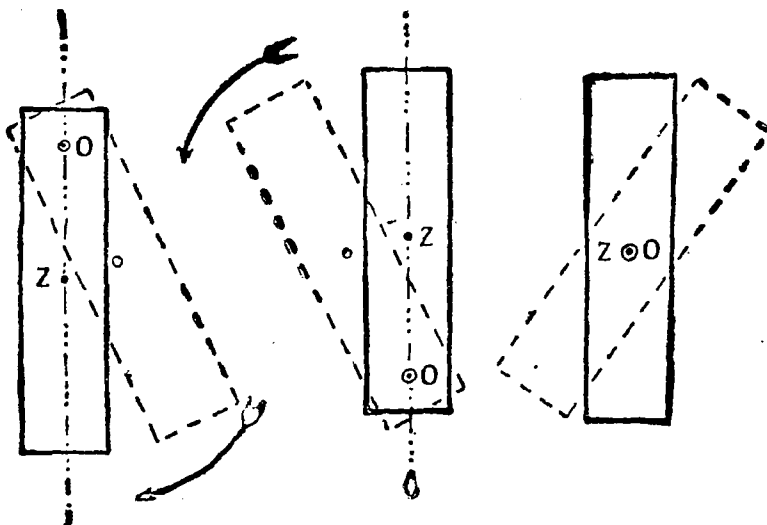


Рис. 93.

Устойчивое, неустойчивое и безразличное равновесие тела, укрепленного в одной точке.

Попробуйте, наконец, закрепить фигуру как-раз в ее центре тяжести. Теперь, отклоняя фигуру, мы будем получать снова положение равновесия,

Если при отклонениях тела из положения равновесия снова получаются положения равновесия, то мы называем равновесие **безразличным**.

Итак, тело, укрепленное в одной точке, находится в равновесии, когда точка опоры и центр тяжести расположены на одной вертикальной прямой, причем, если центр тяжести и тоже точки опоры, равновесие устойчивое; если центр тяжести выше точки опоры, равновесие неустойчивое; наконец, если центр тяжести совпадает с точкой опоры, равновесие безразличное.

? Определите виды равновесия для следующих тел: лампа, висящая с потолка, отвес, колесо, насаженное на ось, палка, стоящая на пальце, человек, идущий по канату и т. п.

? Если вам приходилось делать гимнастические упражнения на трапеции, вы, вероятно, довольно точно можете указать, на какой высоте приходится центр тяжести вашего тела. Перемещается ли центр тяжести вашего тела, когда вы как-нибудь меняете позу?

? Как движется (поднимается или опускается) центр тяжести при отклонении тела (рис. 93) от равновесия: устойчивого, неустойчивого и безразличного?

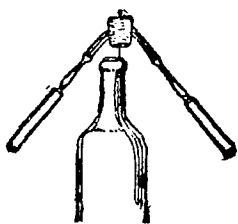


Рис. 94.

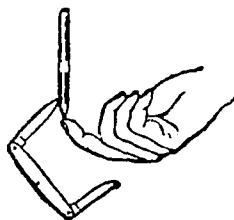


Рис. 95.

? Попробуйте сделать фигуры, подобные изображенным на рис. 94 и 95. При каких условиях подобные фигуры находятся в устойчивом равновесии?

**65. Равновесие тел, опирающихся на горизонтальную плоскость.** Возьмем кусок дерева в форме прямоугольного параллелепипеда; на одной из больших граней против центра тяжести вобьем гвоздик и подвесим маленький отвес. Поставив это тело на горизонтальный стол, будем постепенно наклонять параллелепипед поворотом около ребра, следя за движением центра тяжести и за положением отвеса.

Пока отклонения невелики (рис. 96, 2), центр тяжести поднимается, а направление отвеса проходит в н у т р и площади опоры; при таких отклонениях тело, если его отпустить, в е р н е т с я в прежнее положение равновесия.

Если отклонения велики (рис. 96, 4), центр тяжести начинает опускаться, а направление отвеса попадает вне прежней плоскости опоры; при таких отклонениях тело, если его отпустить, н е в о з в р а щ а е т с я назад, а падает.

В промежуточном положении (рис. 96, 3) центр тяжести занимает самое высокое положение, а направление отвеса пересекает ребро, на которое опирается тело; тело находится в положении н е у с т о й ч и в о г о р а в н о в е с и я,

Тело, опирающееся на горизонтальную плоскость (стоящее: на полу, на столе, на полке и т. п.), находится в равновесии, когда вертикальная линия, проходящая через центр тяжести, проходит внутри плоскости опоры.

Если тело опирается не площадкой, а несколькими точками, то за площадь опоры следует принимать площадь

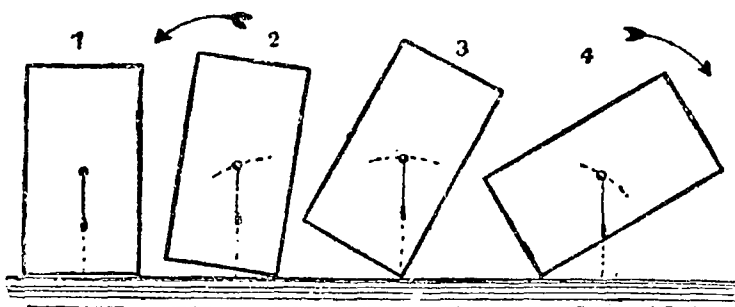


Рис. 96.

Отклонение тела, опирающегося на горизонтальную плоскость.

многоугольника, охватывающего все точки опоры. За площадь опоры фотографической камеры, стоящей на треноге, следует принимать площадь треугольника, образованного концами ножек, за площадь опоры обыкновенного стола — площадь прямоугольника, вершины которого приходятся в концах ножек и т. п.

За площадь опоры стоящего человека следует принимать площади ступней и промежуток между ними (рис. 97). Человек, не



Рис. 97.

Площадь опоры стоящего человека.

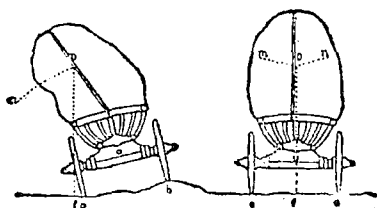


Рис. 98.

переставляя ног, может наклоняться до тех пор, пока вертикальная линия из его центра тяжести попадает внутрь всей этой площадки.

Тела, стоящие на горизонтальной плоскости, мы считаем более или менее устойчивыми, смотря по тому, на больший или на меньший угол можно их отклонить, не роняя.

Тело стоит на горизонтальной плоскости тем устойчивее, чем ниже его центр тяжести и чем шире площадь опоры. Деревянная шахматная фигурка делается устойчивее, если в основание



налит свинец; стоящая ребром книга делается устойчивее, если слегка открыта.

? Какими способами достигается устойчивость: ламп, подсвечников, ваз, чернильниц и т. п.? Почему на ходулях или по канату труднее ходить, чем просто по полу? Как ставят ногу борцы, желая принять более устойчивое положение?



Рис. 99.

Люди, несущие тяжесть, наклоняются, чтобы сохранить устойчивое равновесие.

? Насколько может наклониться воз (рис. 98), не падая?  
 ? На три одинаковые телеги положены грузы одинакового веса: на одну кирпич, на другую дрова, на третью сено. Какой воз устойчивее?  
 ? Почему изображенные на рисунке (рис. 99) люди наклонились? В какую сторону? Насколько?  
 Почему утки и гуси ходят переваливаясь?

Заметим, что при всех описанных случаях равновесия можно проследить следующее: при устойчивом равновесии центр тя-

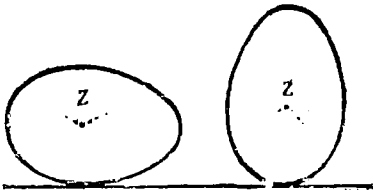


Рис. 100.

Яйцо, опирающееся на горизонтальную плоскость, в устойчивом и неустойчивом положении.

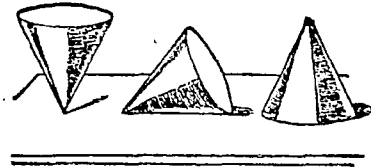


Рис. 101.

Различные виды равновесия конуса, опирающегося на горизонтальную плоскость.

жести занимает самое низкое возможное положение: при неустойчивом равновесии центр тяжести занимает самое высокое возможное положение; наконец, при безразличном равновесии центр тяжести не изменяет своей высоты при отклонениях тела.

Проследим это для случая, когда тела опираются на горизонтальную плоскость кривыми поверхностями. Яйцо (рис. 100) лежит на столе боком, устойчиво, при этом его центр тяжести занимает самое низкое положение: всякое перекачивание яйца поднимет

центр тяжести. Яйцо, поставленное на острый или тупой конец, неустойчиво, при всяком перекачивании центр тяжести опускается. Однородный шар или цилиндр лежат на плоскости в безразличном равновесии; при перекачивании центры тяжести не изменяют высоты.

Если, выпустив яйцо, насыпать на пустой конец дробин и залить ее воском, то можно перенести центр тяжести яйца к этому концу настолько, что оно будет стоять в устойчивом равновесии; получится «ванька-встань-ка».

? В каких положениях равновесия находится конус, изображенный на рис. 101? Центр тяжести однородного конуса лежит на его оси на четверти ее длины от основания.

? В каких положениях равновесия может лежать на плоскости шар, одна половина которого деревянная, а другая свинцовая?

**66. Рычаги.** Положите палку серединой на какую-нибудь опору, как это изображено на рисунке 102. Подвесьте какой-нибудь груз поближе к опоре, а рукой возьмитесь за другой конец палки подальше от опоры; вам очень легко будет поддерживать груз. Если же вы сделаете наоборот: груз подвесите дальше, а рукой будете держать ближе к опоре (рис. 103), то вам придется употреблять гораздо большее усилие, чтобы тот груз не перевешивал.

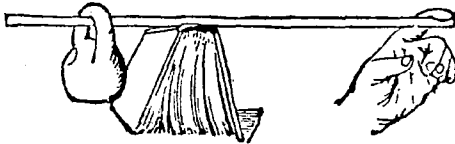


Рис. 102.

Эта палка, укрепленная в середине и находящаяся под действием двух сил, поворачивающих ее в противоположные стороны, представляет собой рычаг.

Рычагом вообще называется всякий твердый стержень, который может вращаться около закрепленной точки опоры.

Взятый нами для примера рычаг, в котором точка опоры лежит между точками приложения сил, и обе направлены в одну сторону (и груз и рука тянут вниз), называется рычагом первого рода.

При помощи этой же палки и того же груза мы можем составить так называемый рычаг второго рода.

Обоперите палку концом на край стола, повесьте груз поближе к опоре и удерживайте рукой свободный конец палки (рис. 104): вам будет легко удерживать груз. Если же вы повесите груз на свободный конец палки, а рукой будете удерживать у самого стола (рис. 105), то потребуются значительные усилия.

Такой рычаг, в котором силы приложены по одну сторону точки и направлены в противоположные стороны (груз

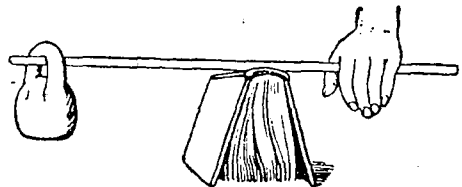


Рис. 103.

тянет вниз, рука — вверх), называется рычагом второго рода.

На рис. 106 изображена схема рычага первого рода, на которой отмечены точка опоры  $O$  и точки приложения сил  $A$  и  $B$ . (Мы будем рассматривать только те случаи, когда силы, действующие на рычаг, взаимно параллельны.)

Отрезки рычага от точки опоры до точек приложения сил называют плечами рычага. Длины плеч будем обозначать буквой  $l$ .

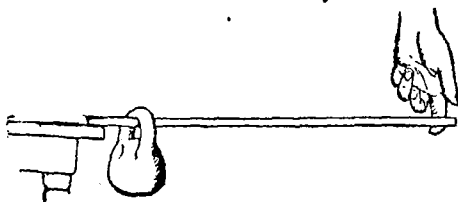


Рис. 104.

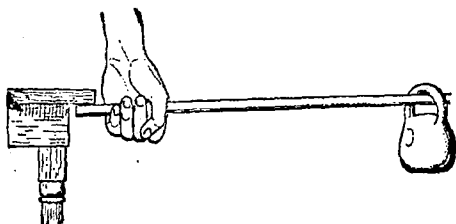


Рис. 105.

Нетрудно усмотреть, что рычаг первого рода будет в равновесии тогда, когда равнодействующая двух действующих сил будет проходить через точку опоры; а это, согласно правилу сложения параллельных сил (§ 60), будет тогда, когда длины отрезков  $OA$  и  $OB$  будут обратно пропорциональны величинам сил  $f_1$  и  $f_2$ , т.-е. когда

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{OB}{OA} = \frac{l_2}{l_1}.$$

Иначе говоря, рычаг первого рода — в равновесии, когда величины сил обратно пропорциональны длинам плеч.

Припомним правило сложения параллельных сил, направленных в разные стороны, нетрудно усмотреть, что и для равновесия рычага

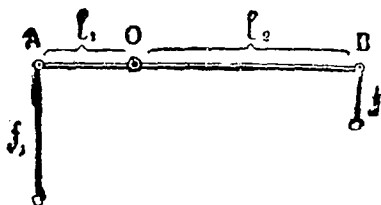


Рис. 106.

Схема рычага первого рода.  
 $f_1 : f_2 = l_2 : l_1$

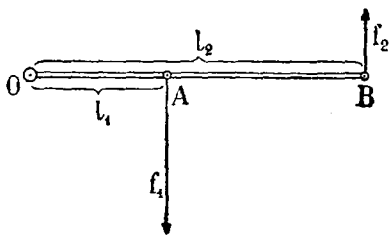


Рис. 107.

Схема рычага второго рода.  
 $f_1 : f_2 = l_2 : l_1$ .

второго рода требуется подобное же условие. Чтобы равнодействующая проходила через точку опоры, чтобы было равновесие, требуется, чтобы плечи  $OA$  и  $OB$  были обратно пропорциональны силам  $f_1$  и  $f_2$ :

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{OB}{OA} = \frac{l_2}{l_1}.$$

Итак, и для рычага второго рода получаем такое же правило, как для первого рода: рычаг — в равновесии, когда вели-

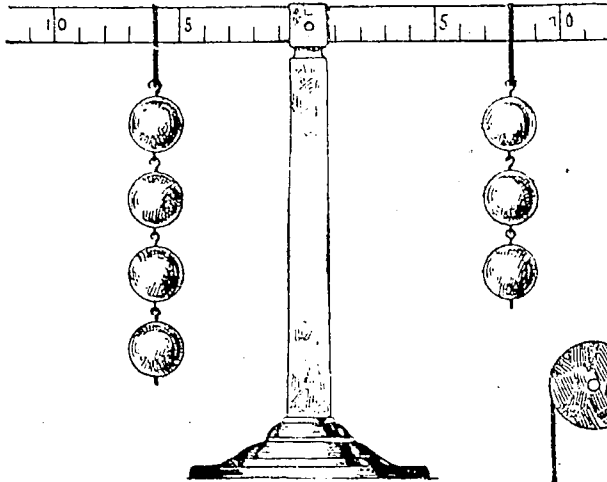


Рис. 108.

Равновесие рычага первого рода.  
 $4 \text{ kg} : 3 \text{ kg} = 8 : 6$ .

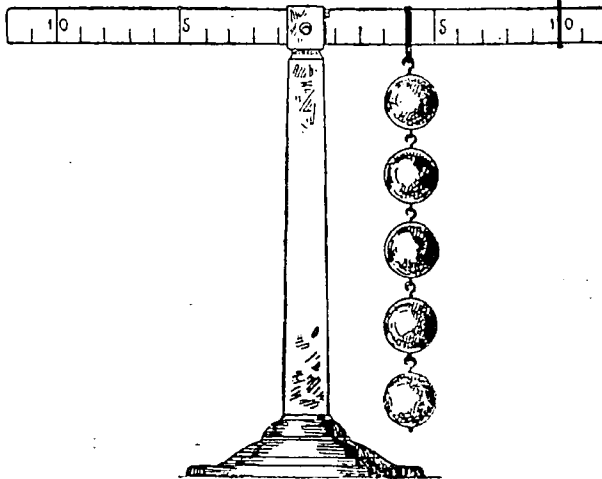


Рис. 109.

Равновесие рычага второго рода.  
 $5 \text{ kg} : 2 \text{ kg} = 10 : 4$ .

чины сил обратно пропорциональны длинам плеч.

Для измерения сил при равновесии рычагов удобнее сделать так, чтобы сила веса самого стержня не играла никакой роли. Возьмем

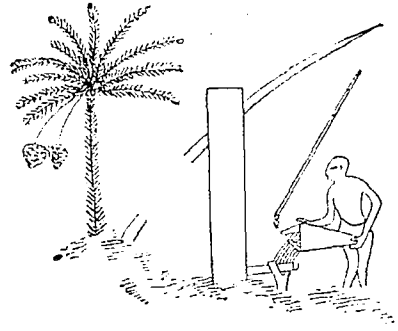
планку (рис. 108) с опорой посредине, тогда две половины планки, уравновешивая друг друга, не будут вращать планки своим весом.

Если с двух сторон от точки опоры подвешивать грузы, то планка остается в равновесии, когда величины грузов обратно пропорциональны длинам плеч, считая, разумеется, за длину плеча расстояние от точки опоры до точки привеса груза.

Этот же прибор может служить в качестве рычага второго рода (рис. 109). Подвесим для этого грузы на одну сторону от точки опоры, но, чтоб один из грузов тянул вверх, привяжем его на нити, перекинутой через блок. Пробуя таким образом уравновешивать разные грузы, приложенные к различным точкам, убедимся опять, что равновесие получается тогда, когда величины грузов обратно пропорциональны длинам плеч.

? Докажите, что закон рычага может быть высказан в такой форме: при равновесии рычага для обеих сил произведения величины силы на длину плеча равны между собой.

**67. Рычаг как простая машина.** Рычаг представляет собой простейшую машину, т.-е. простейшее приспособление для преобразования силы. Если мы действуем какой-нибудь силой на длинное плечо рычага, то на коротком плече можем преодолеть силу, большую во столько раз, во сколько длинное плечо длиннее короткого.



Древне-египетский рисунок колодезного „журавля“ (рычаг первого рода).

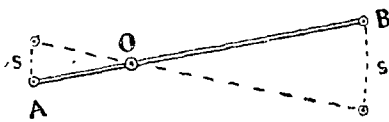


Рис. 110.

Схема передвижения рычага первого рода.

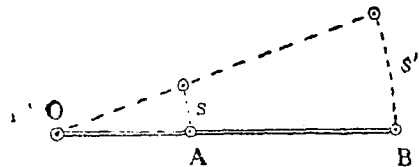


Рис. 111.

Схема передвижения рычага второго рода.

Нетрудно видеть, что при этом точка приложения меньшей силы проходит больший путь, а точка приложения большей силы — меньший.

Длины этих путей прямо пропорциональны длинам плеч и, следовательно, обратно пропорциональны величинам сил.

Действуя на длинное плечо рычага, мы, как говорится, выигрываем в силе, но при этом во столько же раз проигрываем в длине пути.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Древнее так называемое «золотое» правило механики: «сколько выигрывается в силе, столько проигрывается в с.к.о.р.о.с.т.и», выражает, понятно, ту же мысль

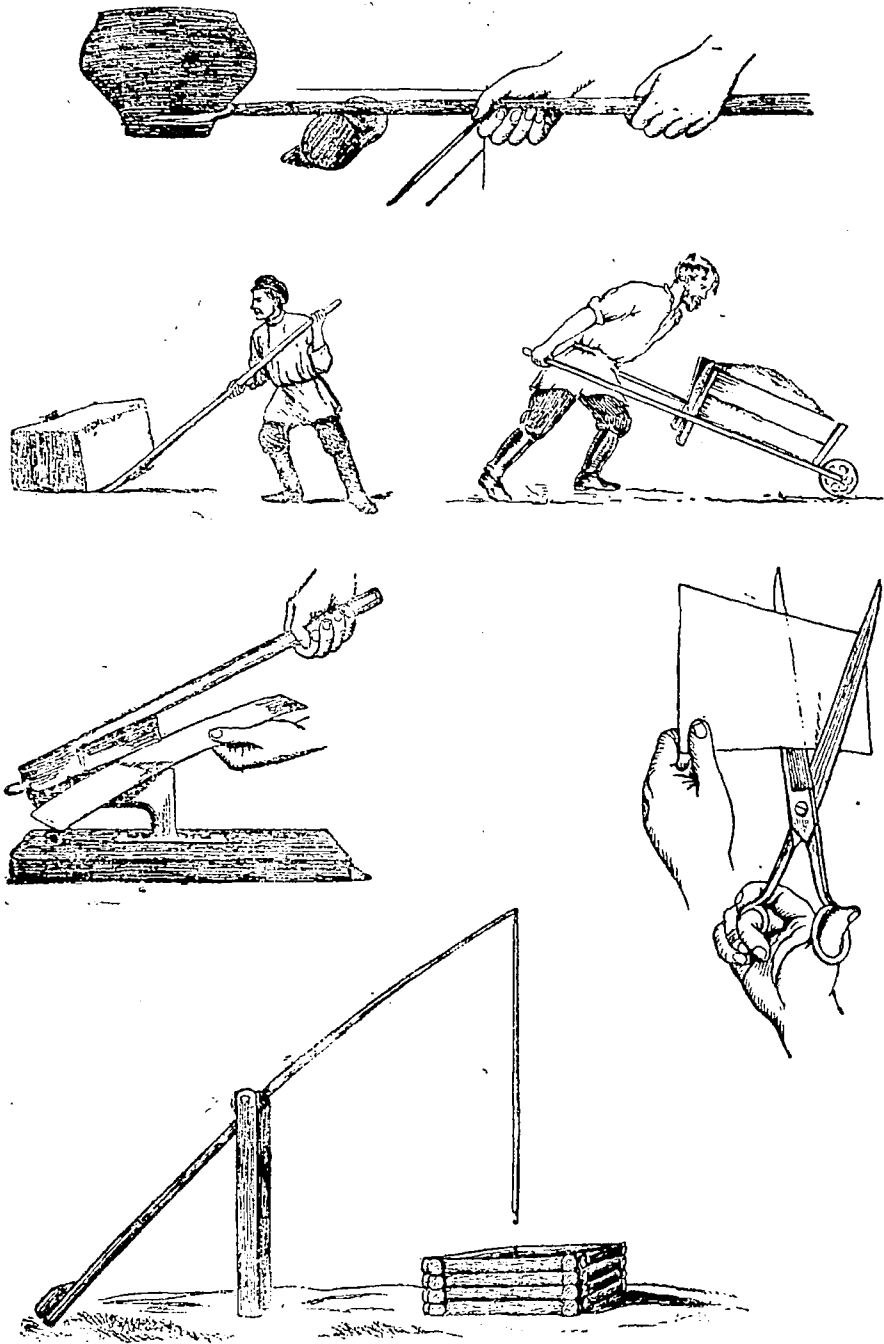
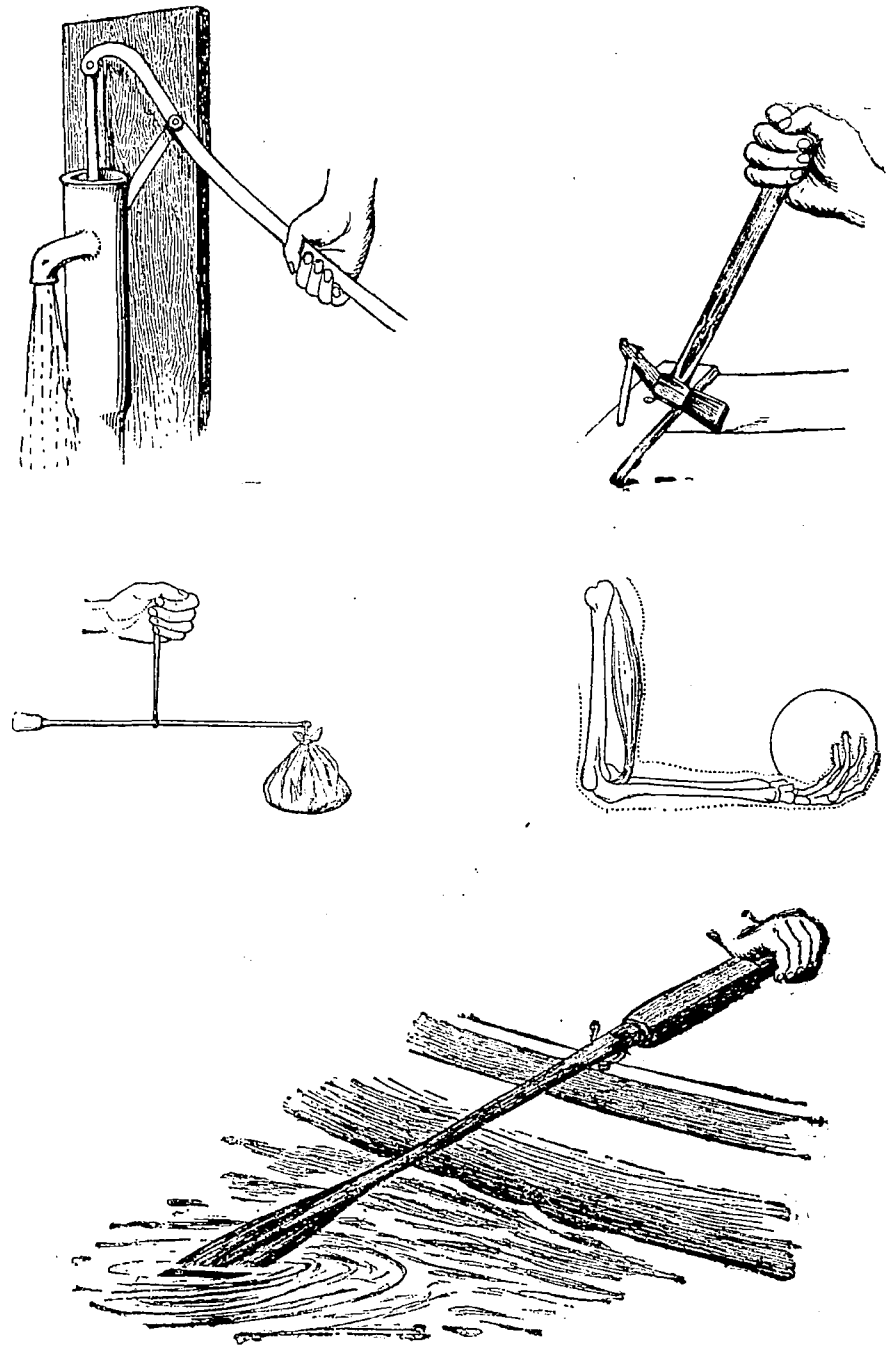


Рис. 112. ? Какого рода рычаги изображены на рисунке? В чем выигрыш



вадается при действии этими рычагами? Во сколько приблизительно раз?

Действуя на длинное плечо рычага, вы можете, например, усилием руки в 1 kg поднять 10 kg, но зато, передвигая рукой длинный конец рычага на 1 метр, вы передвинете 10 килограммов на коротком конце всего на  $\frac{1}{10}$  метра.

Действуя, наоборот, на короткое плечо рычага, мы проигрываем в силе, но зато во столько же раз выигрываем в пути.

Ясно, что приведенные правила одинаково относятся как к рычагам первого, так и второго рода.

Во множестве окружающих нас машин, инструментов и приспособлений мы видим применение рычагов и того и другого рода как для выигрыша в силе, так и для выигрыша в пути.

Примером рычага первого рода, применяемого для выигрыша в силе, могут служить ногтевые ножницы (рис. 113). Действуя силой пальцев на длинные концы, мы режем короткими концами твердые ногти, выигрывая в силе, примерно, в 3, в 4 раза.

Рычаг первого рода, применяемый для выигрыша в пути, представляет собой дорожный шлагбаум (рис. 114): тяжелый короткий перевес небольшим движением дает большой размах длинной балке.

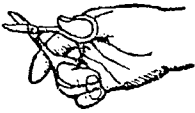


Рис. 113.  
Ногтевые ножницы —  
рычаг первого рода.



Рис. 114.  
Шлагбаум — рычаг первого рода.

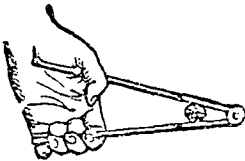


Рис. 115.  
Щипцы для орехов — рычаг  
второго рода.

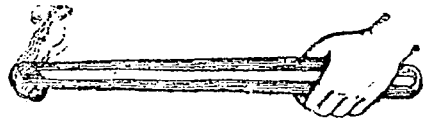


Рис. 116.  
Щипцы для углей — рычаг второго рода.

Щипцы для раскалывания орехов (рис. 115) представляют собой рычаг второго рода, применяемый для выигрыша в силе: действуя рукой на длинное плечо (от ладони до шарнира), мы преодолеваем твердость скорлупы, которую не смогли бы раздавить прямо пальцами.

Наконец, примером рычага второго рода с выигрышем в пути могут служить щипцы для углей (рис. 116): концы щипцов передвигаются с меньшей силой, но на большее расстояние, чем пальцы.

- ? Попробуйте разломить спичку на возможно маленькие кусочки.  
 ? Почему маленькие кусочки труднее разламывать, чем большие?  
 ? Попробуйте открывать дверь, толкая ее один раз со стороны ручки, другой раз у самых петель. Почему во втором случае открывать труднее?  
 ? Почему гайки легче отвертываются при помощи «ключей»?

**68. Понятие о механической работе.** Если какая-нибудь сила движет тело, преодолевая его инерцию или еще какие-нибудь сопротивления (силу тяжести, трение и т. д.), то сила при этом, как говорится, совершает или производит механическую работу.

Например: тяжелое тело упало с некоторой высоты, при этом сила тяжести совершила работу; лошадь провезла воз на пеко-

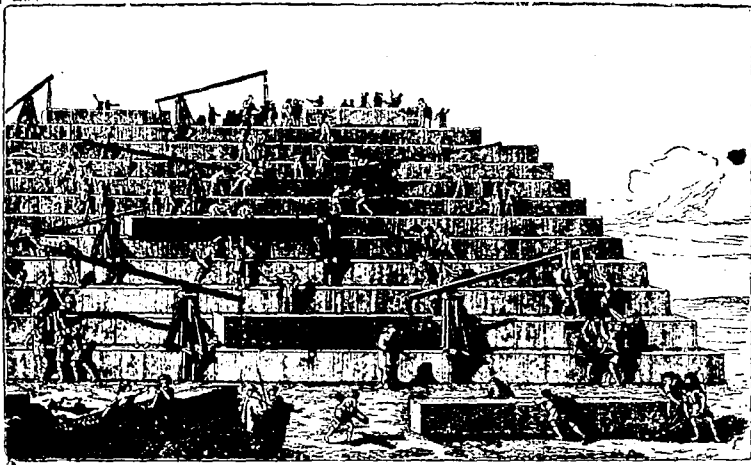


Рис. 117.

Применение рычагов при постройке египетских пирамид.

торое расстояние — сила лошади совершила работу; вы подняли груз на некоторую высоту — сила ваших мускулов совершила работу.

Величина работы тем больше, чем больше действующая сила, и чем больше путь, пройденный телом.

Если на протяжении одного и того же пути действует сила вдвое, втрое и т. д. большая, то естественно считать, что и работа, совершенная силой, получается вдвое, втрое и т. д. большей.

Величина работы прямо пропорциональна величине силы.

С другой стороны, если одна и та же сила заставляет тело пройти вдвое, втрое и т. д. больший путь, то совершаемую работу тоже естественно считать вдвое, втрое и т. д. большей.

Величина работы прямо пропорциональна длине пути.



Наконец, если представим себе, что величина силы увеличена, положим, в 3 раза, а длина пути в 4 раза, то совершенная работа при этом увеличится в  $3 \times 4 = 12$  раз.

Величина работы прямо пропорциональна произведению величины силы на длину пути.

**69. Единицы работы.** За единицу работы принимается работа, совершаемая силой, равной единице силы (1 g, 1 kg, 1 пуд), на протяжении пути, равном единице длины (1 cm, 1 m, 1 фут).

Работа, совершаемая силой в 1 g на протяжении 1 cm, называется граммосантиметр и обозначается 1 g-cm.

Работа, совершаемая силой в 1 kg на протяжении 1 m, называется килограммометр, или, короче, килограмметр и обозначается 1 kg-m.

В русских мерах единицей работы служит пудо-фут, т.-е. работа силы в 1 пуд на протяжении 1 фута.

I. Представьте себе, что гиря в 2 kg весом упала с высоты комнаты, равной 4 m. Как велика работа, совершенная силой тяжести?

Сила тяжести тянула тело с силой в 2 kg и протянула гирю на 4 метра; следовательно, совершенная работа равна

$$2 \text{ kg} \times 4 \text{ m} = 8 \text{ kg-m.}$$

II. Какую работу совершаете вы, поднимая книгу в 1,5 kg весом от пола до полки на высоту 2 m?

Работа равна весу книги, помноженному на высоту подъема.

$$1,5 \text{ kg} \times 2 \text{ m} = 3 \text{ kg-m.}$$

III. Лошадь провезла по горизонтальной дороге воз весом в 1000 kg на протяжении 100 m. Как велика работа, совершенная лошадыю?

Здесь уже нельзя, как в предыдущих задачах, множить вес воза на длину пути: вес воза не есть та сила, с которой тянет лошадь по горизонтальной дороге; ведь лошадь везет, а не поднимает воз.

Для решения задачи необходимо знать силу тяги, которая зависит от свойств дороги, от устройства телеги и проч.

Предположим, что в нашем случае сила тяги лошади равна 40 kg, т.-е. тянуть этот воз по горизонтальной дороге в 25 раз легче, чем его поднимать.

Зная силу тяги, легко решаем задачу. Работа лошади равна:

$$40 \text{ kg} \times 100 \text{ m} = 4000 \text{ kg-m.}$$

? Человек, идя по ровному горизонтальному пути, совершает при этом приблизительно  $\frac{1}{20}$  часть той работы, которая требовалась бы, чтобы поднимать вес этого человека на высоту, равную длине пути.

Какую вы приблизительно совершаете работу, идя от дома до училища? Как ввести в этот расчет вашу работу при подъеме во второй или третий этаж училища?

? Как вычислить работу, совершаемую человеком при подъеме по пожарной лестнице?

? Скольким килограммометрам равняется один пудофут?

*Отв. 1 пудофут равен пригл. 5 кг-м.*

? Какую работу совершает паровоз при перевозе поезда в 200 тонн весом от Москвы до Ленинграда — 600 километров?

Путь можно принять за горизонтальный, а силу тяги равной  $\frac{1}{100}$  веса поезда.

**70. Работа, совершаемая при помощи машин.** Мы знаем, что, действуя при помощи рычага, мы выигрываем в силе во столько раз, во сколько проигрываем в пути, другими словами: произведение силы на путь для обоих концов рычага равно.

Ознакомившись с понятием о работе, мы можем этот закон выразить так: работы, совершаемые на обоих концах рычага, равны между собою.

Работа выражается произведением силы на путь:

$$\text{работа} = \text{сила} \times \text{путь}.$$

Действуя при помощи рычага, мы не изменяем величины работы, а только преобразовываем ее. Изменяются сила и путь, но изменяются всегда так, что произведение их остается неизменным:

$$\text{сила} \times \text{ПУТЬ} = \text{СИЛА} \times \text{путь}.$$

Этот закон справедлив не только для рычагов, но и для всех вообще машин, и потому для всякой машины мы, зная, как в машине изменяется длина пути, можем вычислить изменение силы, и, наоборот, зная изменение силы, вычислить изменение длины пути.

**71. Простые машины.** 1. **Неподвижный блок.** Неподвижным блоком (рис. 118 и 119) называется колесико, ось которого закреплена в неподвижной обоймце. Если перекинуть через такой блок веревку и тянуть ее, преодолевая какую-нибудь силу на другом ее конце, то пути, проходимые точками приложения сил, очевидно, одинаковы. Следовательно, и величины сил одинаковы. Неподвижный блок не дает ни выигрыша, ни проигрыша в силе. Неподвижный блок служит для изменения направления силы, величина которой не изменяется.

? Приведите примеры применения неподвижного блока.

II. **Подвижный блок.** Изображенный на рис. 120 блок, к обоймце которого подвешивается груз  $Q$ , есть подвижный блок: он сам поднимается при подъеме груза. Если груз  $P$  опускается на некоторую высоту, то груз  $Q$  поднимается лишь на половину этой высоты. Отсюда заключаем, что при помощи такого подвижного блока мы выигрываем в силе в два раза. Вес самого блока мы при этом в расчет не принимаем.

III. Полиспаст, или тали. Рассуждение, подобное тому, которое приведено выше для одного блока, позволяет вычислять выигрыш в силе и для соединений нескольких блоков  $Q$ , которые называются полиспастами, или таями.

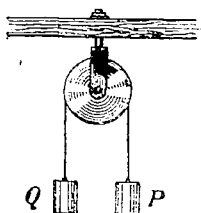


Рис. 118.

На неподвижном блоке уравниваются равные грузы.

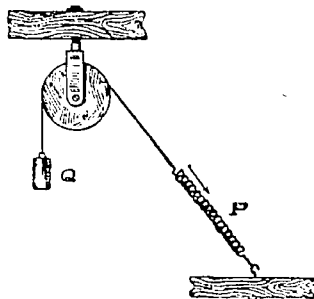


Рис. 119.

Сила натяжения пружины равна весу груза. Изменено направление силы.

Например, изображенный на рис. 121 полиспаст состоит из трех неподвижных и трех подвижных блоков. Нетрудно сообразить, что

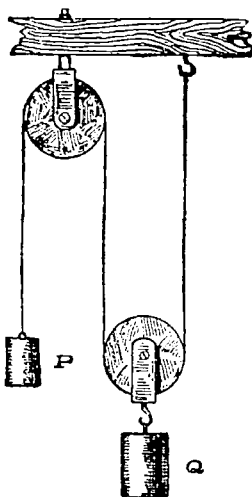


Рис. 120.

Груз  $P$  вдвое меньше груза  $Q$ . (Неподвижный блок не изменяет величины силы  $P$ ).

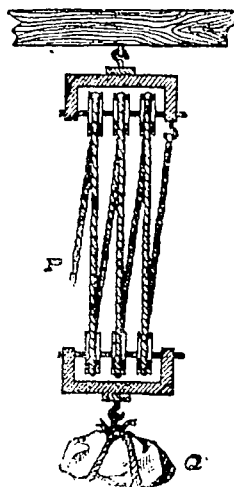


Рис. 121.

Полиспаст из трех неподвижных и трех подвижных блоков. Выигрыш в силе в 6 раз.

если рука подтягивает веревку на некоторую длину, то на эту длину в общей сложности подтянутся все шесть веревок, на которых висит груз, и, следовательно, груз поднимается на  $\frac{1}{6}$  долю того расстояния, которое пройдет рука.

Итак, при нашем полиспасте получается проигрыш в пути в 6 раз, откуда заключаем, что должен получиться выигрыш в силе в 6 раз.

IV. **Ворот.** Воротом называется вал, вращаемый при помощи колеса или рукоятки, снабженный канатом, который при вращении наматывается на вал. Если поднимать или передвигать груз при помощи ворота (рис. 122), то выигрывается в силе во столько раз, во сколько путь, описываемый рукой, больше высоты подъема груза, т.е. во столько раз, во сколько радиус круга, описываемого рукой, больше радиуса вала.

Ворот с вертикальным валом называют **кабестаном**. Кабестаны употребляются, например, на судах для вытягивания якорей.

V. **Наклонная плоскость.** Если мы поднимаем груз не вертикально, а втаскиваем его по наклонной доске,

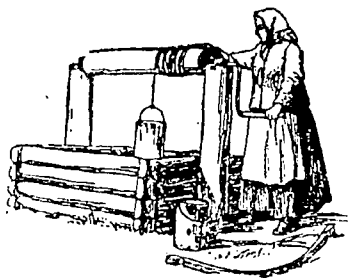


Рис. 122.  
Ворот

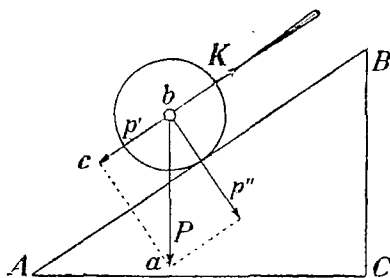


Рис. 123.  
Наклонная плоскость.

го употребляем при этом **меньшее** усилие, но зато тянем по более длинному пути. Сила требуется во столько раз меньшая, во сколько раз **высота** подъема  $BC$  (рис. 123) меньше длины наклонного пути  $AB$ .

? Попробуйте вычислить выигрыш в силе на наклонной плоскости таким образом. Силу веса груза  $P$  разложите на силу, направленную вдоль наклона  $p'$ , и на силу, перпендикулярную  $p''$ . Сила  $p''$  уничтожится сопротивлением доски; следовательно, для подъема груза требуется сила  $K$ , равная  $p'$ . Сообразите из подобия **треугольников**  $ABC$  и  $abc$ , во сколько раз  $p'$  меньше  $P$ .

VI. **Винт.** Действуя при помощи винта (рис. 124), например, в прессе или тисках, мы выигрываем в силе во столько раз, во сколько раз путь, проходимый рукой, больше пути, на который винт подвигается вперед.

? При каком винте больше выигрывается в силе, с крутой или отлогой нарезкой?

? Если один из грузов па уравновешенном рычаге перенести ближе или дальше от точки опоры, то равновесие нарушается. Почему не нарушается равновесие на весах с коромыслом или в весах Роберваля, если гири ставить на разные места чашек?

**72. Вредные сопротивления. Коэффициент полезного действия.** При всех предыдущих расчетах мы считали, что сила, действующая на одном конце машины, преодолевала только сопротивление, действующее на другом конце. В действительных машинах приходится, кроме того, преодолевать лишние так называемые вредные сопротивления: разные трения, вес блоков и веревок, сопротивление воздуха и пр.

Благодаря этим вредным сопротивлениям, полезная работа, получаемая при помощи какой-нибудь действительной машины, не равна затрачиваемой работе, а всегда несколько меньше ее.

Затрачивая, например, на одном конце машины работу в 100 kg-m, мы можем на другом конце получить работу всего в 80 kg-m. В таком случае мы говорим, что коэффициент полезного действия нашей машины равен 0,8 или 80%.

? При помощи одного подвижного блока сила 25 kg приподнимает на половинную высоту груз в 35 kg. Как велик коэффициент полезного действия? Как велика работа, затрачиваемая на вредные сопротивления при подъеме груза на 1 метр?

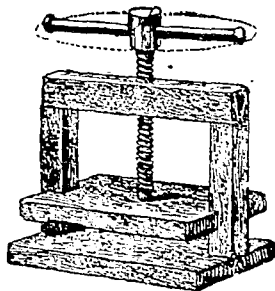


Рис. 124.

Пресс с винтом.

**73. Понятие о мощности машин.** Представьте себе, что у нас на полу лежит мешок ржи весом в 30 kg. Поднимая этот мешок на стол в 1 м вышиною, вы произведете работу в 30 kg-m. Эта же работа могла быть произведена какой-нибудь сильной паровой машиной, и эту же работу мог бы произвести муравей, перенося по зернышку рожь с пола на стол. Разница между вами, машиной и муравьем та, что вам на эту работу требуется около 3 секунд,

сильной машине — небольшую долю секунды, а муравью — очень долгое время.

Мы говорим, что разные машины обладают различной работоспособностью, или различной мощностью.

Мощность машины определяется количеством работы, совершаемым в 1 секунду.

Произведя работу в 30 kg-m в течение 3 sec, вы проявляете мощность в 10 kg-m в секунду, что можно обозначить так:

$$10 \frac{\text{kg-m}}{\text{sec}}$$

Машина, обладающая мощностью в  $1000 \frac{\text{kg-m}}{\text{sec}}$ , могла бы исполнить ту же работу в 100 раз скорее вас.

Мощности машин выражаются часто в «лошадиных силах». Мощность в 1 лошадиную силу есть такая мощность, при которой машина в каждую секунду совершает работу в 75 kg-m.

$$\text{Лошадиная сила (метрическая)} = 75 \frac{\text{kg-m}}{\text{sec}}$$

Русская лошадиная сила, равная  $15 \frac{\text{пудо-фут}}{\text{sec}}$ , почти равна метрической

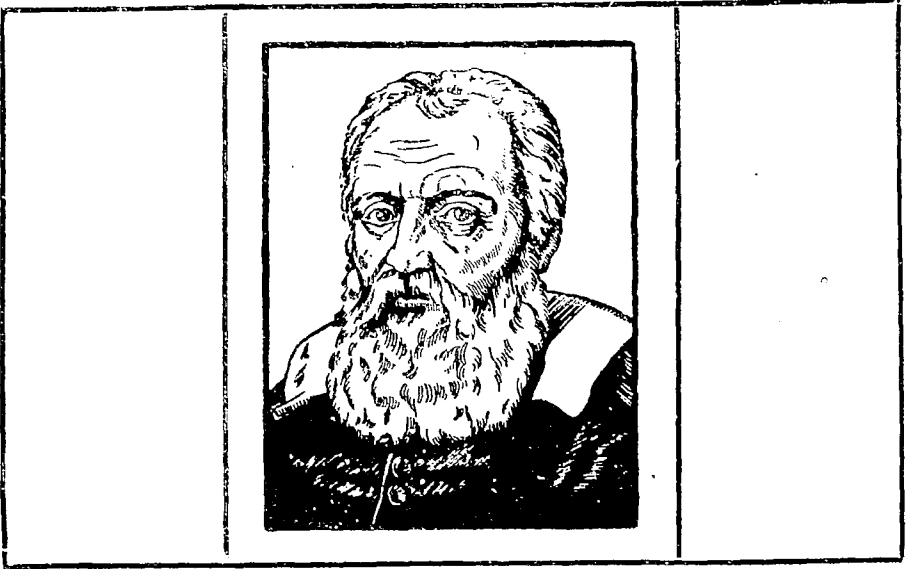
Следовательно, машина, например: 1000 лошадиных сил, каждую секунду совершает работу в 75 000 kg-m.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Следует твердо помнить, что «лошадиная сила» не есть мера механической силы. Две одинаковые механические силы могут проявлять различные мощности, если одна сила производит быстрое движение, много работы в секунду, другая — медленное, мало работы в секунду.

? Определить среднюю мощность машины паровоза, который поезд в 200 тонн весом довозит от Москвы до Ленинграда в 12 часов. (Силу тяги паровоза можно считать равной 0,01 веса поезда.)

? Какую приблизительно мощность развиваете вы, идя по ровной дороге? Какую долю лошадиной силы составляет эта мощность? (Силу, которую проявляет человек, идя по горизонтальному пути, можно считать равной  $\frac{1}{20}$  веса человека.)

? Какое значение имеет kg в выражении мощности: единицы массы или единицы веса?



## Г а л и л е й.

(1564 — 1642.)

Галилео Галилей родился в 1564 г. в итальянском городе Пизе. С детских лет отличался он живым, проищательным умом.

Любил музыку, живопись и поэзию, изобретал и строил игрушечные машины. Девятнадцатилетним юношей, случайно обратив внимание на колебания люстры в пизанском соборе, он исследовал и открыл законы колебания маятника.

В молодости Галилей усердно изучал сочинения древних математиков, особенно Архимеда.

В противоположность тогдашней «схоластической» науке, в писаниях древних Галилей видел не мертвые книги, а начала живого исследования природы, которое должно развиваться и совершенствоваться, опираясь прежде всего на непосредственный научный опыт.

Научные труды сделали известным имя Галилея, и в 25 лет он был уже профессором математики в пизанском университете.

Вскоре после этого Галилей предпринял тщательное изучение законов падения тел. Опыты он производил, между прочим, бросая тела с знаменитой пизанской «падающей башни». Открытые Галилеем законы падения и основной механический закон «инерции» являлись резким противоречием господствовавшему тогда учению.

В еще большее противоречие с наукой своего времени стал Галилей, сделавшись убежденным сторонником учения Коперника о движении земли, что считалось тогда греховным противоречием священному писанию.

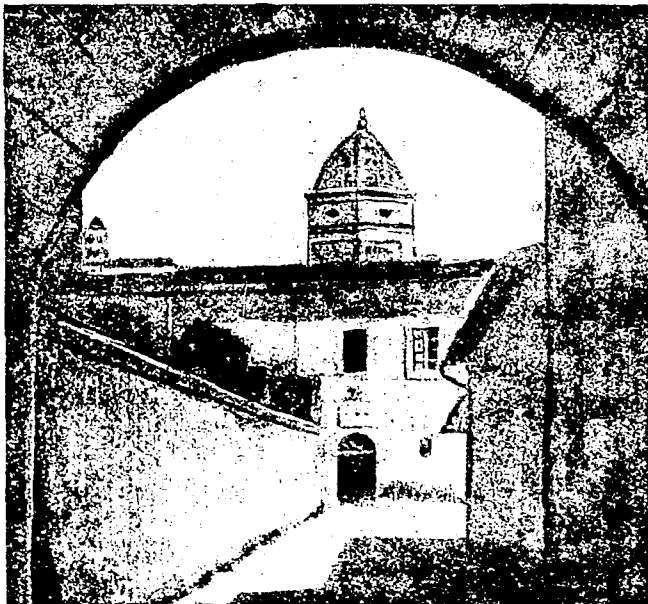
Услышав об изобретении голландскими оптиками зрительной трубы, Галилей не только сам подбором стекол сумел устроить подобную же трубу, но и сделал при помощи своей трубы целый ряд замечательных астрономических открытий. Галилей первый наблюдал: спутников Юпитера, фазы Венеры, горы на поверхности Луны, пятна на Солнце и т. д.

Астрономические исследования еще более убедили Галилея в правильности учения Коперника.

В конце жизни за открытое учение о движении Земли Галилей подвергся гонению со стороны римской инквизиции, был присужден к заключению и, кроме

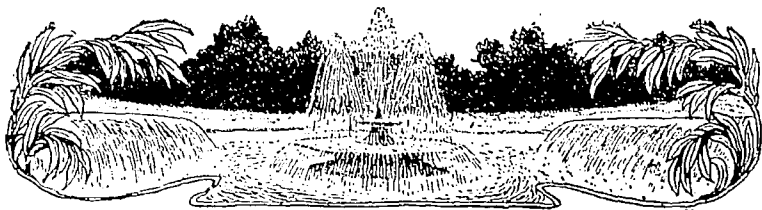
того, должен был торжественно отречься от своего учения. Существует предание, причем мало вероятное, что, произнеся отречение, Галилей громко воскликнул: «А все-таки вертится!» («E pur si muove!»).

Последние восемь лет жизни Галилей провел под строгим надзором в своем поместье близ Флоренции, ослепший, оглохший, упавший духом. В 1642 г. он умер на руках своих учеников, Торичелли и Вивиани.



Дом, где родился Галилей, в г. Пизе.





## ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

### СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ.

**74. Предварительные замечания.** Давление. В этой главе мы будем говорить о свойствах жидкостей и, кстати, о тех свойствах газов, которые представляются совершенно сходными со свойствами жидкостей.

Учение о равновесии жидкостей, которым мы теперь займемся, называют **гидростатикой**; <sup>1</sup> учение о равновесии газов — **аэростатиной**. <sup>2</sup>

При ознакомлении с явлениями равновесия жидкостей и газов нам часто придется иметь дело с силами, действие которых распределяется на некоторую поверхность. В этих случаях действие сил зависит не только от величины этих сил, но и от величины поверхности, на которую они действуют.

Если вы, например, нажимаете на деревянный стол ладонью, сила вашей руки приблизительно равномерно распределяется по всей поверхности ладони и не оказывает заметного действия на стол; но если вы с таким же усилием будете нажимать на стол острым гвоздем, то сила прежней величины будет действовать на маленькую поверхность кончика гвоздя, и гвоздь вонзится в дерево.

Сила, действующая на какую-нибудь поверхность, характеризуется величиной **давления**.

Величина давления определяется величиной силы, действующей на 1 единицу площади.

За единицу давления принимается 1 единица силы, действующая на 1 единицу площади. Например: 1 килограмм на кв. сантиметр (что мы будем обозначать так:  $1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ ) или 1 фунт на 1 кв. дюйм ( $1 \frac{\text{фунт}}{\text{кв. дюйм}}$ ).

Пусть в вышеприведенных примерах сила, с которой нажимает рука в обоих случаях, равна 30 kg; площадь ладони (с пальцами)

<sup>1</sup> От греческого ὕδωρ (гидор) — вода.

<sup>2</sup> От греческого αἴρ (аэр) — воздух.

равна  $120 \text{ cm}^2$ , а площадь кончика гвоздя —  $0,1 \text{ пин}^2$  или  $0,001 \text{ cm}^2$ . Тогда в случае нажима ладонью давление равно:

$$\frac{30 \text{ kg}}{120 \text{ cm}^2} = 0,25 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

а в случае нажима гвоздем

$$\frac{30 \text{ kg}}{0,001 \text{ cm}^2} = 30.00 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Итак, под словом «давление» будем подразумевать силу, рассчитанную на 1 единицу площади; всю же силу, действующую на какую-нибудь площадь, будем называть «силой давления».

Если на какую-нибудь площадь в  $q \text{ cm}^2$  действует равномерно распределенная сила давления в  $F \text{ kg}$ , то давление  $p$  равно

$$= \frac{F \text{ kg}}{q \text{ cm}^2}$$

Если известны величина давления  $p \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$  и величина площади  $q \text{ cm}^2$ , то силу давления  $F$  получим, перемножив  $p$  и  $q$ .

$$F = p \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot q \text{ cm}^2 = pq \text{ kg}$$

? Чему равна сила равномерного давления на поверхность вашего стола, если давление равно  $1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ ?

? Если вы нажимаете на стол ладонью с силой в 1 пуд, какое давление вы производите? Выразите это давление в килограммах на  $\text{cm}^2$  и фунтах на квадратный дюйм.

**75. Равновесие жидкости в сосуде.** Мы из ежедневного опыта знаем, что жидкость, налитая в сосуд, приходит в равновесие, когда поверхность ее принимает форму горизонтальной плоскости. Сила тяжести заставляет жидкость принять такое положение и такую форму, при которых центр тяжести всей жидкой массы занимает самое низкое возможное положение. Жидкость не могла бы быть в равновесии, если бы поверхность ее имела какую-нибудь волнистую форму: вследствие подвижности жидкости углубления заполняются, а выступы сглаживаются, пока поверхность не станет горизонтальной. Центр тяжести всей жидкости при этом очевидно понижается.

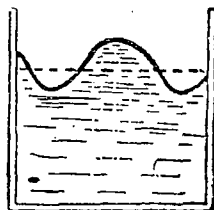


Рис. 125.

**76. Давление тяжелой жидкости на дно, на стенки сосуда и внутри жидкости.** Возьмем три цилиндрических сосуда: в один

вложим деревянный брусок, в другой насыплем гороху, а в третий нальем воды.

Деревянный брусок своей тяжестью будет давить только на дно сосуда.

Горох будет давить не только на дно, но и на стенки во всех точках прикосновения горошин. Каждая горошина внутри будет сдавлена со всех сторон соседними горошинами и, благодаря силе упругости, сама будет давить во все стороны на соседние горошины. Эти силы давления будут тем больше, чем глубже лежит горошина, чем более тяжелый слой гороха давит на нее сверху.

Чтобы яснее представить себе все это, представьте, что вместо гороха у вас в огромном сосуде лежит груда резиновых мячиков.

Вода, налитая в сосуд, вследствие подвижности мельчайших частиц, будет давить с плоскость на все дно и на все стенки сосуда. Каждый объемчик внутри воды будет сдавлен со всех сторон соседней водой, и сам, вследствие упругости, будет с такой же силой давить на соседние частицы.

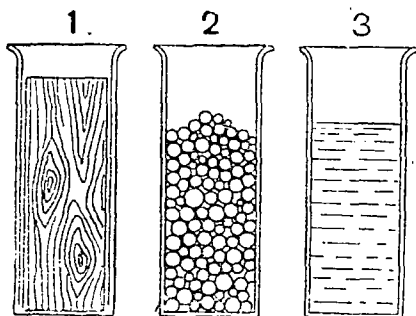


Рис. 126.

Эти силы будут тем больше, чем глубже лежит рассматриваемый объемчик воды, чем больший слой воды давит на него сверху.<sup>1</sup>

Если налить воду в сосуд, в стенке которого на разной высоте сделаны маленькие отверстия, то вода вытекает струями, которые тем сильнее, чем ниже лежит отверстие (рис. 127).

Из воронки каучуковой трубки и стеклянной трубки с оттянутым кончиком легко сделать модель фонтана, как это изображено на рис. 128. По струйке фонтана можно судить о величине давления столба; чем ниже помещается трубочка относительно уровня воды в воронке, тем сильнее бьет струя.

Заметим, что при этом струя не может подняться выше уровня воды в воронке.

Нальем воду в трубку, затянутую снизу резиновой перепонкой (рис. 129). Вода, попавшая в перепонку, сдавленная тяжестью столба воды в трубке, будет давить на перепонку во все стороны почти одинаково (сверху, понятно, чуть-чуть меньше). Перепонка раздуется в форму приблизительно шара. Если эту трубку опускать в воду, то давление окружающей воды сжимает резиновый шар, вытесняя воду вверх трубки тем больше, чем глубже он погружен.

<sup>1</sup> Пока силы давления не очень велики, мы можем считать, что величина объема жидкости при этом не изменяется, хотя и получается большая сила упругости. Когда же давления очень велики, получается заметное уменьшение объема, заметное уплотнение жидкости. На глубине моря около 2000 ш (немного меньше 2 верст) давление так велико, что вода уменьшается в объеме приблизительно на 0,01 часть (на 1%).

Чтобы наблюдать давление внутри жидкости не только с боков, но и снизу вверх, можно воспользоваться таким простым приспособлением. Возьмем трубу (рис. 130), к открытому

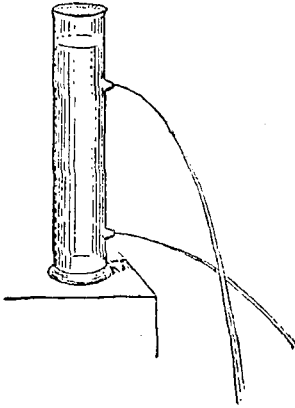


Рис. 127.

Струи жидкости из отверстий на разной глубине.

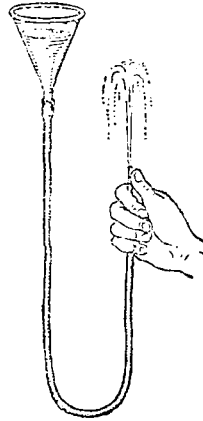


Рис. 128.

Модель фонтана.

концу которой приложим круглую пластинку из стекла или жести. Натягивая нитку, привязанную к середине пластинки, опустим трубку на некоторую глубину в воду. Опустив теперь нитку, увидим, что

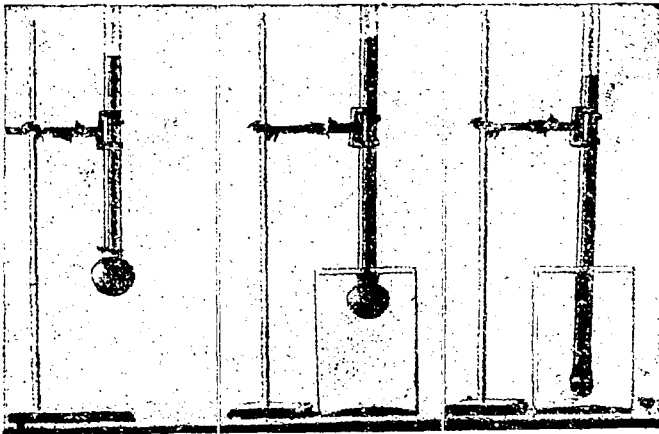


Рис. 129.

Давление внутри жидкости на разных глубинах.

пластинка не будет тонуть, она притиснется к трубке давлением воды. Если теперь в трубку постепенно вливать воду до уровня воды в сосуде, то пластинка отпадает и тонет. Отсюда видим, что вода

давила снизу вверх с силой, как раз равной весу вертикального столба воды высотой от пластинки до уровня.

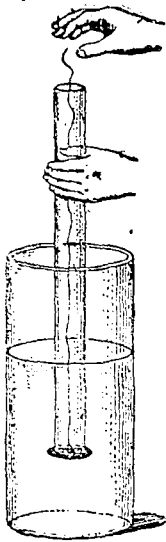


Рис. 130.

Давление жидкости  
снизу вверх.

? Затяните конец трубки резиновой перепонкой и опустите трубку затянутым концом в воду. Перепонка вдавится кверху, внутрь трубки. Почему? Наливайте в трубку воду. Перепонка будет выправляться. Сколько надо налить воды в трубку, чтобы перепонка опять стала плоской?

? Попробуйте сделать фонтан не из жидкого, а из газообразного вещества. Для этого пригодны тяжелые пары эфира. Если склянку с эфиром наклонить над воронкой (рис. 128), то через некоторое время пары эфира начинают выходить из кончика трубки. Если эти пары поджечь, то по величине пламени можно судить о силе струя пара. Наблюдайте это пламя, помещая отверстие на различных высотах относительно воронки.

**77. Закон Паскаля.** Если забрать воду в спринцовку, изображенную на рисунке (рис. 131), и сильно толкнуть поршень, то вода брызнет не только в сторону толчка, но во все стороны струями, перпендикулярными к поверхности шара.

На опыте струи, бьющие вверх, конечно, несколько слабее струй, бьющих вниз, так как первым препятствует, а вторым помогает сила тяжести.

Чтобы не считаться с силой тяжести, представим себе некоторый объем невесомой жидкости, заключенный в твердую оболочку с несколькими отверстиями, загороженными поршнями (рис. 132). Если на какой-нибудь из поршней надавить с некоторой силой, то это давление по жидкости передастся во все стороны и притом с одинаковой силой; на каждую площадку,

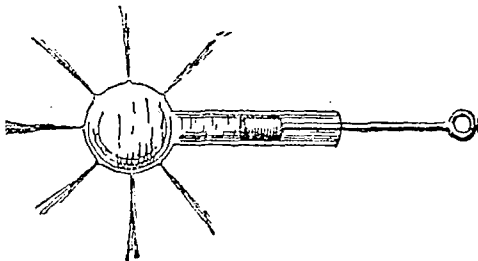


Рис. 131.

Струи во все стороны одинаково сильны.

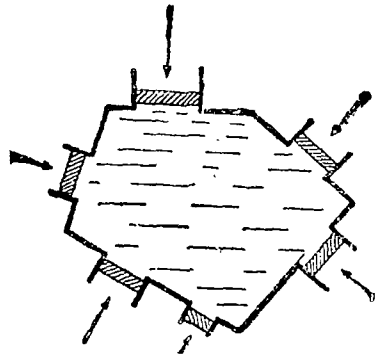


Рис. 132.

равную площадке поршня, получится такая же сила давления, а на площадку во сколько-нибудь раз большую получится сила давления до столько же раз большая. Д а в л е н и е (на единицу площади) во все стороны будет о д и н а к о в о.

Давление на жидкость, заключенную в замкнутом сосуде, передается во все стороны с одинаковой силой (закон Паскаля).<sup>1</sup>

### 78. Сообщающиеся сосуды.

Представим себе коробку, в верхней крышке которой два отверстия: большое и малое. Над отверстиями укреплены цилиндрические трубки.

Если в коробку (рис. 134) налить воды, так что она выступит из трубок, то равновесие столбов воды в трубках будет одинаково. При этом на площадь  $S$  будет давить вес столба воды  $T$ , а на  $s$  — вес столба  $t$ . Очевидно, что вес широкого столба больше веса узкого во столько раз, во сколько площадь  $S$  больше площадки  $s$ .

Вместо давления верхних частей столбов воды мы можем представить себе давление грузов, положенных на поршни, закрывающие трубки  $T$  и  $t$ . Для равновесия на поршень  $P$  придется положить груз во столько раз больший, чем на  $p$ , во сколько раз площадь  $S$  больше  $s$ .



Рис. 133.

Блез Паскаль (1623—1662) — французский математик, физик и философ. В юные годы проявил необычайный интерес и способности к геометрии. 16-ти лет уже написал научный трактат. 18-ти лет изобрел арифметическую машину. Из области физики исследовал вопросы о равновесии жидкостей и об атмосферном давлении. В конце своей короткой жизни всецело предался вопросам религиозной философии.

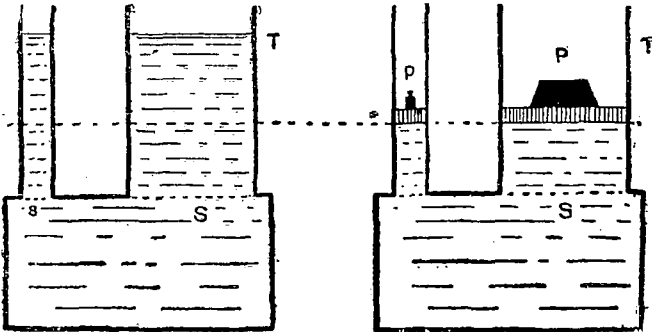


Рис. 134.

Равновесие столбов жидкости и грузов в сообщающихся сосудах.

<sup>1</sup> Этот закон, как и некоторые другие законы гидростатики, был за 50 лет до Паскаля высказан голландским физиком Стевином. Паскаль не знал об исследованиях Стевиша.

Таким образом, при передаче давления через жидкость в нашей коробке мы можем большой груз уравнивать малым грузом, подобно тому, как это делали на рычаге.

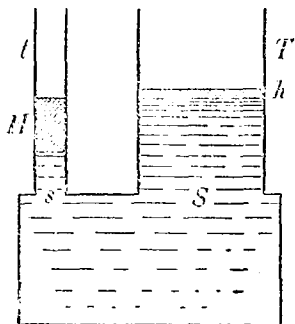


Рис. 135.

Путь малого поршня  $H$  больше  $h$  во столько раз, во сколько площадь  $S$  больше  $s$ .

Следовательно, в пути проигрывается во столько раз, во сколько раз выигрышается в силе.

**79. Гидравлический пресс.** Выигрышем в силе при передаче давления в жидкости пользуются на практике в разнообразных гидравлических прессах.

В этих прессах жидкость сжимается повторными размахами малого поршня, который при помощи клапанов вгоняет все большее и большее количество воды под большой поршень.

Клапаны представляют собой дверки или твердые пробки, которые пропускают жидкость только в одну сторону. Изображенные на рисунке (рис. 136) клапаны открываются, если давление жидкости больше снизу, и закрываются, если давление больше сверху.

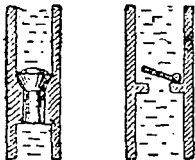


Рис. 136.

Клапаны, пропускающие жидкость только вверх.

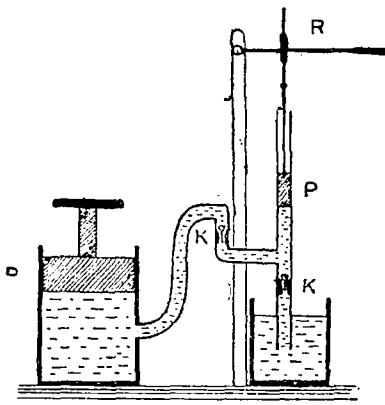


Рис. 137.

Схема гидравлического пресса.

Когда малый поршень (рис. 137) поднимается, нижний клапан  $K$  открывается, и вода входит под поршень; когда же он опускается, нижний клапан закрывается, и захваченная вода проталкивается через верхний клапан  $K$  под большой поршень.

Действуя на малый поршень не прямо рукой, а посредством рычага  $R$ , получаем еще выигрыш в силе в несколько раз.

? На прилагаемой картинке (рис. 139), взятой из книги голландского физика Стевина, изданной в 1586 г., человек стоит на доске, давя всей своей тяжестью на мех с водой. Стевина поразило, как мала высота столба воды, уравновешива-

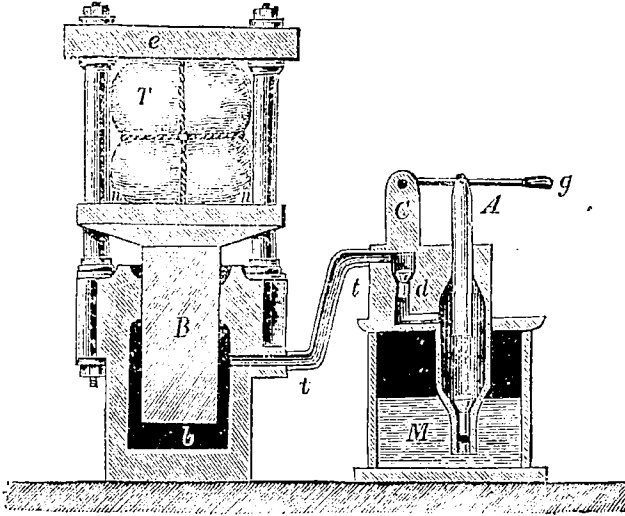


Рис. 138.

Разрез гидравлического пресса.

ющего при этом вес человека. Попробуйте вычислить эту высоту, оценены приблизительно вес человека и величину площади, на которую давит его вес. Вычислите, какой высоты надо взять слой воды, чтобы получить такое давление.



Рис. 139.

Маленький столб воды уравновешивает вес человека.

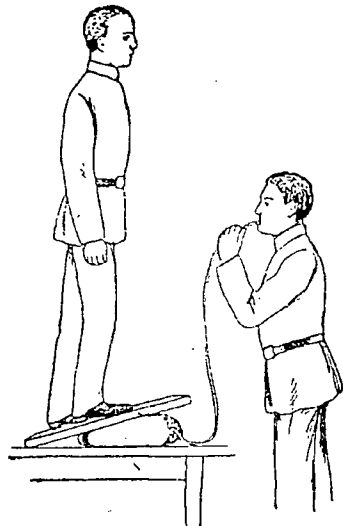


Рис. 140.

Блудая воздух ртом, можно поднимать человека.

? Оцените приблизительно весь выигрыш в силе, получаемый при помощи гидравлических прессов, изображенных на рисунках 137 и 138.



**80. Закон Паскаля для газов.** Если вы вдвуете воздух в резиновый шар, то шар раздувается во все стороны с одина-

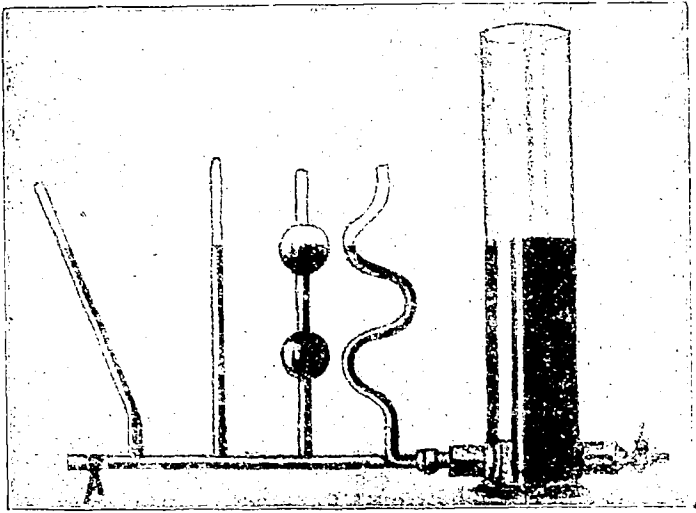


Рис. 141.

Равновесие жидкости в сообщающихся сосудах различной формы.

п а к о в о й с и л о й. Если на такой шар или мячик надавить пальцем, то давление пальца также передается во все стороны с одинаковой силой. Давление воздуха на одинаковые площади оболочки будут оди-

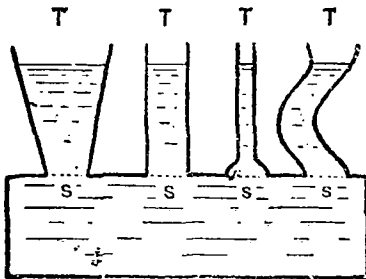


Рис. 142.

Сообщающиеся сосуды. Площади  $S$  одинаковы.

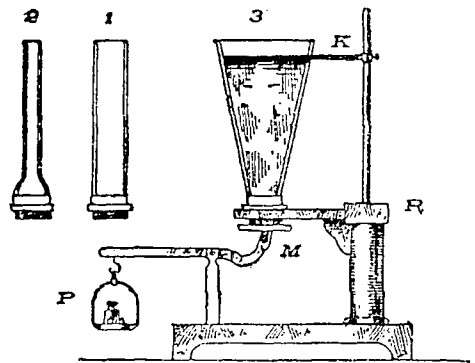


Рис. 143.

Прибор Паскаля для измерения силы давления жидкости на дно сосуда.

п а к о в ы, а на разные площади давления будут прямо пропорциональны величинам площадей.

Передачей давления через воздух можно подобно гидравлическому прессу получить выигрыш в силе.

Вдвывая воздух через тонкую трубку в пузырь или резиновый мешок, можно без особого труда поднять силой своих легких человека, стоящего на доске, покрывающей мешок (рис. 140).

? Возьмите прочный бумажный мешок и вдуйте в него воздух ртом; сила давления на всю площадь мешка при этом получается настолько большая, что может преодолеть вес нескольких тяжелых книг.

**81. Давление жидкости на дно. Гидростатический парадокс.** Возьмем несколько сообщающихся между собою сосудов самой разнообразной формы (рис. 141). Налитая в них вода приходит в равновесие, когда уровень ее во всех сосудах находится на одной высоте.

Представим себе, что ряд таких сосудов (рис. 142) имеет одинаковые площади сечения в нижней части. Вода в соединительном сосуде находится в равновесии. Следовательно, давления на все одинаковые площадки равны между собою. Получается очень, на первый взгляд, странное заключение: такие различные и по объему, и по весу, и по форме колонки  $T$  дают одинаковые давления на площадки  $s$ .

Представим себе, что эти колонки отрезаны от нижнего сосуда, и у каждой колонки на месте  $s$  сделано дно. Выходит, что во всех получившихся сосудах при одинаковой высоте уровня воды сила давления на дно будет одинакова.

Чтобы проверить на опыте справедливость этого вывода, надо постараться измерить силу давления на дно в сосудах разной формы, имеющих одинаковую площадь дна. Это можно сделать при помощи так называемого «прибора Паскаля» (рис. 143). Груз  $P$ , подвешенный на одном плече рычага, на другом плече прижимает пластинку  $M$  к нижней части кольца, на которое навинчиваются трубки различного вида. В эти трубки вливают воду до тех пор, пока давление воды на пластинку  $M$  не преодолет веса  $P$ .

Оказывается, что для трубок различной формы приходится наливать воду до одной и той же высоты. При одинаковой высоте столбов воды

давление их на пластинку  $M$  одинаково, хотя в различные трубки при этом входят весьма различные количества воды. Измеряя эти количества воды при помощи мензурки и пробуя уравновесить груз  $P$  гирями, положенными на пластинку  $M$ , можем убедиться, что сила давления во всех случаях равна

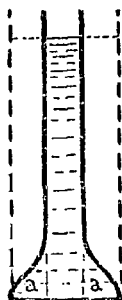


Рис. 144.

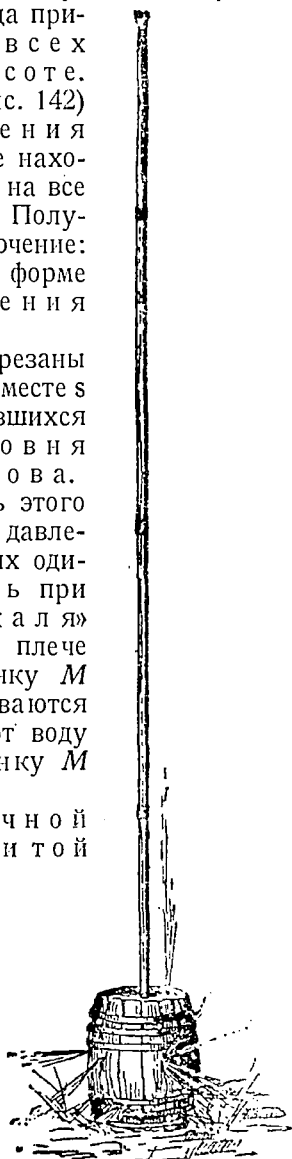


Рис. 145.

Бочка разрывается давлением высокого столба воды.

весу вертикального столба воды, т.-е. гири будут весить столько же, сколько вода в первой трубке.

На первый взгляд кажется особенно странным, как это вода во второй трубке дает давление на дно больше своего веса. Чтобы выяснить себе это, будем рассуждать так: когда столб воды цилиндрический, нижний слой воды, сжатый весом всего столба, стремится с такой же силой расшириться и производить на дно давление, равное весу столба. Очевидно, то же самое будет в средней части столба во второй трубке (рис. 144); нижний слой будет сдавлен силой веса столба, но, согласно закону Паскаля, это давление должно передаваться и в бока, и вверх, во все стороны с одинаковой силой, как при цилиндрическом столбе. Вода в промежутках *aa* давит на дно, как бы отталкиваясь от верхних стенок. Если бы вода отвердела, передача давления прекратилась бы, и давление на дно сделалось бы равным только весу воды.

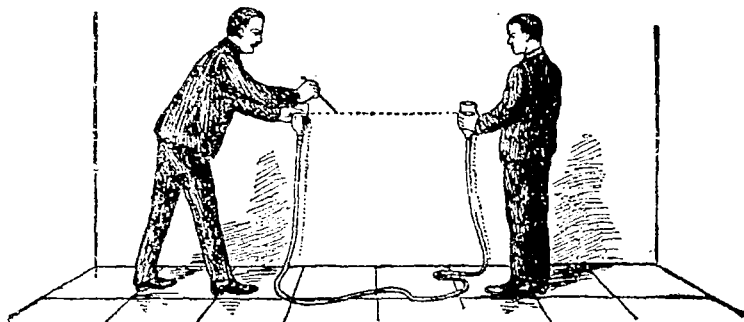


Рис. 146.

Итак, давление жидкости на дно сосуда при какой угодно форме сосуда и при каком угодно количестве жидкости всегда равно весу вертикального столба жидкости, основание которого равно площади дна, а высота — высоте уровня жидкости. Этот, на первый взгляд невероятный, закон носит название гидростатического парадокса.

Согласно этому закону, можно очень небольшим количеством жидкости получить большое давление, если брать жидкость в форме тонкого высокого столба. Паскаль достигал разрыва прочной бочки давлением воды, выступавшей из бочки в тонкой трубке.

? Объясните изображенный на рисунке 146 способ проведения горизонтальной линии.

**82. Равновесие различных жидкостей в сообщающихся сосудах.** Если в один и тот же сосуд наливать до одного и того же уреза различные жидкости, то, понятно, давление жидкостей на дно будет прямо пропорционально удельному весу жидкостей.

Нальем в изогнутую трубку ртути (рис. 147), а поверх ртути в одно колено вольем воду; при этом уровень в другом колене поднимется, но будет значительно ниже уровня воды.

На уровне *AB* давления на каждый кв. сант. должны быть равны; ртуть в 13,5 раз тяжелее воды, следовательно, для равновесия столб ртути должен иметь в 13,5 раз меньше высоту, чем столб воды. Смеривши высоты столбиков ртути и воды в наших трубках, убедимся, что это так.

Итак, при равновесии различных жидкостей в сообщающихся сосудах высоты столбов обратно пропорциональны удельным весам жидкостей.

Если бы мы не знали удельного веса ртути, мы могли бы его определить по изменению высот этих столбиков.

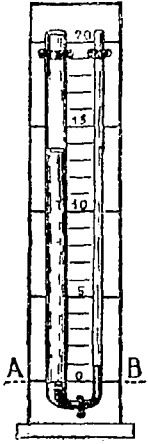


Рис. 147.

Равновесие воды и ртути в сообщающихся сосудах.

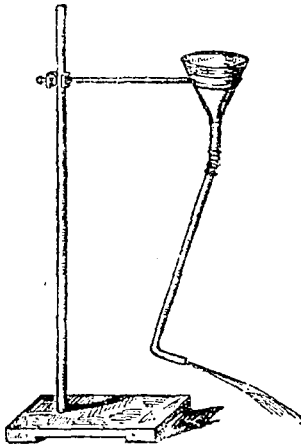


Рис. 148.

Трубка отклоняется вследствие реакции вытекающей жидкости.

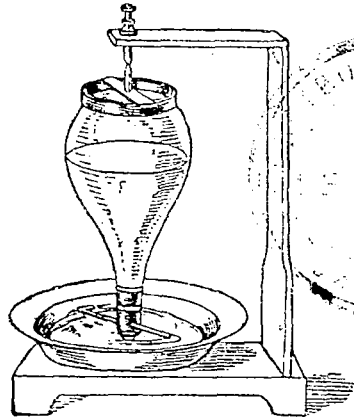


Рис. 149.

Сегнерово колесо.

? Как были бы расположены уровни в трубке на рис. 147, если бы одно из колен было направлено наклонно?

? Сколько спирта надо влить в правое колено трубки (рис. 147), чтобы уровни ртути в обоих коленах получились на одной высоте?

**83. Движение, производимое давлением жидкости.** Соединим каучуковой трубкой воронку с изогнутой стеклянной трубкой (рис. 148). Если вливать воду в воронку, вода выливается из трубки, которая заметно отклоняется при этом в сторону, противоположную направлению струи воды. Одновременно с силой давления, выталкивающей воду, получается сила противодействия, толкающая трубку в противоположную сторону. Трубка отклоняется подобно тому, как откатывается пушка при выстреле. Силу, отклоняющую трубку, называют реакцией вытекающей жидкости.

Силой такой реакции приводится во вращение так называемое Сегнерово колесо, <sup>1</sup> состоящее из сосуда с изогнутыми

<sup>1</sup> Сегнер (1704 — 1777) — немецкий математик и физик,

трубками вниз. Вода, вытекая из трубок, вращает колесо в сторону, противоположную загибам трубок.

Нетрудно осуществить такое Сегнерово колесо, вращаемое давлением не жидкости, а газа. Пуская светильный газ в прибор, изображенный на рис. 151, получим вращение верхней и з о г н у т о й трубки. Чтобы видеть вытекающий газ, его можно зажечь.

Применяемые в технике различные водяны е и паровы е т у р б и н ы приводятся в движение напором воды или пара, при чем вращающей силой служит, как в Сегнеровом колесе, реакция вытекающей жидкости или пара?

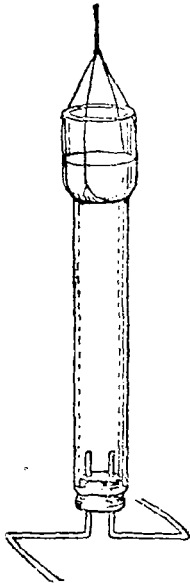


Рис. 150.  
Сегнеро во колесо из  
лампового стекла.

? Попробуйте установить на плавающей пробке какой-нибудь маленький резервуар с отверстием и получить движение пробки вследствие реакции воды, вытекающей из резервуара.

? Какая сила движет летящую ракету или «огненное колесо» фейерверка?

**84. Давление на тело, погруженное в жидкость. Закон Архимеда.** Если тело

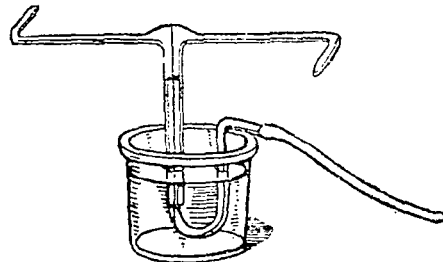


Рис. 151.  
Сегнеро во колесо с газом.

погружено в жидкость, жидкость давит на него со всех сторон, при чем давление на нижние части, понятно, больше, чем на верхние.

Этот излишек давления снизу ведет к тому, что жидкость с некоторой силой стремится вытолкнуть погруженное тело вверх. Тело вследствие этого как бы теряет часть своего веса, делается легче.

Архимед первый сообразил, что сила, с которой жидкость стремится вытолкнуть вверх погруженное тело, равна весу жидкости, вытесненной этим телом, т.-е. равна весу жидкости в объеме погруженного тела.

Возьмите, например, кусок алюминия. Измерьте его объем и рассчитайте, сколько весила бы вода в объеме этого куска. Подвесьте этот кусок к весам и уравновесьте гирями (рис. 152). Если вы теперь подведете сосуд с водой так, чтобы кусок алюминия погрузился в воду, равновесие нарушится; чашка с гирями будет перетягивать. Чтобы восстановить равновесие, придется положить гирь меньше

ровно на столько, сколько весит вода в объеме куска алюминия.

Итак, тело, погруженное в жидкость, теряет в своем весе столько, сколько весит жидкость в объеме тела (закон Архимеда).

Уравновесим на весах стакан с водой (рис. 153) и погрузим в стакан наш кусок алюминия, подвешенный на подставке, стоящей на столе.

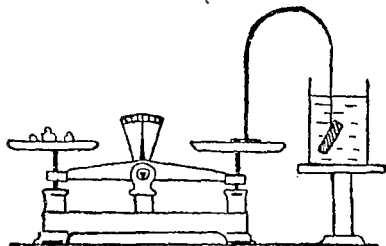


Рис. 152.

Взвешивание тела, погруженного в воду.

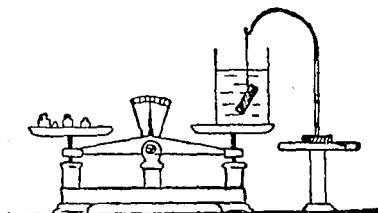


Рис. 153.

Взвешивание воды, в которую погружено тело.

Равновесие нарушится, чашка весов со стаканом станет перетягивать. Чтобы восстановить равновесие, придется на другую чашку весов положить вес, равный весу воды в объеме алюминия.

Жидкость, вытесняя с некоторой силой погруженное тело кверху, сама на такую же величину увеличивает силу своего давления вниз, подобно тому, как человек, поддерживая груз, производит ногами давление на пол, увеличенное на вес груза.

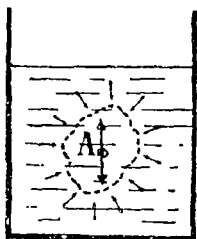


Рис. 154.

Чтобы выяснить справедливость закона Архимеда, можно рассуждать так. Пусть жидкость в сосуде находится в равновесии. Выделим мысленно внутри жидкости какой-нибудь объем  $A$  (рис. 154). На этот объем давит окружающая вода и притом так, что как раз уравновешивает этот объем, т.-е. как-раз

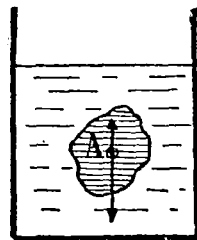


Рис. 155.

уничтожает силу тяжести, тянущую этот объем вниз. Отсюда заключаем, что сила всех давлений на объем  $A$  сводится к силе, равной весу жидкости в объеме  $A$ , тянущей вертикально вверх. Теперь представим себе (рис. 155), что объем  $A$  занят не жидкостью, а каким-нибудь твердым телом; окружающая жидкость будет давить на это тело с прежней силой.

Давление жидкости должно выталкивать тело вверх с силой, равной весу жидкости в объеме этого тела.

? К коромыслу весов подвешивается маленькое ведро (рис. 156) и гиря, объем которой равен внутреннему объему ведра. Весы уравновешиваются дробью на другой чашке. Если гиря погружается в воду, равновесие нарушается, но если ведро наполнить водой, равновесие восстанавливается. Объясните явление.

? Сколько весит 1 см<sup>3</sup> золота в воде, в спирте и в ртути?

? На равноплечем рычаге уравновешены две гири одинакового веса: одна железная, другая свинцовая. Какая гиря перетянет, если обе гири погрузить в воду?

? На равноплечем рычаге уравновешены две одинаковые латунные гири. Какая гиря перетянет, если одну из них погрузить в воду, другую — в керосин.

? На одной чашке весов помещается кусок дерева и сосуд с водой, а на другой чашке — гири, которые их уравновешивают. Как изменится равновесие весов, если кусок дерева положить в воду?

**85. Определение удельных весов на основании закона Архимеда.** Зная вес однородного тела в воздухе и вес того же тела в воде, трудно определить удельный вес вещества этого тела.

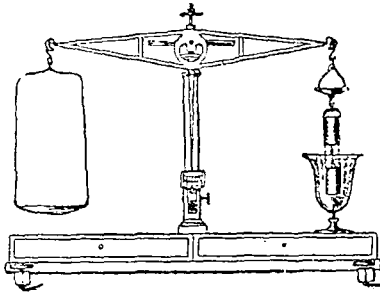


Рис. 156.

Опыт с „архимедовым ведром“

Возьмем, например, кусок латуни. Пусть вес его в воздухе 40 г, а в воде 35 г. Потеря в весе  $40 \text{ г} - 35 \text{ г} = 5 \text{ г}$  по закону Архимеда равна весу воды в объеме тела. Если вес воды в этом объеме равен 5 г, то объем этого тела равен 5 см<sup>3</sup>, а удельный вес, т.-е. вес 1 см<sup>3</sup>, равен

$$\frac{40 \text{ г}}{5 \text{ см}^3} = 8 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Если известен объем какого-нибудь однородного тела, то, зная его вес в воздухе и в какой-нибудь жидкости, легко определить удельный вес этой жидкости.

Пусть наш кусок латуни в 5 см<sup>3</sup> объемом, весящий в воздухе 40 г, весит в спирте 36 г. Потеря веса в спирте равна  $40 \text{ г} - 36 \text{ г} = 4 \text{ г}$ . Следовательно, 5 см<sup>3</sup> спирта весят 4 г. Отсюда получаем удельный вес спирта

$$\frac{4 \text{ г}}{5 \text{ см}^3} = 0,8 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

\*) Кусок бронзы весит в воздухе 170 г, а в воде 150 г. Как велик удельный вес бронзы?

? Кусок алюминия в 100 см<sup>3</sup> объемом весит в воздухе 270 г, а в эфире 200 г. Как велик удельный вес эфира?

? Кусок стекла весит: в воздухе 50 г, в воде 35 г, а в керосине 36 г. Как велик объем куска? Как велик удельный вес стекла? Как велик удельный вес керосина?

? Составьте решение предыдущих задач в буквенной, алгебраической форме.

? Задайте сами себе задачу, подобную задаче Архимеда с золотым венцом. Залейте в сургуч свинцовую пульку и попробуйте, зная удельные веса свинца и сургуча, определить, сколько в вашем слитке свинца и сколько сургуча?

**86. Равновесие тела внутри жидкости.** Тело, погруженное в жидкость, находится под действием двух сил: первая сила — сила давления окружающей жидкости, по закону Архимеда равная весу жидкости в объеме тела; вторая сила — вес самого тела. Первая сила тянет вверх, вторая — вниз. Равнодействующая этих двух сил равняется их разности и направлена в сторону большей силы.

Если вес тела больше веса вытесняемой жидкости, то равнодействующая направлена вниз, тело тонет.

Если вес тела меньше веса вытесняемой жидкости, то равнодействующая направлена вверх, тело всплывает.

Если, наконец, эти две силы равны между собой, тело может удерживаться в равновесии внутри жидкости.

Куриное яйцо тонет в чистой воде и всплывает в растворе поваренной соли, если соли растворено достаточно много. Разбавляя такой раствор постепенно водой, можно подобрать такой раствор, в котором яйцо не будет ни тонуть, ни всплывать (рис. 157).

**87. Закон Архимеда для газов.** Газы, подобно жидкостям, давят на погруженные в них тела, и так же, как в жидкостях, давление газа снизу, благодаря тяжести, несколько больше, чем сверху. Как в жидкости, тело, погруженное в газ, теряет в своем весе столько, сколько весит вытесненный телом газ. Все окружающие нас земные тела несколько теряют в весе благодаря тому, что окружены атмосферным воздухом. Эта потеря в весе,

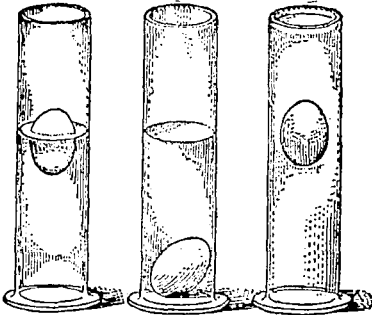


Рис. 157.

Случаи равновесия куриного яйца в различных жидкостях.

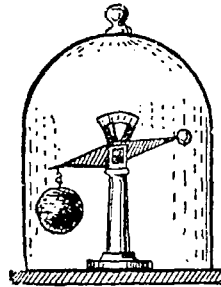


Рис. 158.

Бароскоп. Шарик из пробки превешивает в разреженном воздухе.

понятно, тем больше, чем больший объем занимает тело. Если кусок пробки и кусок свинца кажутся нам одинакового веса в воздухе, то в безвоздушном пространстве пробка окажется тяжелее: она теряет больше веса в воздухе, благодаря большему объему. Если уравновесить на рычажке пробку и свинец и, поставив рычажок под колокол насоса (рис. 158), выкачивать воздух, то по мере разрежения воздуха пробка будет все более и более перетягивать. Такой прибор называется бароскопом.<sup>1</sup>

Уравновесив на весах большую закупоренную колбу, подведем под нее банку с углекислым газом. Попав в среду газа более тяжелого, чем воздух, колба заметно потеряет в весе.

Тела более легкие, чем вытесняемый ими объем воздуха, должны подняться вверх, всплывать в воздухе. Так поднимаются мыльные пузыри с водородом или светильным газом, игрушечные воздушные шары, настоящие аэростаты и т. п.

Аэростаты обыкновенно наполняют водородом.

<sup>1</sup> Греческое  $\beta\acute{\alpha}\rho\omicron\varsigma$  (барос) — тяжесть, давление, и  $\sigma\kappa\omicron\pi\omicron\varsigma$  (скопос) — наблюдатель; бароскоп — прибор для наблюдения давления.



? В древности философ Аристотель пробовал определить вес воздуха, взвешивая кожаный мешок, надутый воздухом и выжатый, без воздуха. Почему таким способом нельзя определять вес воздуха?

? Как нарушится равновесие бароскопа (рис. 158), если его погрузить в углекислый газ?

? При очень точных взвешиваниях принимается в расчет потеря веса тел в воздухе. Имеет ли тогда значение, из какого материала сделаны гири?

**88. Равновесие тел, плавающих на поверхности жидкости.** Тело плавающее на поверхности жидкости, находится под действием двух сил: 1-я сила — вес тела — тянет вниз, 2-я сила — давление жидкости, равное весу жидкости в объеме погруженной части тела, выталкивает вверх. Равновесие понятно, получается тогда, когда силы равны между собою.

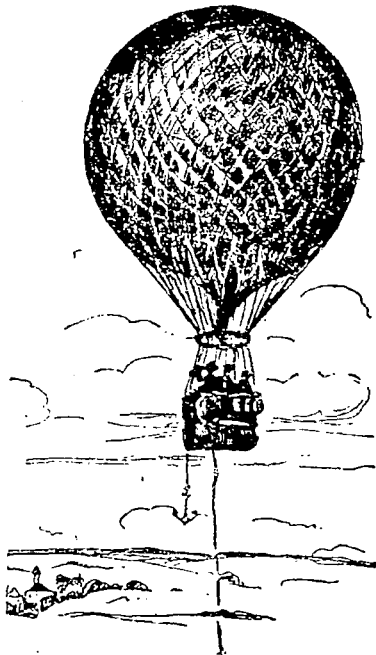


Рис. 159.  
Аэростат.

Тело, плавающее на поверхности жидкости, вытесняет такой объем жидкости, вес которого равен весу тела.

Взвесьте какой-нибудь поплавок, например, пробирку с небольшим количеством дроби (рис. 160), и пустите его плавать в мензурку с водой. По подъему воды в мензурке вы увидите, что пробирка вытеснит такой вес воды, сколько сама весит.

Смерьте как-нибудь удельный вес куска дерева. Пусть он равен  $0,7 \frac{g}{cm^3}$ . Плавая на воде, этот кусок будет погружен в воду на 0,7 своего объема. Пробка, удельный вес которой равен  $0,25 \frac{g}{cm^3}$ , плавая на воде, погружается всего четвертью своего объема (рис. 161).

Одно и то же тело, плавая в более тяжелой жидкости, погружается меньшей частью своего объема, а плавая в более легкой жидкости, погружается большей частью объема. По погружению плавающего тела можно судить об удельном весе или о плотности жидкости. Для этой цели служат поплавки, называемые ареометрами (рис. 162), на которых нанесены деления с указаниями удельного веса жидкости, в которой поплавок погружается до этого деления.

Подобные поплавки употребляются для определения крепости растворов спирта (спиртомеры), для определения достоинства молока (лактометры) и т. п.

? Какая часть объема плавающей льдины выдается над поверхностью воды?  
 Удельный вес льда можно считать приблизительно равным  $0,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ .

? Сколько весит броненосец в 10 000 тонн «водоизмещения»?

? Взвесьте кусок дерева и пустите его плавать в сосуд (рис. 25, § 13) для определения объемов. Сколько воды вытечет из сосуда?

? Имеются два ведра, оба одинаково до краев наполненные водою. В одном из ведер плавает кусок дерева. Которое ведро тяжелее?

? Как устроена игрушка «морской житель» (рис. 164)?<sup>1</sup> Почему чортик тонет, когда надавливают на резиновую перепонку? Что в это время делается с пузырьком воздуха внутри чортика? Почему, поднимаясь, чортик вертится? Почему, если повернуть игрушку вверх ногами, игрушка обыкновенно портится, так как чортик перестает всплывать?

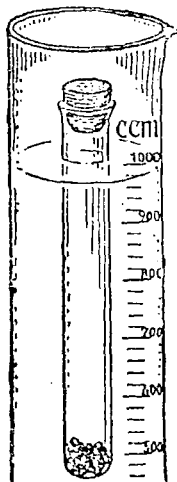


Рис. 160.

Пробирка с дробью, плавающая в воде.

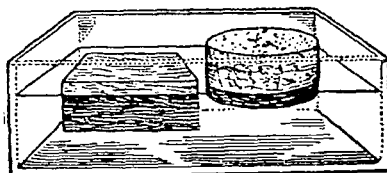


Рис. 161.

Дерево и пробка, плавающие на поверхности воды.



Рис. 162.

Ареометр.

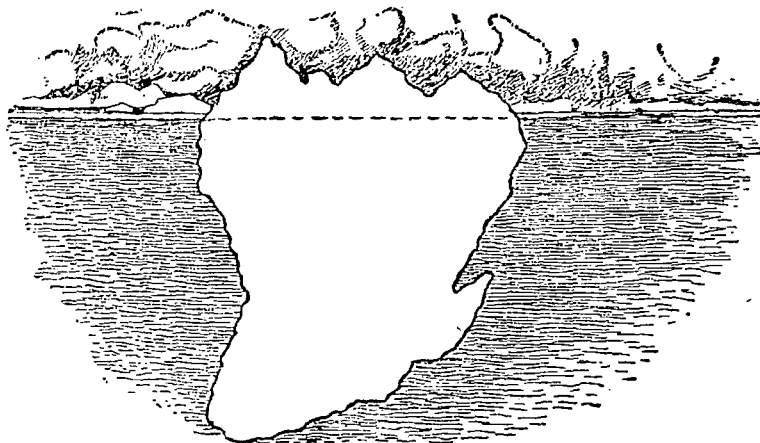


Рис. 163.

Льдина, плавающая на поверхности воды.

**89. Явления частичного сцепления в жидкостях.** Когда жидкость берется в больших количествах, сила веса жидкости преодолевает

<sup>1</sup> Так эту игрушку называют московские торговцы; ее научное название — «картезианский водолаз» по имени Декарта, который по-датски назывался Cartesius.

силу сцепления ее частиц: жидкость растекается, разливается, но если взять маленькое количество жидкости, то, наоборот, сила сцепления преобладает над силой веса; небольшие капли жидкости способны силой сцепления сохранять свою форму, не растекаясь. Всмотритесь в капельки ртути на столе или в капельки воды на волосистом сукне, вы увидите, что чем меньше капля, чем меньше ее вес, тем более шарообразную форму имеет капля. Естественно предположить, что жидкость, представленная только силою сцепления своих частиц, стремится принять форму шара.

Это можно наблюдать с довольно большим количеством жидкости, если только избавить ее от силы тяжести. Можно сделать такую смесь спирта с водой, что масло (прованское или репейное) будет удерживаться в равновесии внутри этой смеси, не опускаясь и не всплывая (рис. 165), так как вес масла как-раз уравновешивается давлением

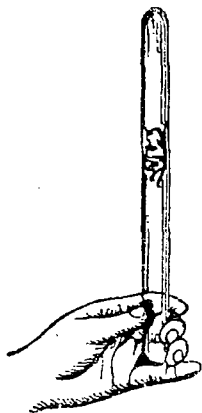


Рис. 164.  
„Морской житель“.

окружающей смеси. При этом масло принимает форму шара.<sup>1</sup> Если осторожно как-нибудь изменить форму этого шара, он выправляется так, как-будто бы был окружен упругой оболочкой. Если дать ему более сильный толчок, он разбивается на части, которые сейчас же принимают формы шариков.

### 90. Прилипание жидкостей к твердым телам.

Если на чистую стеклянную пластинку капнуть спирта, воды и ртути, то спирт и вода растекаются по стеклу, а капелька ртути не растекается. Для спирта и воды сцепление стекла с жидкостью преодолевает сцепление между частицами жидкостей, а для ртути, наоборот, — сцепление частиц ртути между собой преодолевает сцепление между ртутью и стеклом.

Спирт и вода, как говорится, смачивают стекло, а ртуть стекла не смачивает. Стекло, покрытое хотя бы незначительным слоем жира, не смачивается водой. Можно приготовить и такую пластинку, которая будет смачиваться ртутью. Если медную пластинку натереть ртутью с небольшим количеством кислоты, пластинка покрывается амальгамой, т.-е. раствором меди в ртути. По такой пластинке ртутные капли растекаются.

? Окуните в воду чистую стеклянную палочку. Окуните палочку, слегка смазанную салом или вазелином. Окуните стеклянную палочку в ртуть. Удастся ли вам получить на палочке капли жидкости?

<sup>1</sup> Этот опыт носит название «опыта Плато», по имени бельгийского физика Плато (1801 — 1883), впервые производившего такой опыт.

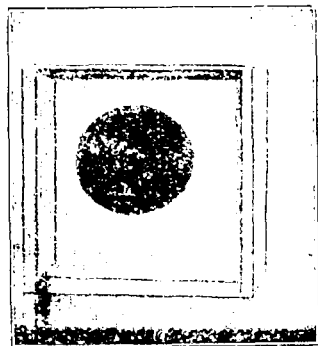


Рис. 165.

Масло принимает форму шара в смеси воды и спирта (опыт Плато).

? Смажьте салом стальное перо и попробуйте им писать чернилами. Попробуйте писать чернилами на просаленной бумаге.

**91. Поверхностное натяжение.** Вглядываясь в капли жидкости, в которых проявляются частичные силы, можно подметить, что жидкость ведет себя всегда так, как будто бы она была покрыта тонкой упругой оболочкой.

Если в шары из тонкой резины разной величины налить воду и положить эти шары на стол, они примут формы, подобные каплям ртути.

Всмотритесь в те формы, которые принимают образующиеся и отпадающие капли воды, вытекающей из тонкой трубки (рис. 166). Такие же формы принимает большая резиновая пластинка, в которую вливают воду (рис. 167).

Поверхностный слой жидкости стремится, подобно резиновой оболочке, уменьшить величину своей поверхности. Приблизительно уяснить себе, почему это так происходит, можно следующим образом. Мы знаем, что частичные силы проявляют себя лишь на самых незначительных расстояниях. Поэтому частица

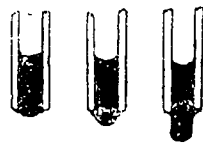


Рис. 166.

Образование капли чернил, вытекающих из стеклянной трубки.

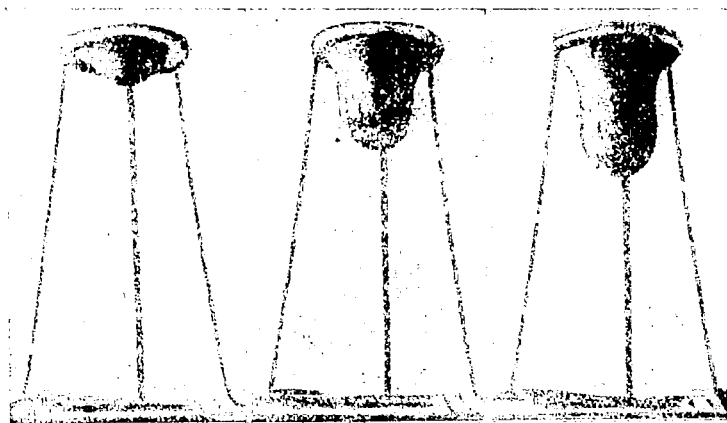


Рис. 167.

Резиновая перепонка, наполняемая водой, принимает форму капли.

жидкости, находящаяся где-нибудь внутри жидкости (рис. 168), притягивается соседними частицами одинаково во все стороны; но частица, лежащая близ поверхности, притягивается сильнее внутрь и в стороны. Притяжение частиц, лежащих на поверхности друг к другу, дает силу, стремящуюся сократить величину поверхности. Эту силу называют силой поверхностного натяжения. Именно эта сила стремится придать каплям форму шара, так как шаровая поверхность

есть наименьшая поверхность, охватывающая данный объем.

Нальем в широкий сосуд воды и посыплем на ее поверхность ликоподия.<sup>1</sup> Если посреди поверхности пустить крошечную каплю эфира, то ликоподий расступается, образуя чистое «окно». Это происходит вследствие того, что поверхностное натяжение воды с эфиром меньше, чем натяжение чистой воды. По мере испарения эфира, «окно» снова затягивается. Можно даже не пускать жидкого эфира, а опрокидывать над водой колбу, смоченную внутри эфиром: невидные пары эфира, поглощаясь водой, образуют «окна».

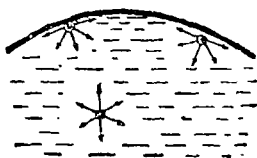


Рис. 168.

Если иголку покрыть хоть самым тонким слоем жира (достаточно просто потереть ее пальцами), она может плавать на поверхности воды, которая не будет ее смачивать. При этом заметно, что поверхностный слой воды настолько прогибается под иголкой, что вытесняемый иголкой объем воды значительно больше объема самой иголки.

Подобным же образом на поверхности воды может плавать медная пластинка (рис. 169), которую можно еще нагрузить небольшими гири.

**92. Явления, объяснимые поверхностным натяжением жидкости.** Приведем несколько примеров поучительных и забавных опытов, в которых проявляется сила поверхностного натяжения жидкостей.

I. Если сложить из бумаги длинную узкую коробку и вливать в нее воду, то стенки коробки заметно сближаются.

II. Если сделать дно коробки из довольно редкой проволочной сетки и опустить эту сетку в расплавленный парафин так, чтобы проволочки покрылись тонким парафиновым слоем, то довольно большой слой воды держится в этой коробке, не проливаясь сквозь сетку: получается «решето», в котором можно «носить воду».

III. Насыпьте на поверхность воды ликоподия и опустите в воду стеариновую свечку. Весь ликоподий будет собираться в углубление, образующееся около свечки, не смачиваемой водой.

IV. Пустив на поверхность воды маленькие кусочки бумаги, прикоснитесь к поверхности воды кусочком сахара; бумажки собираются к сахару, так как растворение сахара увеличивает натяжение воды. От кусочка мыла или от капли скипидара бумажки, наоборот, разбегаются.

V. На поверхности очень чистой воды (лучше теплой) маленькие стружки камфоры бегают и вертятся, как живые существа. В тех местах, где стружечка

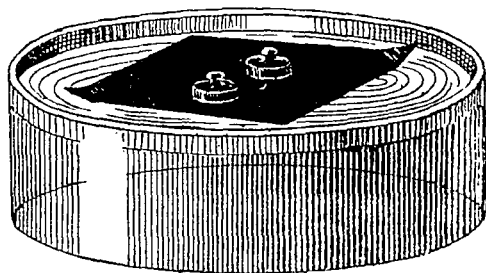


Рис. 169.

Несмачиваемая медная пластинка плавает на поверхности воды.

<sup>1</sup> Плауновое семя — споры растения *Lycoperidium*; продается в аптеках под названием *Semen Lycoperidii*, или «детской присыпки».

сильнее растворяется, поверхностное натяжение уменьшается, и получается сила, тянущая стружечку в противоположную сторону. Малейший слой жира на воде прекращает эти движения. Прекращением движений камфоры может обнаружиться невероятно тонкий слой масла на воде (до одной тысячной доли микрона толщиной!).

**93. Свойства жидких пленок.** Силы поверхностного натяжения особенно сильно проявляются, если брать жидкость в форме тонких

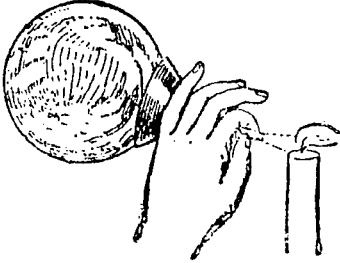


Рис. 170.

Давление стенки мыльного пузыря выталкивает воздух и задувает свечу.

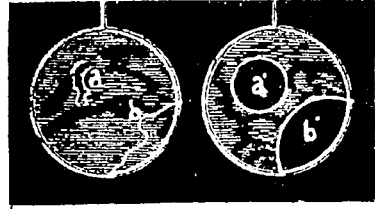


Рис. 171.

Поверхностное натяжение растягивает нитку, придавая ей изгиб дуги окружности.

пленок, между поверхностными слоями которых находится лишь незначительный слой жидкости. Такую пленку представляет, например, стенка всем знакомого мыльного пузыря. Стремясь сократиться, эта пленка, охватывая некоторый объем газа, принимает форму шара.

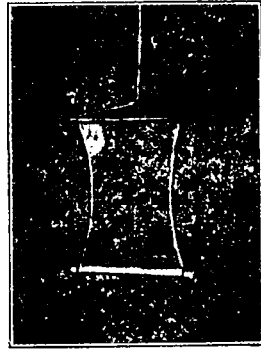
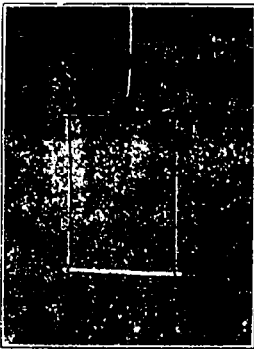


Рис. 172.

Сила поверхностного натяжения поднимает нижнюю перекладину.

Если оставить открытой трубку, на конце которой раздут пузырь, то пленка, сокращаясь, выдвигает воздух с некоторой силой, о которой можно судить по вытекающей струе дыма, предварительно пущенного в пузырь, или по действию струи воздуха на пламя свечи (рис. 170).

Если опустить в мыльную воду плоскую проволочную петлю, получится плоская пленка, затягивающая отверстие. Если на эту пленку бросить мокрую шелковую петельку (рис. 171, а) и проколоть пленку

внутри этой петельки, то шелковинка, растягиваемая во все стороны натяжением пленки, принимает форму окружности; шелковинка, концами привязанная в проволоке (рис. 171, *b*), принимает форму дуги окружности.

Опустим в мыльную воду фигурку (рис. 172), напоминающую гимнастическую «трапедию», на двух шелковинках висит проволочная перекладка. Мыльная пленка, затянув пространство между шелковинками, изгибает их, подняв тяжелую проволоку.

**94. Капиллярные трубки.** <sup>1</sup> Волосными или капиллярными трубками называются всякие очень тонкие трубки.

Возьмем изогнутую трубку, одно колено которой довольно широко, другое тонкое, капиллярное, и притом короче широкого (рис. 173).

Будем вливать постепенно воду в эту трубку, следя за уровнями в том и в другом колене.

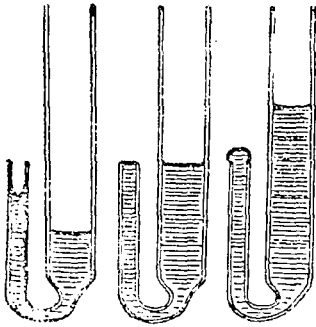


Рис. 173.

Действие поверхностного натяжения выпуклой и вогнутой поверхности воды в капиллярной трубке.

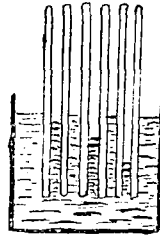


Рис. 174.

Подъем воды в капиллярных стеклянных трубках.

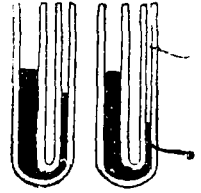


Рис. 175.

Понижение ртути в капиллярных трубках.

Пока в тонкой трубке вода не дошла до конца, уровень воды в тонкой трубке будет сильно вогнутый и будет стоять выше, чем в широкой трубке. Если бы действовала только сила тяжести, то уровни были бы на одной высоте, но в тонкой трубке действует еще поверхностное натяжение воды, прилипающей к стенке трубки; вследствие вогнутости поверхности получается сила, тянущая вверх и поднимающая излишек столбика воды.

Когда уровень воды достигает верха тонкой трубки, поверхность делается плоской, и уровни в обеих трубках сравниваются, так как натяжение плоской поверхности не дает силы ни вверх ни вниз.

При дальнейшем подливании воды на конце тонкой трубки образуется выпуклая капля, поверхностное натяжение которой дает силу вниз. Теперь в широкой трубке уровень выше, чем в тонкой.

Итак, при вогнутой поверхности поверхностное натяжение дает силу, направленную вверх, при выпуклой — напра-

<sup>1</sup> Латинское слово *capillus* значит — волос.

вленную в и з. Эта сила тем больше, чем больше кривизна поверхности.

Опуская ряд капиллярных трубок в воду (рис. 174), увидим, что вода, смачивая стекло и образуя вогнутые поверхности, будет в трубках подниматься выше уровня жидкости в сосуде и притом тем выше, чем тоньше трубка.

Не смачивающая стекла ртуть образует выпуклые поверхности, и потому в тонких трубках ее уровни ниже, чем в широких, и притом тем ниже, чем тоньше трубка (рис. 175).

Подъем жидкостей по капиллярным каналам наблюдается в очень многих явлениях: всасывание чернил в пропускную бумагу, подъем керосина по фитилю лампы, подъем соков в растениях и т. д.

? Если положить кусок сахара или мела на мокрую губку, он промокнет, вытягивая воду из губки; но сухая губка, положенная на мокрый мел, не вытягивает влаги из мела. Почему?

? Кривизна уровня жидкости заметна и в широких сосудах, но только около стенок сосуда. Как искривлена у стенок стеклянного стакана поверхность воды? Как искривлена поверхность ртути? Как искривлена поверхность воды у переполненного стакана?

? Почему легкие тела, плавающие на поверхности воды, часто как бы прилипают к стенке сосуда или как бы притягиваются друг к другу?





## ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

### СВОЙСТВА ГАЗОВ.

**95. Давление атмосферы.** Окружающий нас воздух, имея вес, давит на поверхность земли, и это давление, согласно с законом Паскаля, передается во все стороны с одинаковой силой, так что каждый квадратный сантиметр поверхности каждого тела везде у поверхности земли подвергается со стороны воздуха одинаковой силе давления.

Затяните один конец открытой трубки резиновой перепонкой; эта перепонка, испытывая с обеих сторон одинаковое давление окружающего воздуха, будет плоской. Если вы будете ртом вдвухать в трубку воздух, давление внутри трубки станет больше, чем снаружи, и перепонка выпятится наружу. Если, наоборот, вы будете ртом втягивать в себя воздух из трубки, разреженный воздух в трубке будет давить слабее, чем снаружи, и перепонка вдавится внутрь.

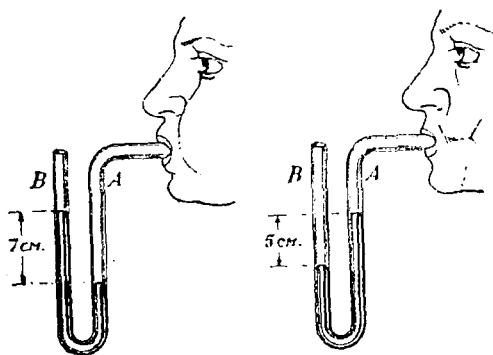


Рис. 176.

Увеличение и уменьшение атмосферного давления измеряется разностью высот столбиков ртути в трубке (открытый манометр).

Возьмите изогнутую трубку с ртутью. На поверхность ртути в обоих коленах давит воздух одинаково, и ртуть стоит на одинаковых уровнях. Если вы будете вздувать воздух в одно из колен, ртуть в нем опустится, а в другом колене поднимется (рис. 176). Разность уровней ртути может служить для измерения того излишка давления, которое вы производите ртом. Положим, что разность равна 7 см; следовательно, давление, которое вы производите ртом, равно давлению атмосферного воздуха с прибавкой давления слоя ртути в 7 см высотой.

Если вы будете втягивать в себя воздух из одного колена, то ртуть в этом колене установится выше, положим, на 5 см. При равновесии

теперь окажется, что давление воздуха внутри трубки А (рис. 176) с прибавком слоя ртути в 5 см уравнивает давление атмосферного воздуха, откуда заключаем, что давление внутри трубки А равно давлению атмосферного воздуха за вычетом давления слоя ртути в 5 см толщиной.

Если бы нам удалось совсем вытянуть воздух из колена А и тем совсем уничтожить давление над ртутью в этом колене, то ртуть должна была бы подняться на такую высоту, чтобы давление столба ртути уравнивало собою все давление атмосферного воздуха. Возьмем для этого большую колечную трубку с ртутью и будем вытягивать воздух из одного колена воздушным насосом (рис. 177). Разность между уровнями ртути получается около 75 см, если насос достаточно хорошо выкачивает почти весь воздух.

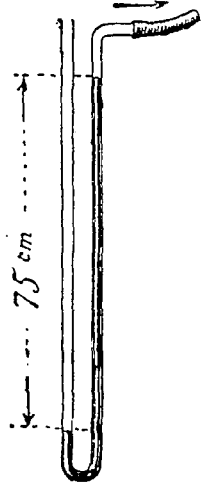


Рис. 177.

Подъем ртути в трубке, соединенной с воздушным насосом.

**69. Опыт Торичелли. Барометр.** Столб ртути, уравнивающий давление атмосферы, можно получить гораздо проще без всякого насоса, если произвести знаменитый опыт Торичелли. Наполним длинную запаянную с одного конца трубку ртутью и, зажав открытый конец пальцем, опустим в чашку с ртутью (рис. 178). Установив трубку вертикально, увидим, что в трубке будет стоять столб ртути около 76 см высоты, над которым будет пустое пространство — «торичеллиева пустота».

Этот столбик ртути, как это впервые понял Торичелли, уравнивается давлением атмосферного воздуха на поверхность ртути в чашке. Трубка с ртутью, изображенная на рис. 177, представляет собой простейший ртутный барометр, т. е. измеритель давления атмосферы.

Заметим, что высота столбика ртути получается не всегда 76 см; смотря по состоянию погоды, атмосферный воздух может давить и сильнее и слабее.<sup>1</sup> Высота в 76 см получается при среднем, нормальном, давлении атмосферы.

Воздух у поверхности земли давит, следовательно, с такой силой, как давил бы своей тяжестью слой ртути в 76 см высоты.

Нетрудно рассчитать силу давления атмосферы на каждый квадратный сантиметр поверхности. Эта сила давления должна равняться весу столба ртути, с основанием в 1 см<sup>2</sup>, высотой в 76 см. Объем этого столба равен 76 см<sup>3</sup>, а следовательно вес равен:

$$76 \text{ см}^3 \times 13,6 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 1033 \text{ г.}$$

<sup>1</sup> В Москве при изменениях погоды барометр очень редко опускается ниже 72 см и поднимается выше 78 см.

Итак, давление атмосферного воздуха равно

$$1033 \frac{\text{g}}{\text{cm}^2}, \text{ или приблизительно } 1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}.$$

Сила давления атмосферы на какую-нибудь площадь равна приблизительно столькоким килограммам, сколько квадратных сантиметров занимает площадь.

Например, на четвертушку бумаги, площадь которой около  $400 \text{ cm}^2$ , давле-

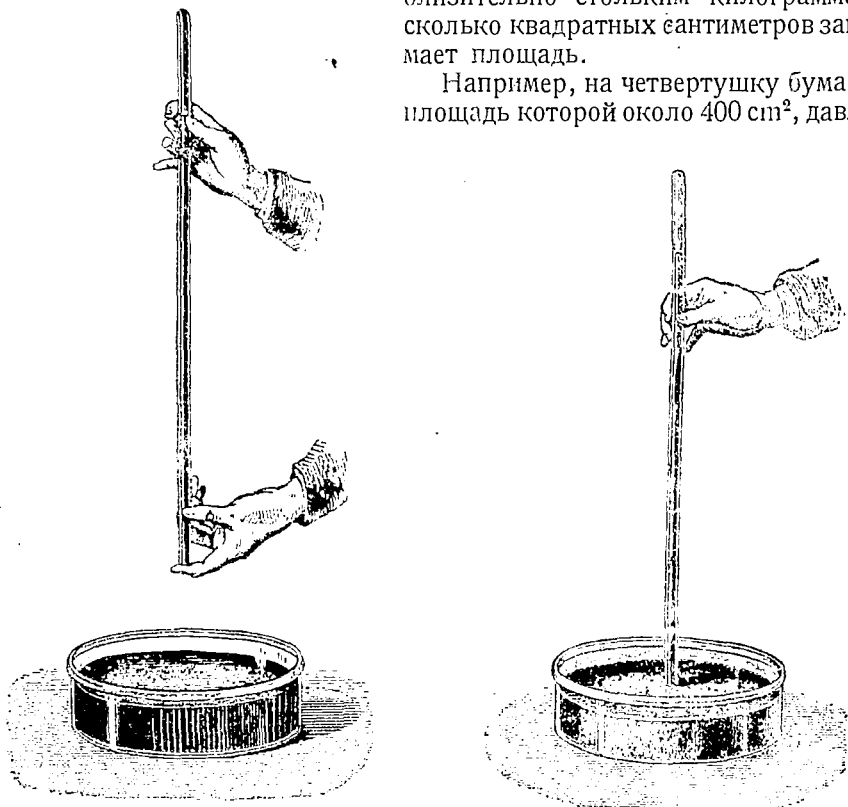


Рис. 178.  
Опыт Торичелли.

ние атмосферы равно  $400 \text{ kg}$ , т.-е. около 25 пудов. Понятно, что это давление не разрывает бумаги, так как уравновешивается таким же давлением с противоположной стороны.

Часто нормальное давление атмосферы принимается на единицу давления; говорят: «давление в паровом котле равно 8 атмосферам». Это значит, что давление пара на стенки котла в 8 раз больше давления атмосферного воздуха, т.-е. равно приблизительно  $8 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ .

? Рассчитайте приблизительно силу давления атмосферы на всю поверхность вашего тела. Чем уравновешивается это давление изнутри тела?

? Как будет устанавливаться уровень ртути в барометре, если трубку наклонять?  
 ? Опустите под воду горлышко бутылки, наполненной водой. Выльется ли вода из бутылки? Почему?  
 ? Выразите нормальное давление атмосферы в фунтах на квадратный дюйм.

*Отв. Прибл. 16 фунтов на кв. дюйм.*

**97. Водяной барометр. Высота атмосферного слоя.** Если вытягивать ртом воздух сразу из трех соединенных трубок (рис. 180,) концы которых погружены в различные жидкости (например: масло, вода и ртуть), то высоты столбиков жидкостей получаются обратно пропорциональные удельным весам жидкостей, высота столбика воды будет приблизительно составлять 0,9 высоты столбика масла, а столбик ртути будет в 13,6 раз ниже столбика воды.

Если в опыте Торичелли взять воду вместо ртути, то высота столба воды, уравновешивающего давление атмосферы, должна получиться в 13,6 раз больше, т.-е.

$$76 \text{ см} \times 13,6 = 1033 \text{ см} = 10,33 \text{ м.}$$

Итак, высота столба водяного барометра получается слишком в 10 метров, т.-е. в высоту большого двухэтажного дома.

Опыт Торичелли с различными жидкостями (водой, вином, маслом) производил впервые Паскаль.

Мы знаем, что окружающий нас воздух приблизительно в 770 раз легче воды. Столб воды в 10 метров высотой уравновешивает давление воздуха. Нельзя ли отсюда заключить, что слой воздуха над поверхностью земли в 770 раз выше 10 метров, т.-е. равен 7700 м или 7,7 км? Такое заключение было бы правильным, если бы воздух на всех высотах имел одинаковый удельный вес. Но нетрудно сообразить, что это не так: чем ниже слой воздуха, тем сильнее он сжат весом слоев, лежащих выше него, тем больше должен быть удельный вес воздуха. Чем выше слой воздуха, тем он реже. Ясно, что действительная высота слоя атмосферы над землей должна быть много больше, чем мы высчитали. Действительно, на высоте



Рис. 179.

Евангелиста Торичелли (1608 — 1647) — итальянский математик и физик. Наиболее выдающийся из учеников Галилея.

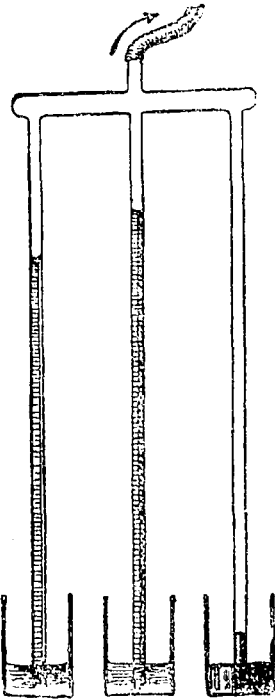


Рис. 180.

Столбики воды, масла и ртути, уравновешивающие одинаковое давление

10 км воздух еще есть (такой высоты достигли воздухоплаватели на аэростатах и аэропланах), но воздух там с лишком втрое реже, чем у земли.



Водяной барометр, устроенный Паскалем в Руане в 1646 году.

Наблюдения над падающими звездами, т.-е. над метеорными камнями, которые, попадая из мирового пространства в земную атмосферу, раскаляются и светятся, обнаруживают присутствие атмосферы на высоте до 300 км над землей.

**98. Барометры и их применения.** Наиболее точные измерения атмосферного давления делаются при помощи ртутных барометров, которые представляют собой различные видоизменения трубки Торичелли с приспособлениями для возможно точного измерения разности уровней ртути.

Менее точны, но зато более удобны металлические барометры, называемые анероидами (рис. 182 и 183). Главную часть анероида составляет металлическая коробочка, из которой выкачан воздух. Когда давление окружающего воздуха изменяется, крышка коробочки то больше, то меньше вдавливается. С крышкой, при помощи рычажков, соединена стрелка, которая при изгибании крышки передвигается по шкале. На шкале отмечены высоты барометрических столбов ртути, соответствующие разным давлениям атмосферы, и, кроме того, часто делаются еще надписи: «дождь», «переменно», «ясно» и проч. Меньшим давлениям соответствует более ненастная погода.

По уменьшению давления атмосферы можно иногда предугадать наступление ненастья

или, наоборот, улучшения погоды за несколько часов, даже за сутки, но для сколько-нибудь достоверного предсказания погоды далеко недостаточно наблюдения одного только изменения атмосферного давления.

Барометры употребляются для определения высоты подъемов при восхождениях на горы и при воздухоплавании. Ясно, что, по мере

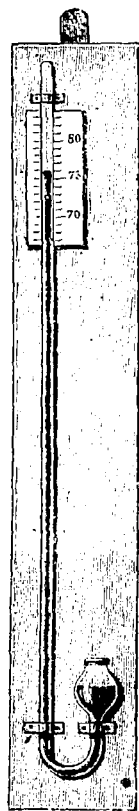


Рис. 181

Одна из простейших форм ртутного барометра

подъема над поверхностью земли, давление должно уменьшаться. Паскаль первый предусмотрел это явление и проверил его на опыте, измеряя барометрические столбы ртути у поверхности земли и на высоких башнях Парижа.

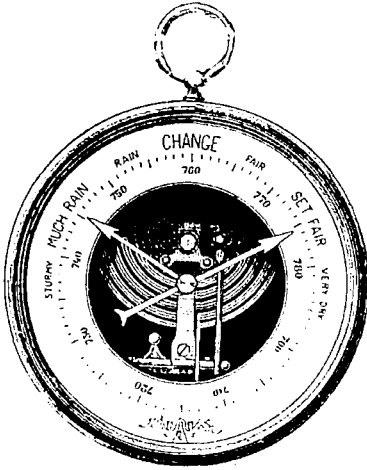


Рис. 182.  
Металлический барометр.

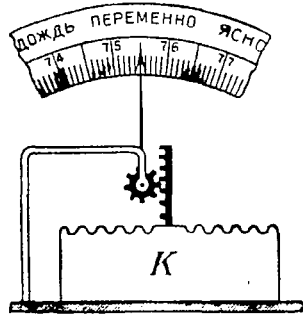


Рис. 183.  
Схема металлического барометра.

В нижних слоях атмосферы, при подъеме на 10 метр. (точнее 10,5 м), барометрический столб понижается на 1 мм. В более высоких слоях давление по мере подъема изменяется медленнее. На высоте около 5 км (приблизительно высота вершины Казбека) давление равно половине нормального, т.-е. соответствует 38 см ртутного столба.

### 99. Воздушный насос.

Для выкачивания воздуха существуют весьма разнообразные приборы, из которых рассмотрим один очень несовершенный, но зато очень простой. Цилиндр с поршнем (рис. 184) соединяется при помощи крана то с пространством, из которого удаляют воздух, то с наружным воздухом. Соединив краном цилиндр с пространством под колоколом, вытягиваем поршень; часть воздуха из-под колокола переходит в цилиндр. Поворотом крана запираем разряженный воздух под колоколом и соединяем цилиндр с наружным воздухом. Вдвигая

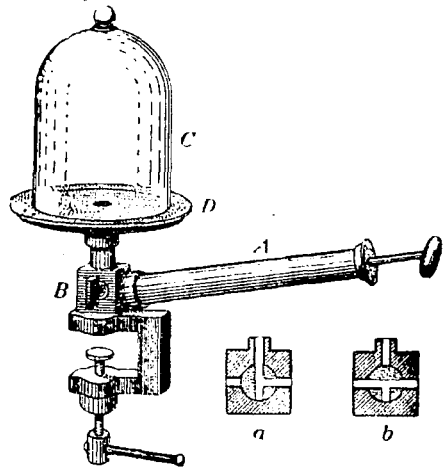


Рис. 184.  
Воздушный насос. а) Положение крана при выдвигании поршня. б) Положение крана при вдвижении поршня.

поршень, удаляем воздух из цилиндра. Теперь, опять сообщая цилиндр с колоколом и выдвигая поршень, удалим еще часть воздуха из-под колокола и т. д. Повторяя движения поршня, можно достигнуть того, что под колоколом останется лишь  $\frac{1}{50}$  и даже  $\frac{1}{100}$  того воздуха который был там при сообщении с атмосферой.

Подобного устройства насос был сделан первым изобретателем его Герике в середине XVII столетия. В настоящее время устраиваются гораздо более удобные и совершенные насосы. Некоторые насосы позволяют быстро выкачивать воздух из какого-нибудь замкнутого пространства так, что остается менее  $\frac{1}{1000000}$  воздуха, бывшего при сообщении с атмосферой.



Рис. 185.

Оттс фон-Герике (1602 — 1686). Бургмистр г. Магдебурга. Изобретатель воздушного насоса и одной из первых электрических машин.

### 100. Опыты с воздушным насосом. I. Манометр. Поместим

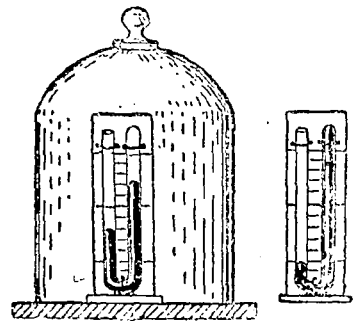


Рис. 186.

Ртутный манометр.

под колоколом насоса изогнутую трубку со ртутью (рис. 186). Ртуть стоит в закрытом конце трубки доверху, удерживаемая давлением воздуха на поверхность ртути в открытом колене. Когда, по мере удаления воздуха из-под колокола, давление делается меньше, чем давление столбика ртути в закрытом колене, уровни ртути в обоих коленах будут уравниваться. Разность между уровнями будет служить мерою давления остающегося воздуха. Если бы воздух был удален совершенно, уровни ртути установились бы на одной высоте в обоих коленах.

Подобные приборы для измерения давления называются **манометрами**. Изогнутая трубка со ртутью, которой мы пользовались для измерения давления воздуха, производимого ртом (рис. 176 на стр. 134), тоже представляла собой манометр.

II. Наложим на платформочку насоса вместо колокола цилиндр, верхнее отверстие которого затянуто пузырем (рис. 187), пергаментной бумагой или пластинкой тонкого стекла. По мере выкачивания воздуха пузырь будет продавливаться и, наконец, с треском лопнет.

Подобное же явление происходит, когда вы закрываете свой рот кленовым листом и быстро вдыхаете в себя воздух: лист при этом лопаается с громким щелчком (рис. 188).

III. Магдебургские полушария. Сложим два металлических полушария (рис. 189), смазав их края салом, и, выкачав из них воздух, закроем кран. Потребуется очень большое усилие, чтобы разнять полушария, преодолевая давление окружающего воздуха, которое теперь не уравновешивается давлением воздуха изнутри. Такие полушария принято называть «магдебургскими» по имени города Магдебурга, где Герике впервые производил этот опыт в больших размерах (рис. 190).

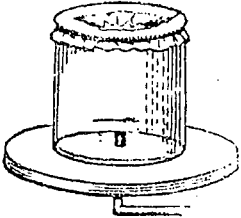


Рис. 187.

Разрыв перепонки силою атмосферного давления.



Рис. 188.

Лист лопается если быстро вдохнуть воздух.

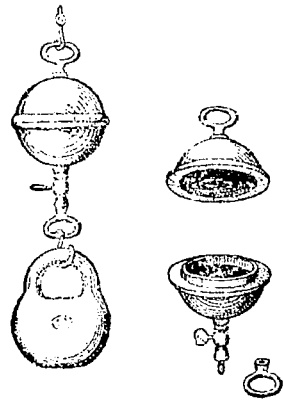


Рис. 189.

Магдебургские полушария.

- ? Какое действие производит давление атмосферы, когда мы пьем из стакана?  
 ? Как можно пить через соломинку?  
 ? Если опрокинуть рюмку наполненную водой, закрыв ее предварительно бумагой, вода не проливается (рис. 191). Почему?

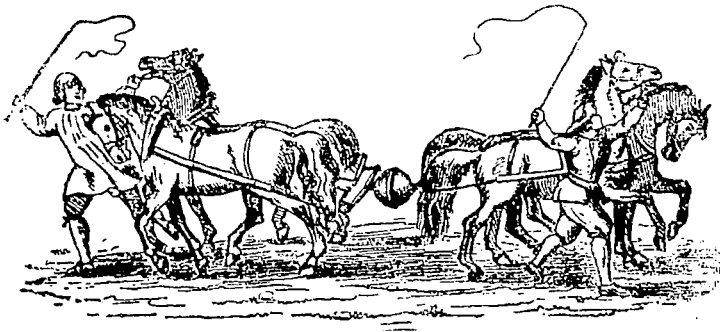


Рис. 190.

Опыт с полушариями в г. Магдебурге в 1654 году

? Если на поверхности воды зажечь кусочек бумаги, покрыв его стаканом, то вода вбирается внутрь стакана (рис. 192). Почему?

? Каковы давления в камерах I и II (рис. 193), если в соединенных с ними манометрах наблюдаются указанные на рисунке разности уровней ртути? Давление атмосферы в открытых коленах манометров предполагается равным нормальное.

? Если сжечь внутри графина небольшой кусок бумаги, потом закрыть горлышко облупленным крутым яйцом, это яйцо втягивается внутрь графина (рис. 194). Почему?



? Если вдунуть воздух через правую трубку в сосуд, изображенный на рис. 195, вода вытекает струей из левой трубки. Почему?

? Вычислите приблизительно силу, требующуюся для разрыва магдебургских полушарий, принимая во внимание, что эта сила должна преодолеть силу давления атмосферы на площадь круга, по которому полушария соприкасаются.

? Какое приблизительно усилие требуется, чтобы оторвать колокол насоса от «тарелки», на которой он стоит, когда из-под колокола выкачан воздух?

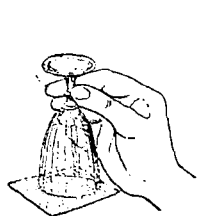


Рис. 191.



Рис. 192.

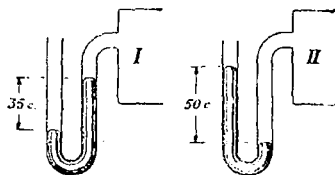


Рис. 193.

**101. Расчет величины давления воздуха.** Представьте себе, что при нормальном атмосферном давлении уровни ртути в различных трубках устанавливаются, как показано на рис. 196 (трубки предполагаются настолько широкими, что капиллярность в расчет не



Рис. 194.

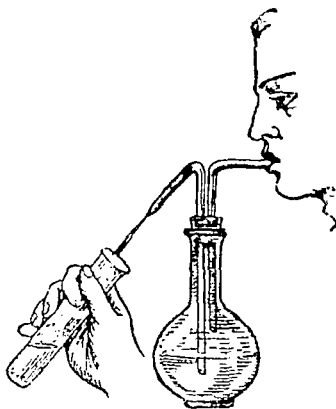


Рис. 195.

принимается). Нетрудно рассчитать, как велико давление воздуха (или другого газа) в каждой из трубок над ртутью. В I трубке воздух, очевидно, давит с такой же силой, как и атмосферный, так как ртуть внутри трубки стоит на том же уровне, как и в сосуде. Во II трубке давление над ртутью равно нулю: там — «торичеллиева пустота». В III трубке воздух над ртутью давит с такой же силой, как столб ртути в 36 см высоты, так как давление этого воздуха плюс давление столба ртути в 40 см как-раз уравнивают давление атмосферы:  $36 + 40 = 76$  см. Наконец, в IV трубке давление воздуха уравнивает давление атмосферы да еще давление слоя ртути в 20 см.

Следовательно, давление воздуха равно давлению столба ртути в  $76 \text{ см} + 20 \text{ см}$ , т.е.  $96 \text{ см}$ .

На поверхности ртути в каждой трубке уравниваются два давления: давление воздуха вниз и давление столба ртути, которую атмосферное давление прокалывает вверх. Давление воздуха на ртуть и стенки трубки равно тому давлению, которое ртуть оказывает на воздух.

? Как следует производить расчеты давления в случаях, когда вместо ртути имеется какая-нибудь другая жидкость, например, вода?

**102. Сифон.** Пусть имеются трубки (рис. 197), наполненные ртутью и опущенные открытыми концами в ртуть, как в опыте Торичелли, только столбы ртути в трубках пусть будут меньше барометрических. Пусть ртуть в обеих трубках стоит до верха: в одной на  $20 \text{ см}$ , а в другой на  $40 \text{ см}$  выше, чем в сосуде. Давления ртути на стенки в верхних частях трубок будут равны: в первой трубке  $76 - 20 = 56 \text{ см}$ , а во второй трубке  $76 - 40 = 36 \text{ см}$ . Представьте себе, что эти сосуды поставлены так, что верхние концы трубок приходятся на одном уровне, и что концы эти соединены между собой (рис. 193). Давление ртути в первой трубке будет больше, чем во второй, и потому ртуть должна переливаться из первого сосуда (верхнего) во второй (нижний).

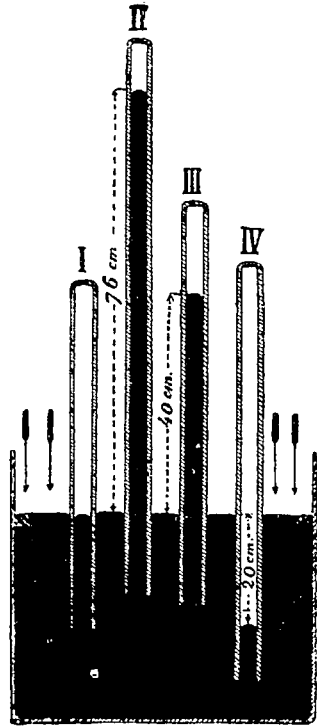
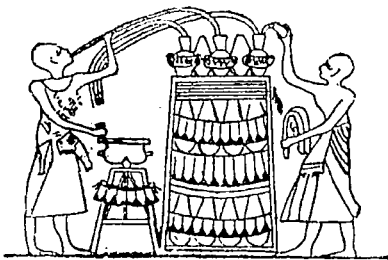


Рис. 196.



Древне-египетский рисунок сифонов для переливания вина.

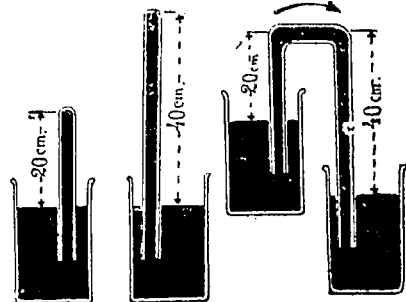


Рис. 197

Рис. 198.

Соединение наших трубок, по которому переливается ртуть, представляет собой сифон. Подобными сифонами часто пользуются для переливания жидкостей (рис. 199 и 200).

Если нижний сосуд отнять, сифон не перестает действовать; жидкость льется из открытой трубки.

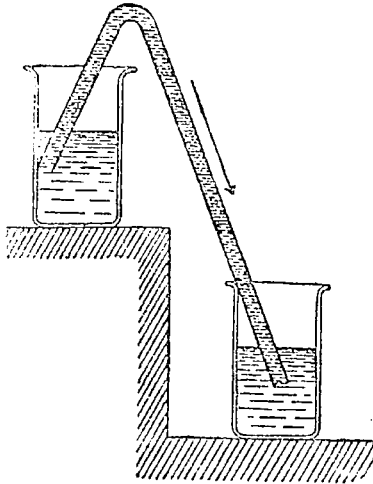


Рис. 199.

Простой сифон, по которому переливается вода

? Наполните водой отрезок каучуковой трубки и погрузите ее концами в два стакана с водой. Поднимая и опуская стаканы, наблюдайте, при каких положениях уровень воды переливается из одного стакана в другой.

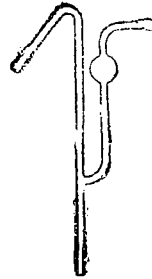


Рис. 200.

Сифон с боковой трубкой. Для наполнения сифона короткий конец погружается в жидкость, нижнее отверстие длинного конца закрывается, а из боковой трубки высасывается воздух.

? Докажите, что высота подъема жидкости в сифоне над уровнем в верхнем сосуде не может быть больше высоты барометрического столба.

**103. Сжимаемость газов. Закон Бойля-Марриотта.** Существенное различие между жидкостями и газами заключается в том, что жидкости почти не изменяют своего объема даже при значительных давлениях, газы же заметно уменьшаются в объеме при увеличении давления.

Нальем в изогнутую трубку воды и ртути так, чтобы столбик воды был заперт ртутью в коротком закрытом колене (рис. 201). Будем вливать в открытое колено ртути. Давление столба ртути будет передаваться воде, но даже при значительных разностях уровней ртути мы не заметим, что столбик воды сжался.

Не то будет, если вместо воды в закрытом колене трубки будет воздух или другой какой-нибудь газ. По мере подливания ртути в открытое колено, в закрытом колене уровень ртути также будет подниматься, заметно сдавливая объем столбика газа.

В такой трубке мы можем, измеряя разность уровней ртути, измерять давления, под которыми находится газ, а также можем измерять и изменения объема, занимаемого газом.

Смерим высоту столбика воздуха, когда ртуть стоит на одном уровне в обоих коленах, когда, следовательно, этот воздух находится под атмосферным давлением (рис. 202). Пусть высота этого столбика равна 48 см, а атмосферное давление, которое мы смерили барометром, в это время равно 75 см. Будем подливать ртуть в открытое колено

до тех пор, пока разность уровней ртути не получится в 75 см. При такой разности уровней воздух будет уже под давлением в д в о е большим, под давлением в 2 а т м о с ф е р ы, так как теперь это давление уравнивает атмосферу да еще 75 см ртути. Оказывается, что при этом длина столбика воздуха сократится как-раз в д в о е, т.е. будет всего в 24 см.

Если позволяет длина трубки, можно еще подлить ртути в открытое колено так, чтобы разность уровней получилась в 150 см. Тогда увидим, что под давлением в т р о е большим объем воздуха сократится в т р о е.

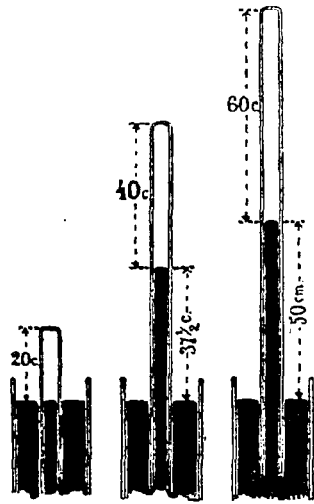
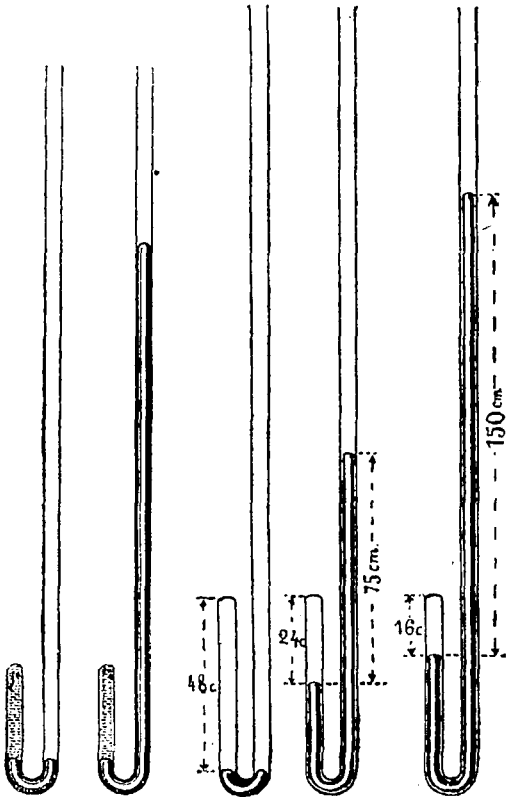


Рис. 201.

Вода не сжимается под давлением столба ртути.

Рис. 202.

Объем газа уменьшается во столько раз, во сколько раз увеличивается давление.

Рис. 203.

Объем газа увеличивается во столько раз, во сколько раз уменьшается давление.

Итак, мы видим, что объем газа уменьшается во столько раз, во сколько раз увеличивается давление.

Постараемся теперь поставить опыт так, чтобы давление уменьшалось, а объем газа увеличивался. Для этого возьмем длинную трубку, опустим ее в глубокий сосуд с ртутью (рис. 203), при чем пусть в верхней части остался столбик воздуха, например, в 20 см при атмосферном давлении. Если теперь будем выдвигать трубку вверх до тех пор, пока не выдвинется столб ртути в 37,5 см ( $\frac{1}{2}$  атмосферы), мы увидим, что столб воздуха будет при этом в д в о е длиннее

(40 см). Объем увеличился во столько раз, во сколько раз уменьшилось давление.

Выдвигая трубку еще, остановимся, когда выдвинется столб ртути в 50 см, когда, следовательно, давление воздуха будет равно 25 см ( $\frac{1}{3}$  атмосферы). В это время объем воздуха увеличится втрое против первоначального, т.е. объем увеличивается во столько раз, во сколько раз уменьшено давление.



Рис. 204.

Давление газа в закрытой трубке равно давлению атмосферы, за вычетом давления столба ртути в 40 см.

Нетрудно устроить такой прибор, в котором некоторое количество газа может подвергаться различным давлениям, и большим атмосферного и меньшим, при чем легко измерять и получаемые давления, и изменения объема газа. Для этого две стеклянные трубки (рис. 204), одна открытая, другая с краном наверху, соединяются гибкой трубкой из каучука. Влив в трубки ртуть и закрыв кран так, чтобы в трубке с краном осталось некоторое количество воздуха, мы можем теперь, поднимая и опуская открытую трубку, получать различные давления, которые измеряются по разности уровней ртути. Измеряя при различных давлениях различные получающиеся объемы, мы всегда будем видеть, что объем газа изменяется обратно пропорционально изменению давления (**закон Бойля-Мариотта**).

Этот закон, носящий название закона Бойля-Мариотта,<sup>1</sup> справедлив только тогда, когда температура газа остается неизменной. Если нагревать газ, оставляя то же давление, то газ увеличивается в объеме. Если же хотим вернуть нагретый газ к первоначальному объему, необходимо увеличить давление.

Заметим, что при очень больших давлениях, в несколько десятков и сотен атмосфер, газы уменьшаются в объеме заметно иначе, чем следует по закону Бойля-Мариотта.

Закон Бойля-Мариотта нехитро выразить в алгебраической форме. Если будем обозначать объемы некоторой массы газа под разными давлениями буквами  $v_1$  и  $v_2$ , а соответствующие им давления буквами  $p_1$  и  $p_2$ , то по закону Бойля-Мариотта будем иметь:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{p_2}{p_1}.$$

В каких единицах выражены объемы и в каких единицах давления — безразлично, необходимо только, чтобы для обоих состояний газа единицы эти были одинаковы.

<sup>1</sup> Закон назван именами двух ученых, которые почти в одно время, не зная друг про друга, открыли этот закон. Бойль (1626 — 1691) — англичанин, Мариотт (1620 — 1684) — француз.

Вышенаписанную формулу можно написать еще в таком виде:

$$v_1 \cdot p_1 = v_2 \cdot p_2$$

и согласно с этим закон Бойля-Мариотта можно выражать так: произведение объема данной массы газа на давление остается неизменным при постоянной температуре.

Под давлением можно одинаково подразумевать как то давление, которое испытывает газ со стороны стенок сосуда и всех преград, которые его окружают, так и то давление, которое сам газ производит на стенки сосуда вследствие своей упругости. При равновесии, понятно, давление газа на стенки всегда равно давлению стенок на газ.

Нетрудно сообразить, что закон Бойля-Мариотта можно выразить и в таких словах: удельный вес (или плот-



Рис. 205.

Роберт Бойль (1626 — 1691), английский физик и химик.

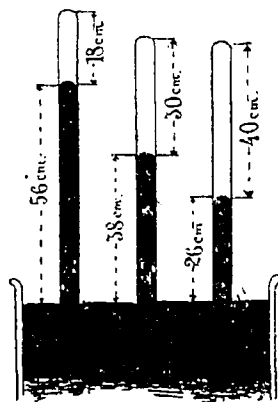


Рис. 206.

ность) газа изменяется прямо пропорционально давлению.

? На прилагаемом рисунке (рис. 206) изображены длинные трубки, опущенные в глубокий сосуд с ртутью. Длины выступающих столбиков ртути и длины столбиков газа над ртутью обозначены в сантиметрах. Давление наружного воздуха предполагается нормальным.

Насколько нужно поднять каждую из трубок, чтобы объемы газа увеличились вдвое?

Насколько нужно опустить каждую из трубок, чтобы объемы газа уменьшились вдвое?

**104. Удельные веса газов.** Одно и то же количество газа по весу может занимать различные объемы, смотря по тому, под каким давлением этот газ находится. Следовательно, удельный вес одного и того же газа бывает различный при различных давлениях. В начале книги (§ 29) мы описывали определение удельного веса «комнатного» воздуха, т.-е. воздуха под давлением, близким к нормальному; этот

удельный вес получился около  $0,0013 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ . Подобным образом можно определять удельные веса и других газов.

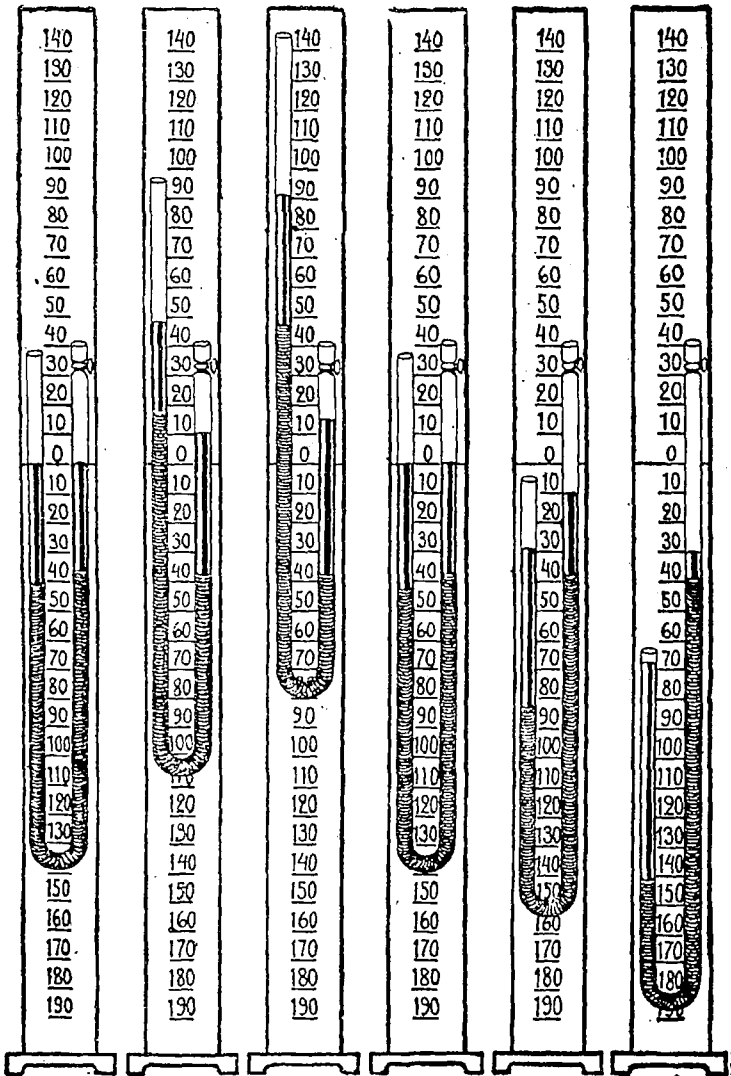


Рис. 207.

Проследите изменение объема газа в закрытом колене трубки. Согласно ли они с законом Бойля-Мариотта? (Атмосферное давление предполагается нормальным. Цифры выражают сантиметры.)

Представьте себе, что при нормальном давлении взяты одинаковые объемы различных газов, например, воздуха и водорода. Вес воздуха будет в несколько раз (приблизительно в 14 раз)

больше веса водорода. Если теперь давление будет увеличиваться или уменьшаться одинаково для обоих газов, так как для обоих газов изменение объема будет происходить по закону Бойля-Мариотта.

Следовательно, хотя удельные веса обоих газов и будут изменяться, но отношение удельных весов будет оставаться одно и то же: при всяких одинаковых давлениях воздух будет тяжелее водорода в неизменное число раз.

Объемы газов могут еще изменяться от нагревания, при чем, как подробнее укажем ниже, <sup>1</sup> тепловое расширение различных газов одинаково. Следовательно, если температура газов изменяется одинаково, то и объемы газов и удельные веса изменяются также одинаково.

Различные газы удобно характеризовать, указывая их плотность относительно воздуха, т.-е. число, показывающее отношение удельного веса газа к удельному весу воздуха при одинаковых условиях — при одинаковых давлениях и при одинаковой температуре.

**Плотности газов относительно воздуха.**

Водород . . . . .	0,07 ( $\frac{1}{14}$ )
Азот . . . . .	0,97
<b>Воздух . . . . .</b>	<b>1</b>
Кислород . . . . .	1,11
Углекислый газ . . . . .	1,53
Хлор . . . . .	2,5

Удельный вес воздуха при нормальном давлении и при температуре 0°:

$$0,0013 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}, \text{ точнее } 0,001293 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

1 литр воздуха при нормальном давлении и при 0° весит 1,3 г.

? Для воздушного корабля требуется 18 000 куб. метров водорода при атмосферном давлении. Как велик вес этого количества водорода?

? Какой объем занимают 5 килограммов хлора при атмосферном давлении?

Какой объем занимают 5 килограммов хлора при давлении в 100 атмосфер? Как велика при этом плотность хлора относительно воздуха? Как велик удельный вес?

**105. Некоторые приборы, основанные на свойствах газов.**

1. Пипетка и ливер. Если опустим в воду нижний конец трубки, открытой с обоих концов, п, зажав пальцем верхний конец, вынем трубку из воды, то часть воды удерживается в трубке, поддерживаемая давлением окружающего воздуха (рис. 208). Отверстие нижнего конца не должно быть широко, чтобы поверхностное натяжение воды не пропускало вверх пузырьков воздуха. Если отнять палец от верхнего конца, вода выливается. Подобное явление происходит

<sup>1</sup> В следующей главе.



при переливании жидкости при помощи пипеток, которые отличаются от простой трубки только тем, что посредине имеют расширение для вмещения более значительного количества жидкости. Большие пипетки, употребляемые для переливания вина, керосина и т. п., носят названия ливеров.

II. Водяные насосы. Для выкачивания воды из колодцев и различных водоемов употребляются различные насосы. По рисунку (рис. 209) нетрудно понять, как действуют такие насосы, нижние трубы которых надо представить опущенными

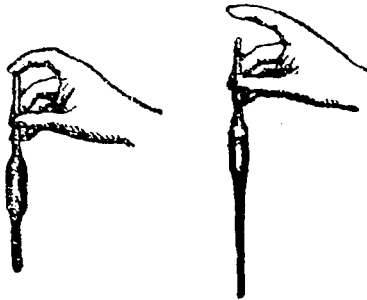
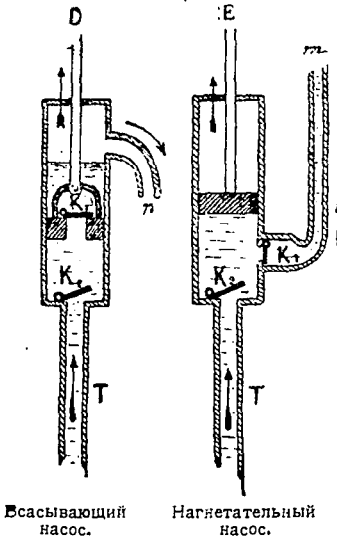


Рис. 208.  
Пипетка.



Всасывающий насос. Нагнетательный насос.  
Рис. 209.  
Водяные насосы.

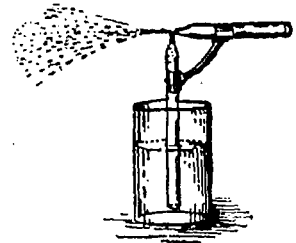


Рис. 210.  
Пульворизатор.

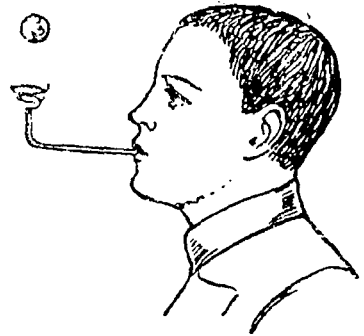


Рис. 211.  
Легкий шарик держится в струе воздуха.

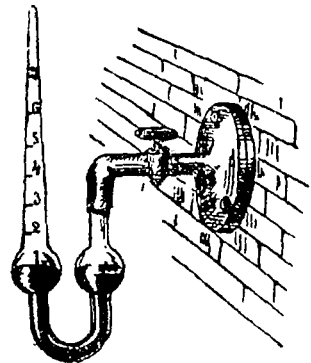


Рис. 212.  
Закрытый ртутный манометр.  
Цифры выражают величины давлений в атмосферах.

в водоем. При подъеме поршней сила атмосферного давления вгоняет воду под поршни, открывая нижние клапаны  $K_0$ . При опускании поршней клапаны  $K_2$  закрываются, и вода проталкивается вверх, открывая клапаны  $K_1$ .

Насосы первого типа, с клапаном в поршне, носят название в с а с ы в а ю щ и х, насосы второго типа — н а г н е т а т е л ь н ы х.

III. Пульверизатор. Если опустить в стакан с водой недлинную вертикальную трубку (рис. 210) и над концом этой трубки дуть по горизонтальному направлению через другую трубку, то, вследствие уменьшения давления в струе движущегося воздуха, вода по вертикальной трубке поднимается и, если достигнет верха трубки, попадет в струю воздуха и разлетится мелкими брызгами. Так устраиваются различные п у л ь в е р и з а т о р ы.

Явление уменьшения давления в струе движущегося воздуха можно просто наблюдать так: сверните небольшую трубку из папиросной бумаги; если внутри такой трубки продуть воздух через стеклянную трубку, то бумажная трубка с ж и м а е т с я.

Уменьшением давления в струе воздуха можно объяснить действие игрушки, состоящей из шарика (рис. 211), устойчиво держащегося в струе воздуха.

IV. З а к р ы т ы й р т у т ь н ы й м а н о м е т р. Для измерения давлений, больших атмосферного, употребляются иногда такие ртутные манометры, в которых измеряемое давление сжимает газ в запаянной трубке. По тому, во сколько раз уменьшается объем воздуха, можно судить, во сколько раз давление больше, чем атмосферное. Если давление равно двум, трем и т. д. атмосферам, то, согласно с законом Бойля-Мариотта, объем воздуха уменьшится вдвое, втрое и т. д. Чтобы при больших давлениях деления манометра не приходилось делать слишком частыми, трубку делают кверху уже (рис. 212).

V. М е т а л л и ч е с к и й м а н о м е т р. На практике очень часто употребляются металлические манометры разных систем. Изображенный на рисунке (рис. 213) манометр состоит из металлической кривой трубки, в которую пропускается газ или пар, давление которого измеряется. Давление газа более или менее выпрямляет эту трубку, и стрелка, соединенная с трубкой, передвигается по шкале, на которой отмечены величины давлений.

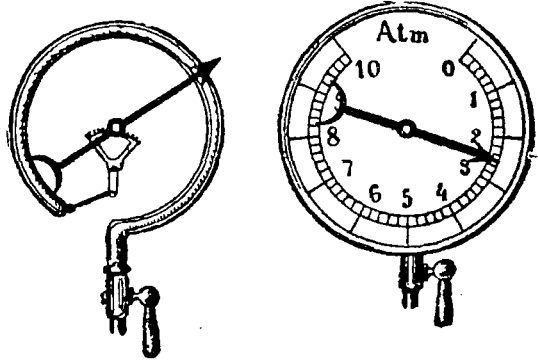
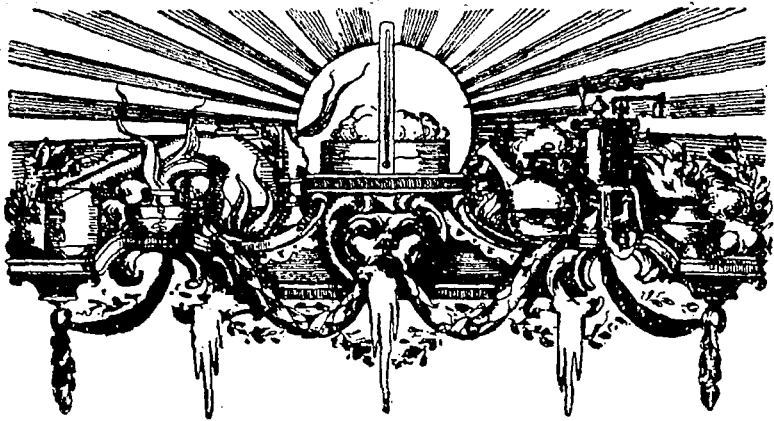


Рис. 213.  
Металлический манометр.



## ГЛАВА ПЯТАЯ.

### ТЕПЛОТА.

**юб. Тепловое расширение твердых тел.** Сделаем несколько дополнений к тому, что мы говорили о расширении тел при нагревании в начале этой книги (§§ 22 — 25).

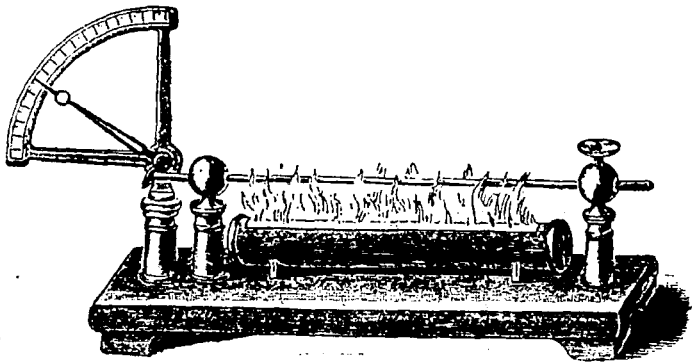


Рис. 214.

Пирометр.

Правый конец стержня закреплен, а левый при расширении передвигает указатель.

Во-первых, заметим, что различные твердые вещества расширяются различно. Это можно проследить на приборе, называемом пирометром.<sup>1</sup>

В этом приборе (рис. 214) нагреваемый стержень одним концом прочно закрепляется, а другим упирается в указатель, позволяющий подмечать и измерять самые незначительные удлинения стержня,

<sup>1</sup> От греческого πῦρ (пир) — огонь,

Одинаково нагревая на пирометре стержни одинаковых размеров, но из различных материалов, заметим, что стержни удлиняются различно.

При точных измерениях обыкновенно измеряются удлинения стержней при нагревании от  $0^{\circ}\text{C}$  до  $100^{\circ}\text{C}$ . Здесь приведена таблица (рис. 215), представляющая приросты длины различных стержней в 10 м длины при нагревании от  $0^{\circ}\text{C}$  до  $100^{\circ}\text{C}$ . Можно

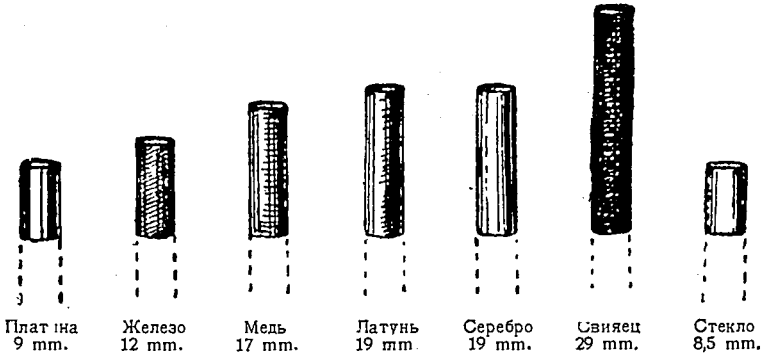


Рис. 215.

Величины приростов стержней в 10 м длины при нагревании от  $0^{\circ}$  до  $100^{\circ}$ .

считать, что каждый метр длины при нагревании на  $1^{\circ}\text{C}$  увеличивается на  $\frac{1}{1000}$  часть длины изображенных отрезков.

Заметим еще, что расширение твердых тел при нагревании и обратное сжатие при охлаждении дает огромную силу.

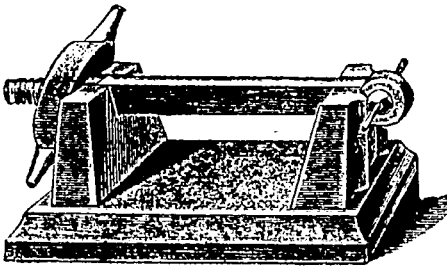


Рис. 216.

При охлаждении бруска болт, вставленный в правом конце, ломается.

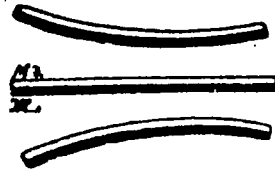


Рис. 217.

Пластинка, склепанная из железа и меди, изгибается при нагревании и охлаждении.

Если разогреть железный брусок и вложить его в прочный станок (рис. 216), то при охлаждении бруска легко ломается удерживающий его небольшой чугунный и даже стальной болт.

? Вычислите, насколько приблизительно различается длина железнодорожного рельса в зимний мороз и в летнюю жару.

? Если склепать вдоль две пластинки, железную и медную (рис. 217), то при нагревании и при охлаждении склепанная пластинка изгибается. Почему? В какую сторону?

? Почему стеклянные стаканы иногда лопаются при вливании горячей воды? Почему это чаще происходит со стаканами из толстого стекла?

**107. Тепловое расширение жидкостей.** Если нагревать жидкость, заключенную в сосуде, и наблюдать, как мы это делали раньше, подъем



Рис. 218.

? Почему шину натягивают на колесо в нагретом виде?

уровня жидкости при нагревании, то наблюдаемый прирост объема жидкости не представляет собой истинного прироста объема, так как сосуд, нагреваясь одновременно с жидкостью, тоже расширяется и делается более емким. Если бы сосуд не расширялся, очевидно, прирост объема наблюдался бы больший.

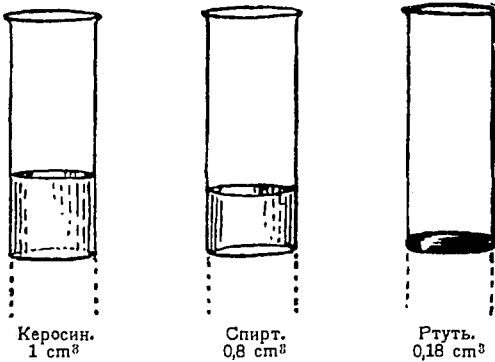


Рис. 219.

Величины прироста объема 1 литра жидкости при нагревании от  $0^\circ$  до  $1^\circ$ .

Кажущееся тепловое расширение жидкостей, наблюдаемое в расширяющихся сосудах, меньше истинного расширения.

Если взять по 1 литру разных жидкостей, то при нагревании на  $1^\circ\text{C}$  их объемы увеличатся приблизительно на величины, изображенные на рис. 219, где представлены увеличения объема жидкостей в шейках сосудов с поперечным сечением в  $1\text{ см}^2$ .

В стеклянных сосудах кажущиеся увеличения объемов дали бы подъемы уровня приблизительно на  $0,5\text{ мм}$  ниже изображенных,

**108. Тепловое расширение газов.** Тепловое расширение газов настолько значительно, что можно не различать истинного расширения от кажущегося, так как расширение сосудов ничтожно в сравнении с расширением газа.

Чтобы приблизительно измерить тепловое расширение воздуха, погрузим пробирную трубку в кипящую воду и подождем, когда весь воздух нагреется до  $100^\circ$  и перестанет расширяться, выходя по трубке  $T$  в стакан с водой. Если теперь предоставить этому воздуху охлаждаться не вынимая трубки  $T$  из воды, то вода будет входить в трубку. Охладив пробирку до  $0^\circ$ , увидим, что приблизительно  $\frac{1}{4}$  пробирки наполнится водой, а  $\frac{3}{4}$  будет занимать сжатый воздух.

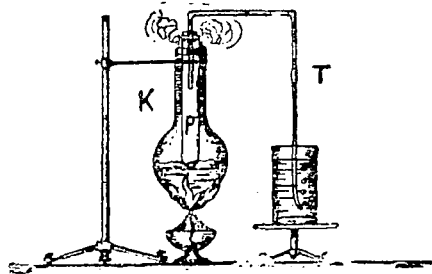


Рис. 220.

Нагревание газа в кипящей воде.

Следовательно, при нагревании от  $0^\circ$  до  $100^\circ$  воздух увеличивается в объеме приблизительно на  $\frac{1}{3}$  своего объема при  $0^\circ$ .

Повторяя опыт с каким угодно газом вместо воздуха, будем наблюдать совершенно такое же явление.

Первые точные исследования теплового расширения воздуха и других газов были произведены Гэ-Люссаком, который обнаружил закон:

Различные газы расширяются при нагревании почти одинаково, при чем, если давление остается неизменным, объем газа при нагревании на  $1^\circ\text{C}$  увеличивается на



Рис. 222.

Гэ-Люссак (1778 — 1850), французский химик.



Рис. 221.

Величина прироста объема одного литра газа при нагревании от  $0^\circ$  до  $1^\circ$ .

$\frac{1}{273}$  часть (0,00367) объема при  $0^\circ\text{C}$  (закон Гэ-Люссака).

Представим себе, что объем газа при нагревании увеличился во сколько-нибудь раз. Ясно, что и при новой температуре можно получить прежний объем, если сжать газ, увеличив давление. Чтобы вернуться к прежнему объему, давление, согласно закону Бойля-Мариотта, придется увеличить во столько раз, во сколько раз был увеличен объем. Отсюда следует, что если газу не позволят увеличиться в объеме, то по мере нагревания будет увеличиваться давление

газа на стенки сосуда и притом во столько же раз, во сколько увеличивался бы объем, если бы давление не изменялось. Следовательно, если нагревать неизменный объем газа от  $0^\circ$ , то давление увеличивается на  $\frac{1}{273}$  часть своей первоначальной величины при нагревании на каждый градус.

Закон Гэ-Люссака можно видоизменить так: при нагревании на  $1^\circ\text{C}$  неизменного объема газа его давление увеличивается на  $\frac{1}{273}$  часть того давления, которое соответствует температуре  $0^\circ\text{C}$ .

- ? Насколько надо нагреть газ, взятый при  $0^\circ$ , чтобы объем его увеличился вдвое?
- ? Газ, при неизменном объеме, нагревается от  $0^\circ$  до  $91^\circ$ . Как изменяется давление?
- ? Если давление остается неизменным, как изменяется удельный вес газа от изменения температуры?

**109. Распространение теплоты.** Из ежедневного опыта мы знаем, что всякое тело, нагретое сильнее, чем окружающие его другие тела,

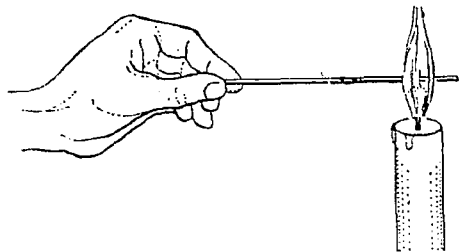


Рис. 223.

Теплота передается от пламени к руке через теплопроводность проволоки.

более или менее быстро остывает. Теплота всегда стремится распространяться, передаваясь от более нагретых тел к менее нагретым до тех пор, пока температуры не уравниваются. Если поставить в комнате стакан кипятку, он остывает до комнатной температуры, а если поставить стакан холодной

воды, теплота комнаты нагревает его до комнатной температуры.

Именно на этом уравнивании температур основано наше пользование термометром. Если столбик ртути установился, мы считаем, что наверно температура термометра теперь сравнялась с температурой окружающего пространства.

Явление распространения теплоты от одного места к другому происходит тремя существенно различными способами.

I. **Теплопроводность.** Нагревайте на пламени конец медной проволочки, держа за другой конец рукой; вы скоро почувствуете, что проволочка прогрелась до вашей руки. Если проволочка не длинна, то скоро становится больно держать. Теплота переходит по проволочке, которая сама не передвигается. Теплота перешла от пламени к руке вследствие, как говорят, теплопроводности проволочки.

II. **Передача теплоты через перемешивание (конвекция).** Налейте воды в большой стакан. Бросьте в воду опилок, обрезков бумаги, чего-нибудь, что хоть частью могло бы удерживаться среди воды. Если нагревать стакан снизу, в воде замечаются

потоки, поднимающиеся вверх и опускающиеся вниз. Припомните явление теплового расширения, а также закон Архимеда, и вы без труда объясните себе это явление: более нагретые части всплывают, более холодные — тонут. В этом случае вода в стакане прогревается вследствие п е р е н о с а и п е р е м е ш и в а н и я нагретых и холодных частей. Явление такой передачи теплоты называют также к о н в е к ц и е й теплоты.

Понятно, что подобное распространение теплоты вследствие перемешивания нагретых и холодных частей возможно только в жидких и газообразных телах.

III. Испускание и поглощение лучей. Распространение теплоты лучами представляет собой труднее наблюдаемое явление, чем те, о которых говорилось раньше, и, кроме того, многие подробности этого явления уясняются только после ознакомления со свойствами лучей, о которых у нас говорится дальше, в главе о свете. Здесь сделаем только несколько замечаний.

Как передается земле теплота солнца? Сильно раскаленное солнце испускает лучи, часть этих лучей мы ощущаем глазами и называем светом; остальных лучей мы глазами не ощущаем, назовем их несветящими, т е м н ы м и л у ч а м и. (Как обнаруживаются и исследуются темные лучи,—пока говорить не будем.) Как светлые, так и темные лучи способны нагревать тела, на которые они падают, если тела эти задерживают. Лучи солнца, идя к земле, проходят огромный путь в пустом пространстве, там они совсем не задерживаются и ничего не нагревают.

Подходя к земле, лучи пронизывают атмосферу, которая поглощает некоторую малую часть лучей и потому немного нагревается. Когда лучи достигают земли, они поглощаются и нагревают поверхность земли. В ясный зимний день лучи солнца заметно нагревают предметы в комнате, не нагревая ни прозрачного морозного воздуха, ни прозрачного стекла.

Если вы станете перед раскаленным камином или жаровней, вы почувствуете, что ваше лицо и руки сильно нагреваются, но не от теплоты прикасающегося к вам воздуха, а от лучей, испускаемых раскаленными углями. От этих лучей можно загородиться доской, стеклом, картонкой и т. п., при чем можно заметить, что прозрачное стекло меньше защищает нас от лучей, чем непрозрачный картон.

Если тело не раскалено, не испускает света, оно все же испускает т е м н ы е л у ч и тем больше, чем сильнее тело нагрето. Все окружающие нас тела и наши собственные тела постоянно обмениваются между собою такими лучами, и этот обмен всегда ведет к тому, что температура тел уравнивается.

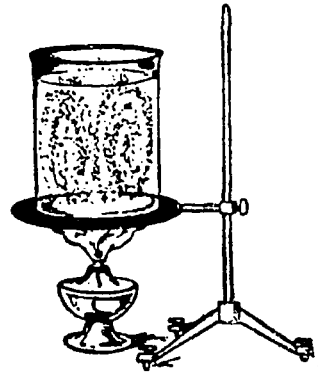


Рис. 224.  
Перемешивание (конвекция) теплых и холодных частей воды при нагревании.



**по. Теплопроводность различных веществ.** Если мы нагреваем на свечке конец медной проволочки (рис. 223), то по проволочке теплота пламени быстро доходит до руки, но по дереву зажатой спички теплота не распространяется заметно. Стеклянную трубку не опасно держать руками довольно близко к месту, где стекло разогрето до плавления. Медь хорошо проводит теплоту; дерево и стекло плохо проводят теплоту.

Для сравнения теплопроводности различных твердых материалов удобно пользоваться прибором, состоящим из металлического сосуда, в который вставляются стержни из разных веществ, покрытые слоем воска (рис. 225). На стержнях надеты металлические муфты, которые съезжают вниз, когда воск тает. В сосуд вливают кипяток и наблюдают, насколько быстро тает воск на разных стержнях при их нагре-

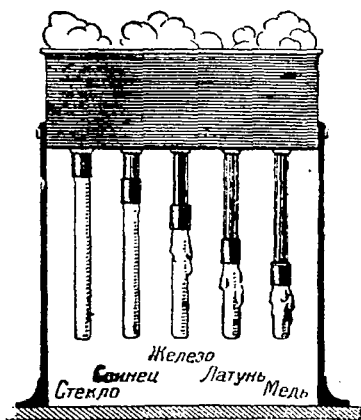


Рис. 225.

Прибор для наблюдения различной теплопроводности различных веществ.

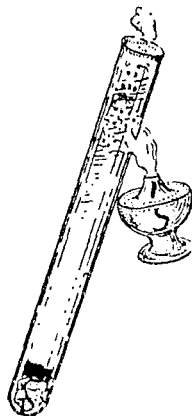


Рис. 226.

Лед не тает вблизи кипящей воды.

вании. Таким образом, легко видеть, какие вещества более теплопроводны, какие менее.

Исследования показали, что вообще большей теплопроводностью отличаются металлы; самый теплопроводный из металлов — серебро. Как особенно плохо проводящие твердые вещества можно отметить: дерево, стекло, каучук.

Чтобы исследовать теплопроводность жидкости или газа, следует избегать перемешивания частей и потому следует нагревание производить сверху.

Теплопроводность жидкостей вообще очень мала (за исключением металлической ртути). Если нагревать воду в пробирке сверху, то внизу вода очень долго остается холодной: туда можно поместить кусочек льда, который долго не тает, в то время как вблизи над ним вода уже кипит (рис. 226).

Газы еще менее теплопроводны, чем жидкости. Можно очень близко поднести палец сбоку к пламени свечи, не обжигаясь.

Вата, пух, мех и т. п. нетеплопроводны потому, что между волокнами удерживают нетеплопроводный воздух. Нетеплопроводный слой воздуха между двумя рамами сохраняет зимой теплоту в наших комнатах.

? При комнатной температуре металлическая вещь наощупь кажется холоднее деревянной, а разогретая металлическая вещь кажется горячее деревянной. Почему?

Когда вы касаетесь рукой предмета, куда переходит теплота: от руки к предмету или наоборот? Когда перейдет больше теплоты, когда предмет теплопроводный или нетеплопроводный?

? Как устраниают кофейники, чайники, крышки самоваров, тазы для варенья и т. п., чтобы не обжигать рук?

? О какую чайную ложку легче всего обжигается рука?

? Почему под соломой снег иногда не тает до середины лета?

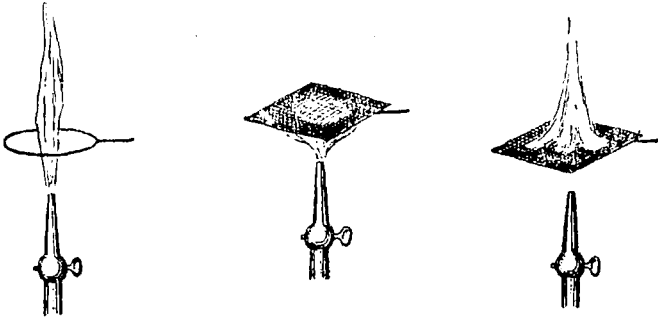


Рис. 227.

Пламя газа не пробивается сквозь медную сетку.

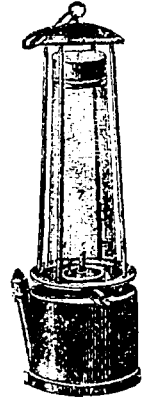


Рис. 228.

Предохранительная лампочка Дэви для работ рудников.

? Почему летом вода в глубине реки холоднее, чем у поверхности? Когда может быть наоборот?

? Почему озимые хлеба страдают от морозов в бесснежные зимы?

**III. Предохранительная лампочка Дэви.** Пустим струю светильного газа и перегорим ее пополам медной сеткой (рис. 227). Поджигая газ либо сверху, либо снизу, увидим, что пламя не пробивается сквозь сетку, так как теплота пламени поглощается теплопроводной сеткой. Если пламя лампочки окружено металлической сеткой (рис. 228), то при погружении лампочки в пространство, наполненное горючим газом (например, парами серного эфира), газ загорается только внутри сетки, не передавая пламени наружу. Так устроена предохранительная лампочка Дэви<sup>1</sup> для работ в шахтах, где грозит опасность от взрывов рудничного газа.

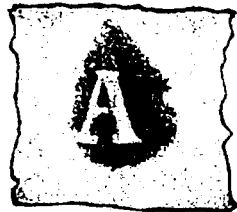


Рис. 229.

Бумага не обгорает над металлической буквой.

? Набейте на деревянную дощечку металлические буквы от калош и, покрыв дощечку бумагой, поднесите к пламени свечки. Бумага обгорает над деревом и не обгорает над буквами (рис. 229). Почему?

? Обтянув металлическую вещь батистовым платком, можно приложить к нему раскаленный уголь, не прожигая батиста. Почему?

<sup>1</sup> Дэви (1778 — 1829) — английский химик.

## 12. Замечание о распространении теплоты конвекцией.

Конвекция, т.-е. перемешивание нагретых и ненагретых частей, возможна только в газах и жидкостях. Прогревание комнатного воздуха непременно сопровождается такой конвекцией. Открыв слегка дверь между комнатами с несколько разными температурами, легко по отклонению пламени свечки проследить поток более холодного воздуха внизу и более теплого вверх (рис. 230).

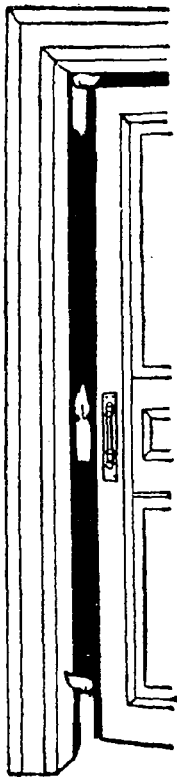


Рис. 230.

Пламя свечей отклоняется течением воздуха между комнатами разной температуры.

Конвекцией передается теплота при водяных и паровых отоплених зданий.

В атмосферном воздухе и в водах рек, озер и океанов происходят постоянные движения от неравномерного нагревания.

Мы знаем ту особенность воды, что она имеет наибольшую плотность, наибольший удельный вес при  $4^{\circ}\text{C}$ . Вследствие этого понятно, что при температурах ниже  $4^{\circ}$  более холодная вода будет удерживаться в верхних слоях. Если припомнить, что теплопроводность воды чрезвычайно мала, делается понятным то явление, что наши реки и озера даже в самые суровые зимы промерзают на незначительную сравнительно глубину. Ясно, какое важное значение имеет это для жизни рыб и других водяных животных.

Если вода находится под значительным давлением, то температура, соответствующая наибольшей плотности воды, оказывается ниже  $4^{\circ}$ . В морях и океанах на глубине 3 км вода как в полярных, так и в тропических странах имеет неизменную температуру около  $1,5^{\circ}$ , что соответствует наибольшей плотности воды при царящем там огромном давлении.

## 13. Замечание о нагревании лучами. Хотя мы

и не можем вдаваться здесь в подробности явления испускания и поглощения лучей, все же постараемся немного выяснить следующее обстоятельство. Когда мы хотим сообразить, насколько сильно могут нагреть тело падающие на него лучи, мы непременно должны принять в соображение не только лучи, падающие на тело, но и те лучи, которые это тело непременно само испускает. Нужно всегда иметь в виду, так сказать, и «приход» и «расход» лучей.

Какой день бывает теплее, — ясный или пасмурный? Вы легко припомните, что летом ясные дни жарче, но зимой, наоборот, ясные дни холодней. Дело в том, что слой облаков и туч задерживает и те лучи, которые идут от солнца к земле, и те лучи, которые сама земля испускает в пространство. Летом земля получает лучей больше, чем расходует, поэтому прекращение и «прихода» и «расхода» ведет к охлаждению земли. Зимой, когда «расход» больше «прихода», обратно, слой облаков позволяет земле больше уберечь теплоты.

Почему, если подняться на аэростате, ощущается холод? Почему на вершинах высоких гор вечные снега? Аэростат или вершина горы получают не только не меньше, но даже больше солнечных лучей, чем какое-нибудь место на поверхности земли, но «расход» лучей у уединенного аэростата или у вершины горы не возмещается притоком лучей от соседних земных тел.

Очевидно; можно подобрать где-нибудь под Москвой такой южный склон, на который в зимний день будет падать солнечных лучей гораздо больше, чем на какое-нибудь затененное место близ Каира. Однако, здесь всю зиму лежит снег, а там так тепло, что пальмы растут. Здесь южный склон должен отдавать свою теплоту окружающим холодным местам и потому в среднем оказывается лишь незначительно теплее их, а там, наоборот, тенистое место нагревается соседними, сильно нагретыми. Благодаря постоянному обмену лучами, на земле теплее бывает там, где в среднем на большую площадь падает больше солнечных лучей.

**14. Понятие о количестве теплоты. Калория.** Если тело нагревается, мы говорим, что оно «получает» некоторое количество теплоты. Если, наоборот, тело охлаждается, остывает, мы говорим, что оно «отдает» или «теряет» некоторое количество теплоты.

Представьте себе, что 1 g воды нагревается на  $1^\circ\text{C}$ ; на это требуется некоторое количество теплоты, при чем, как увидим дальше на многих опытах, это количество теплоты можно считать одинаковым, нагревается ли 1 g воды от  $0^\circ$  до  $1^\circ$  или, например, от  $15^\circ$  до  $16^\circ$ , или от  $78^\circ$  до  $79^\circ$  и т. д. Это количество теплоты принимают за единицу и называют **малой калорией**<sup>1</sup>. Количество теплоты, нужное для нагревания 1 kg воды на  $1^\circ\text{C}$ , называют **большой калорией**<sup>2</sup>. Ясно, что большая калория ровно в 1000 раз больше малой. Дальше мы будем малые калории называть просто **калориями**.

Итак, калорией называется такое количество теплоты, какое требуется, чтобы нагреть 1 g воды на  $1^\circ\text{C}$ , или, понятно, такое количество теплоты, какое отдает 1 g воды, остывая на  $1^\circ\text{C}$ .

Нетрудно сообразить, что для нагревания на  $1^\circ$  какого-нибудь количества  $M$  g воды требуется  $M$  калорий.

Установив единицу количества теплоты, мы можем очень просто делать расчет количеств теплоты, получаемых и отдаваемых водой.

Например, сколько требуется теплоты, чтобы стакан воды (250 g) нагреть от  $20^\circ$  до  $50^\circ$ ?

Рассуждаем так:

Для нагревания	1 g	воды на	$1^\circ$	требуется . . . . .	1 калория
»	»	250 »	»	»	» . . . . . 250 »
»	»	250 »	»	»	$30^\circ$ » 250.30 = 7500 »

В алгебраической форме расчет можно представить так:

Сколько теплоты требуется для нагревания  $M$  g воды от температуры  $t_1^\circ$  до температуры  $t_2^\circ$ , т.-е. для нагревания на  $(t_2 - t_1)^\circ$ ?

Для нагревания	1 g	воды на	$1^\circ$	требуется	1 калория.
»	»	$M$ »	»	»	$1^\circ$ » $M$ »
»	»	$M$ »	»	»	$(t_2 - t_1)^\circ$ » $M(t_2 - t_1)$ калорий.

? Сколько теплоты требуется, чтобы ведро воды нагреть от  $20^\circ$  до  $100^\circ$ ?

? Выразите это количество теплоты в малых и больших калориях.

? Пол-литра воды остыло от  $40^\circ$  до  $15^\circ$ . Сколько теплоты потеряла вода?

? Имеется 20 g воды при  $50^\circ$ . Как изменится температура, если вода получит 240 калорий теплоты?

**15. Смешение воды различной температуры. Калориметр.** Если воду теплую и воду холодную слить вместе и перемешать, то теплота переходит от теплой воды к холодной, и получается смесь некоторой средней температуры. Если мы хотим произвести такое смешение

<sup>1</sup> От латинского calor — жар, теплота.

<sup>2</sup> Ясно, что здесь 1 g и 1 kg — единицы массы, а не веса.

на опыте и сделать правильный расчет количества теплоты, переходящего от теплой воды к холодной, мы должны озаботиться, чтобы теплота ниоткуда не притекала и не терялась куда-нибудь в окружающее пространство. Для этого берут тонкий металлический стакан (рис. 231), вставленный в другой подобный стакан, на дно которого положены какие-нибудь нетеплопроводные подставки, например, деревянные. Слой воздуха между стенками сосудов достаточно хорошо препятствует теплоте перетекать от внутреннего стакана в окружающее пространство и обратно. Правда, при этом вода, вливаемая во внутренний стакан, может обмениваться теплотой со стенками этого стакана, а также с термометром и с мешалкой, вставленной в воду, но если воды много, а стакан сделан из тонкой жести, термометр же и мешалка не велики, то потерей теплоты на нагревание стакана, термометра и мешалки в приблизительном расчете пока можно пренебречь.

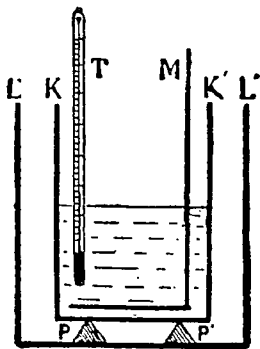


Рис. 231.

Калориметр.

КК' — калориметрический стакан.

LL' — наружный стакан.

РР' — нетеплопроводные подставки.

Т — термометр, М — мешалка.

Такой металлический стакан, служащий для измерения количеств теплоты, переходящих от одного тела к другому, называют к а л о р и м е т р о м.

Вольем в калориметр, например, литр (1000 г) воды при  $15^\circ$  и прильем еще пол-литра (500 г) воды при  $27^\circ$ . Перемешавши воду, получим смесь  $19^\circ$ . Нетрудно рассчитать, что при этом теплая вода потеряла:

$$500 (27 - 19) = 4000 \text{ калорий,}$$

а холодная вода получила:

$$1000 (19 - 15) = 4000 \text{ калорий.}$$

Нетрудно в алгебраической форме решить задачу определения температуры подобной смеси воды различной температуры.

Пусть смешивается  $M_1$  г воды температуры  $t_1^\circ$  с  $M_2$  г воды температуры  $t_2^\circ$ . Пусть температура  $t_2$  выше  $t_1$ . Обозначим искомую температуру смеси  $t_x$ .  $M_1$  г воды, нагреваясь от  $t_1$  до  $t_x$ , получают  $M_1 (t_x - t_1)$  калорий.  $M_2$  г воды, остывая от  $t_2$  до  $t_x$ , отдадут  $M_2 (t_2 - t_x)$  калорий. Если теплота никуда не терялась и ниоткуда не притекала, то эти два количества должны быть равны между собою.

$$M_1 (t_x - t_1) = M_2 (t_2 - t_x).$$

Откуда находим:

$$t_x = \frac{M_1 t_1 + M_2 t_2}{M_1 + M_2}.$$

<sup>1</sup> Правило, выражаемое этой формулой, иногда называют «правилом Р и х м а н а», по имени петербургского профессора Вильгельма Рихмана (1711 — 1753). Этот Рихман, современник Ломоносова, был убит молнией при опытах с атмосферным электричеством.

- ? Смешивается 2 литра воды при  $10^{\circ}$  и 3 литра воды при  $50^{\circ}$ . Как велика получится температура смеси?
- ? Имеется 5 литров воды при  $70^{\circ}$ . Сколько воды температуры  $0^{\circ}$  надо прилить, чтобы получилась смесь температуры  $25^{\circ}$ ?
- ? Имеется 4 литра воды при  $12^{\circ}$ ; требуется прилить 2 литра воды так, чтобы температура смеси получилась  $36^{\circ}$ . Какова должна быть температура 2-х литров воды?

### пб. Теплоемкость тела. Удельная теплоемкость вещества.

Представим себе два различных тела; например, стальную иголку и стакан воды. Чтобы нагреть эти тела на одинаковое число градусов, требуются различные количества теплоты; если придать этим телам одинаковые количества теплоты, они нагреются различно. Мы говорим, что эти тела имеют различные теплоемкости.

Теплоемкость тела определяется количеством теплоты, потребным для нагревания этого тела на  $1^{\circ}$  С.

Теплоемкость стакана воды больше теплоемкости иголки. Чтобы нагреть их на одинаковое число градусов, для стакана воды требуется большее количество теплоты, а от придачи одинакового количества теплоты иголка нагреется сильнее, чем стакан воды.

Если нагревать на  $1^{\circ}$  одинаковые массы различных веществ, то на нагревание требуются различные количества теплоты.

Представьте себе, что на  $1^{\circ}$  нагреваются 10 g воды, 10 g спирта и 10 g меди. На нагревание воды потребуется 10 калорий, на нагревание спирта приблизительно 6 калорий, на нагревание меди всего около 1 калории.

Мы говорим, что различные вещества имеют различную **удельную теплоемкость**.

Удельная теплоемкость вещества определяется количеством теплоты, потребным для нагревания 1 g этого вещества на  $1^{\circ}$  С.

В нашем примере, следовательно, получаются такие удельные теплоемкости:

Вода . . . . .	1 калория	} для нагревания 1 g на $1^{\circ}$ .
Спирт . . . . .	0,6 калории	
Медь . . . . .	0,1 калории	

Если мы знаем удельную теплоемкость вещества, то легко рассчитать количество теплоты, потребное для нагревания любого количества этого вещества на любое число градусов.

Например, сколько требуется теплоты для нагревания фунта (400 g) меди от  $20^{\circ}$  до  $100^{\circ}$ ?

Для нагревания	1 g меди на $1^{\circ}$	требуется . . . . .	0,1 кал.
»	» 400 » » $1^{\circ}$	»	0,1.400 = 40 »
»	» 400 » » $80^{\circ}$	»	1,1.400.80 = 3200 »

Нетрудно составить подобный расчет и в алгебраической форме.

Сколько теплоты требуется, чтобы  $M$  g вещества, удельная теплоемкость которого равна  $c$ , нагреть от  $t_1^\circ$  до  $t_2^\circ$ ?

Для нагревания 1 g вещества на  $1^\circ$  требуется . . .  $c$  кал.  
 » »  $M$  » »  $1^\circ$  » . . .  $c M$  »  
 » »  $M$  » »  $t_2 - t_1$  »  $c M (t_2 - t_1)$  »

Подобным же образом делается расчет того количества теплоты, которое отдается телом при охлаждении.

**117. Определение удельных теплоемкостей различных веществ «способом смешения».** Для определения удельных теплоемкостей

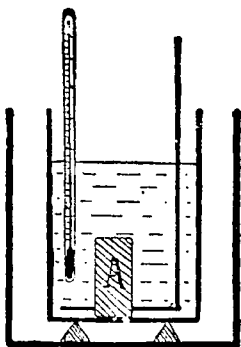


Рис. 232.  
 Определение удельной теплоемкости вещества способом смешения.

веществ может служить описанный выше калориметр. Определим, например, удельную теплоемкость алюминия. Возьмем кусок алюминия весом в 100 g. Нагреем его в парах кипящей воды<sup>1</sup> до  $100^\circ$  и опустим в калориметр, в котором находится 800 g воды при  $18^\circ$ . Теплота будет переходить от алюминия к воде, пока температуры их не уравниются. Положим, что окончательная температура и воды, и алюминия оказалась  $20^\circ$ . Не принимая в расчет той теплоты, которая пошла на нагревание самого калориметра, и той, которая рассеялась в окружающем воздухе, можно считать, что вся теплота, утраченная алюминием, приобретена водой.

Обозначим неизвестную нам удельную теплоемкость алюминия через  $c$ . Количество теплоты, утраченное 100 g алюминия при остывании (от  $10^\circ$  до  $20^\circ$ ) на 80 градусов, равно:

$$c \cdot 100 \cdot 80 \text{ калорий.}$$

Количество теплоты, полученное 800 g воды, нагретой (от  $18^\circ$  до  $20^\circ$ ) на 2 градуса, равно:

$$800 \cdot 2 \text{ калорий.}$$

Эти два количества теплоты должны быть равны между собою:

$$c \cdot 100 \cdot 80 = 800 \cdot 2.$$

Откуда получаем:

$$c = 0,2,$$

т.-е. для нагревания 1 g алюминия на  $1^\circ$  требуется 0,2 калории.

Сделаем подобный расчет в алгебраической форме.

<sup>1</sup> При сколько-нибудь точных измерениях нагревание следует производить так, чтобы водяной пар не мог осаждаться на куске алюминия, для чего можно поместить его в камеру, окруженную парами кипящей воды так, чтоб внутрь камеры пар не попадал.

Положим, что в калориметр налито  $M$  g воды при  $t_1^\circ$ . В калориметр опускается тело, нагретое до  $T^\circ$ ; масса этого тела  $m$ , а удельная теплоемкость  $c$ . Окончательная температура и воды, и тела  $t^\circ$ . Рассуждая, как в предыдущем примере, получаем равенство:

$$c \cdot m (T - t) = M (t - t_1) \dots \dots \dots (A)$$

Колич. теплоты,      Колич. теплоты,  
утраченное телом.    полученное водой.

Из этого равенства определяется удельная теплоемкость тела:

$$c = \frac{M(t - t_1)}{m(T - t)} \dots \dots \dots (A)$$

Заметим, что из равенства (A) может определяться не только  $c$ , но вообще любая одна из входящих в равенство величин, если все остальные величины известны.

Нетрудно сделать и более точный расчет, принимая в соображение и то количество теплоты, которое идет на нагревание калориметрического сосуда. Температуру сосуда можно принимать равной температуре воды, т.-е. до погружения тела  $t_1$ , а после —  $t$ . Если масса сосуда  $M_1$  g, а удельная теплоемкость  $c_1$ , то количество теплоты, полученное сосудом, равно  $c_1 M_1 (t - t_1)$ . Следовательно, получается равенство более точное, чем равенство (A).

$$c \cdot m (T - t) = M (t - t_1) + c_1 M_1 (t - t_1)$$

Колич. теплоты,      Колич. теплоты,      Колич. теплоты,  
утраченное телом.    получен. водой.      пол. калориметром.

Чтобы способом смешения определить удельную теплоемкость жидкостей, можно исследуемую жидкость влить в калориметр вместо воды и погружать в нее тело, теплоемкость которого известна.

Удельные теплоемкости некоторых твердых и жидких веществ.

Числа обозначают, сколько малых калорий теплоты требуется для нагревания 1 g на  $1^\circ$  C

Свинец . . . . .	0,03 (точнее 0,0314)
Платина . . . . .	0,03 ( » 0,0325)
Олово . . . . .	0,05 ( » 0,0548)
Серебро . . . . .	0,06 ( » 0,057)
Медь . . . . .	0,1 ( » 0,0933)
Цинк . . . . .	0,1 ( » 0,0955)
Железо . . . . .	0,1 ( » 0,114)
Алюминий . . . . .	0,2 ( » 0,214)
Лед . . . . .	0,5 ( » 0,504)
Вода . . . . .	1
Ртуть . . . . .	0,3 ( » 0,033)
Алкоголь . . . . .	0,6 ( » 0,602)
Эфир (серный) . . . . .	0,5 ( » 0,521)
Скипидар . . . . .	0,4 ( » 0,423)



? Кусок железа в 60 g, нагретый до  $100^\circ$ , положен в 120 g воды, первоначальная температура которой была  $13,2^\circ$ . Температура воды поднялась до  $17,8^\circ$ . Определите из этих данных удельную теплоемкость железа.

? Смешиваются одинаковые массы воды при  $100^\circ$  и ртути при  $24^\circ$ . Определите окончательную температуру смеси.

? Смешивается стакан воды при  $40^\circ$  со стаканом спирта при  $20^\circ$ . Определите температуру смеси.

? Ртуть, спирт и медь, взятые в одинаковых объемах, нагреваются на одинаковое число градусов. На нагревание какого вещества пойдет больше теплоты?

? Шарик одинакового веса: железный, медный, оловянный и свинцовый нагреваются до одинаковой температуры  $100^\circ$  и кладутся на восковую плитку (рис. 233). Воск под шариками тает различно: железный шарик расплавляет наибольшее количество воска, немного меньше медный, еще меньше оловянный, меньше всех свинцовый. Почему?

? В латунный калориметр, масса которого равна 100 g, влито 150 g воды. Первоначальная температура  $18^\circ$ . В воду кладется кусок олова в 80 g, нагретый до  $100^\circ$ . Окончательная температура получается  $20^\circ$ . Удельная теплоемкость латуни около 0,1.

Определите из этих данных удельную теплоемкость олова.

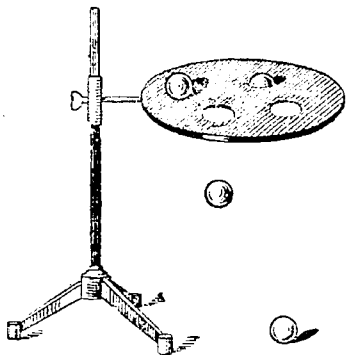


Рис. 233.

Воск тает различно под шариками из различных веществ.

на нагревание 1 g газа на  $1^\circ$ , соответствует удельной теплоемкости газа при неизменном давлении. Другой раз можно тот же 1 g газа нагреть на  $1^\circ$ , не позволяя ему расширяться, для чего придется у величить груз на поршне, так как давление газа возрастает. Количество теплоты, которое при таком условии пойдет на нагревание 1 g газа на  $1^\circ$ , соответствует удельной теплоемкости газа при неизменном объеме. В первом случае газ не только нагревается, но и расширяется, преодолевая сопротивление и тем производит работу; во втором случае газ нагревается, не производя работы.

Удельная теплоемкость газа в первом случае (при неизменном давлении) оказывается больше, чем во втором случае (при неизменном объеме).

Обыкновенно измеряется удельная теплоемкость газов при неизменном давлении. Для этого газ сперва пропускается по «змеевику», т.-е. по длинной, свернутой спиралью трубке, внутри сосуда с нагретым маслом, которое нагревает газ до определенной температуры; затем по другому «змеевику» внутри калориметра, где газ отдает теплоту воде, температура которой измеряется.

Удельная теплоемкость при неизменном давлении для воздуха равна 0,239, а для водорода — 3,410 (больше чем для какого-либо другого вещества).

### п8. Замечание относительно удельной теплоемкости газов.

Теплоемкость некоторой массы газа оказывается различной, смотря по тому, расширяется ли газ при нагревании, или нет. Представьте себе, что 1 g газа заключен в цилиндр, закрытый поршнем. Газ давит с некоторой силой на стенки цилиндра и на поршень. Вес поршня и лежащий на нем груз уравнивают эту силу давления газа. Пусть этот 1 g газа нагревается на  $1^\circ$ . Один раз можно нагреть газ, не изменяя величины груза на поршне, тогда газ непременно расширится и при этом поднимает груз на некоторую высоту. Количество теплоты, которое пойдет при этом

на нагревание 1 g газа на  $1^\circ$ , соответствует удельной теплоемкости газа при неизменном давлении. Другой раз можно тот же 1 g газа нагреть на  $1^\circ$ , не позволяя ему расширяться, для чего придется у величить груз на поршне, так как давление газа возрастает. Количество теплоты, которое при таком условии пойдет на нагревание 1 g газа на  $1^\circ$ , соответствует удельной теплоемкости газа при неизменном объеме. В первом случае газ не только нагревается, но и расширяется, преодолевая сопротивление и тем производит работу; во втором случае газ нагревается, не производя работы.

Удельная теплоемкость газа в первом случае (при неизменном давлении) оказывается больше, чем во втором случае (при неизменном объеме).

Обыкновенно измеряется удельная теплоемкость газов при неизменном давлении. Для этого газ сперва пропускается по «змеевику», т.-е. по длинной, свернутой спиралью трубке, внутри сосуда с нагретым маслом, которое нагревает газ до определенной температуры; затем по другому «змеевику» внутри калориметра, где газ отдает теплоту воде, температура которой измеряется.

Удельная теплоемкость при неизменном давлении для воздуха равна 0,239, а для водорода — 3,410 (больше чем для какого-либо другого вещества).

Удельные теплоемкости при неизменном объеме для воздуха и водорода приблизительно в 1,41 раза меньше их теплоемкости при неизменном давлении.

Для разных других газов величина отношения удельных теплоемкостей бывает различной от 1,2 до 1,67.

**119. Плавление и отвердевание. Точка плавления.** Положим в металлический стаканчик снегу или льда. Если этот снег принесен с улицы и имеет температуру несколько ниже  $0^{\circ}$ , он в комнате быстро нагревается до  $0^{\circ}$  и начинает таять, расплавляться. Если образующуюся воду перемешивать с остатком льда, то температура смеси неизменно остается  $0^{\circ}$ , пока весь лед не растает. Если нашу смесь льда с водой подогреть на огне, таяние происходит быстрее, но температура при этом не изменяется.

Возьмем теперь в подобном металлическом стаканчике холодной воды и поставим этот стаканчик в «холодящую» смесь (3 весовых части снега на 1 часть поваренной соли, температура около  $-20^{\circ}$ ). Вода в стаканчике довольно быстро остынет до  $0^{\circ}$  и начнет замерзать. Если опять перемешивать остающуюся воду с образующимся льдом, температура смеси неизменно остается  $0^{\circ}$ , пока вся вода не замерзнет (не отвердеет).

Итак, температура, или, как говорится, точка таяния льда, а также и точка замерзания воды  $0^{\circ}$ .

Положим в широкую пробирку немного парафина и, вставив термометр, будем нагревать. Приблизительно при  $55^{\circ}$  парафин начнет плавиться, и эта температура будет удерживаться во время плавления. Когда парафин расплавится весь, температура начнет повышаться. Охлаждая получившийся жидкий парафин, заметим, что он будет отвердевать при  $55^{\circ}$ , и только после отвердения всего парафина температура начнет понижаться дальше. Точка плавления и точка отвердевания парафина около  $55^{\circ}$ .

Все твердые вещества удается расплавить, кроме угля, для которого при самых высоких достижимых температурах (около  $6000^{\circ}$  С) получаются лишь еле заметные признаки плавления.

Не расплавляются такие вещества, в которых при нагревании происходят химические изменения, таковы: дерево, яичный белок, порох и т. д.

Многие вещества плавятся без резкого перехода от твердого состояния к жидкому, а размягчаются более или менее постепенно; таковы: смола, воск, стекло и т. п.

Некоторые сплавы металлов плавятся при температурах значительно ниже точек плавления составных частей. Олово плавится при  $230^{\circ}$ , свинец при  $330^{\circ}$ , а «припой», сплавленный из 2 весовых частей олова и 1 части свинца, плавится при  $170^{\circ}$ . Так называемый, «сплав Вуда», состоящий из висмута (56 частей), олова (14 ч.), свинца (14 ч.) и кадмия (16 ч.), плавится около  $65^{\circ}$ .

Если из этого сплава сделать чайную ложку, она расплавится в горячем чае.

Точка плавления (и отвердевания) некоторых веществ.

Водород . . . . .	— 256°
Алкоголь . . . . .	— 130°
Ртуть . . . . .	— 39°
Лед . . . . .	0°
Олово . . . . .	230°
Висмут . . . . .	270°
Кадмий . . . . .	370°
Свинец . . . . .	330°
Серебро . . . . .	970°
Золото . . . . .	1070°
Медь . . . . .	1080°
Чугун . . . . .	около 1100°
Сталь . . . . .	1400°
Железо . . . . .	1600°
Платина . . . . .	1770°
Стекло (разных сортов) . . . . .	800—1400°

? Мягкая глина или тесто при нагревании не только не размягчаются, но затвердевают. Чем объясняется такое явление?

? Попробуйте расплавлять кусочки или проволоочки различных металлов в пламени: свечи, спиртовой горелки, газовой горелки, паяльной трубки и т. д. Сделайте таким путем приблизительную оценку температур в этих пламенах.

**120. Скрытая теплота плавления.** Наблюдая плавление льда и парафина, мы видели, что во время плавления температура не изменяется. Несомненно, во время плавления к расплавляемому веществу притекает теплота, иначе плавление не могло бы продолжаться, но притекающая теплота не нагревает вещества, а идет на превращение твердого вещества в жидкость той же температуры.

Обратно, когда жидкость отвердевает, во время самого отвердевания температура не изменяется, теплота теряется, но жидкость не остывает, а обращается в твердое тело той же температуры.

То количество теплоты, которое поглощается одним граммом твердого вещества при плавлении, или которое утрачивается 1 граммом жидкости при отвердевании, называется **скрытой теплотой плавления вещества**.

**121. Определение скрытой теплоты таяния льда.** Чтобы определить скрытую теплоту таяния льда, воспользуемся уже знакомым нам калориметром. Положим, что в калориметре находится 600 г воды при 25°. Опустим в воду кусок льда (сухого) массой в 30 г, температура которого 0°. Когда лед растает, температура воды оказывается равной 20°. Делаем такой расчет. Вода калориметра, охладившись от 25° до 20°, потеряла:

$$600 \cdot 5 = 3000 \text{ калорий.}$$

Это количество теплоты получил лед, который, во-первых, растаял, во-вторых, обратившись в воду, нагрелся от  $0^\circ$  до  $20^\circ$ . На нагревание воды, получившейся из льда, пошло:

$$30 \cdot 20 = 600 \text{ калорий.}$$

Следовательно, остальные  $3000 - 600 = 2400$  калорий пошли на превращение  $30 \text{ g}$  льда в воду при  $0^\circ$ . Отсюда заключаем, что на расплавление  $1 \text{ g}$  льда требуется:

$$\frac{2400}{30} = 80 \text{ калорий.}$$

Итак, скрытая теплота таяния льда равна  $80$  калориям на  $1 \text{ g}$ ; другими словами, чтобы превратить  $1 \text{ g}$  льда при  $0^\circ$  в воду при той же температуре, требуется  $80$  калорий. Сделаем расчет, подобный предыдущему, в алгебраической форме. В калориметре находится  $M \text{ g}$  воды при  $t_1^\circ$ . В воду кладется  $M' \text{ g}$  льда при  $0^\circ$ . Лед весь тает, и окончательная температура воды получается  $t_2^\circ$ .

Обозначая скрытую теплоту таяния льда через  $L_{\text{пл}}$ , нетрудно составить следующее равенство:

$$L_{\text{пл}} \cdot M' + M' \cdot t_2 = M \cdot (t_1 - t_2)$$

Колич. теплоты на распл. льда.      Колич. теплоты на нагревание воды, получ. из льда.      Колич. теплоты, отданное водой калориметра.

Из этого равенства получаем выражение скрытой теплоты плавления:

$$L_{\text{пл}} = \frac{M'(t_1 - t_2) - M' t_2}{M'}$$

При более точных расчетах следует, конечно, принимать в соображение и то количество теплоты, которое при таком опыте теряет калориметрический стакан.

#### Скрытая теплота плавления некоторых веществ.

Число малых калорий, потребное для расплавления  $1 \text{ g}$  вещества при температуре плавления:

Лед . . . . .	80	Олово . . . . .	14,3
Ртуть . . . . .	2,8	Свинец . . . . .	5,4

- ?) В теплую воду кладется лед при  $0^\circ$ . Масса льда равна массе воды.
- ?) Когда весь лед расплавляется, получается вода при  $0^\circ$ . Какова первоначальная температура теплой воды?
- ?) Какое количество теплоты требуется, чтобы  $1$  фунт свинца нагреть от комнатной температуры до точки плавления и расплавить?
- ?) Сделайте такой же расчет для  $1$  фунта олова.
- ?) Какое количество теплоты требуется для превращения  $50 \text{ g}$  льда при  $-20^\circ$  в воду при  $15^\circ$ ?
- ?) Возьмите два одинаковых калориметра. В один влейте воды при  $0^\circ$ , а в другой такое же количество смеси воды со снегом при такой же температуре. Положите в оба калориметра одинаковые, одинаково сильно нагретые куски железа. Одинаково ли поднимется температура в калориметрах?

**122. Явление переохлаждения.** Если взять предварительно прокипяченную воду и медленно ее охлаждать, то можно получить «переохлажденную» воду, которая будет оставаться жидкой при температуре на несколько градусов ниже нуля (до  $-10^{\circ}$ ). Это явление переохлаждения воды удобно наблюдать в особом приборчике, где вода, заключенная в запаянном сосудике, окружает шарик термометра (рис. 234).

Охлаждая постепенно сосудик, увидим, что вода остается жидкой при нескольких градусах ниже  $0^{\circ}$ . Если переохлажденную воду встряхнуть, часть воды моментально замерзает, а температура повышается до  $0^{\circ}$ . Это нагревание происходит за счет той скрытой теплоты, которая выделяется водой при замерзании.

Подобное явление переохлаждения наблюдается и со многими другими веществами. Нагреем в пробирке немного гипосульфита; <sup>1</sup> около  $50^{\circ}$  он расплавляется, но при охлаждении остается жидким и при комнатной температуре. Если в переохлажденный гипосульфит бросить твердый кристаллик этой соли, вся масса быстро твердеет, при чем температура повышается.

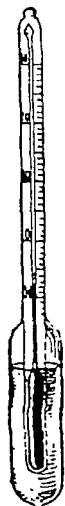


Рис. 234.

Прибор для наблюдения явления переохлаждения воды.

**123. Замечание относительно растворов.** Возьмите немного воды при комнатной температуре и всыпьте в воду поваренной соли (хлористого натрия) той же температуры. Соль будет растворяться, и при этом получится охлаждение на  $1-2$  градуса. Более сильное охлаждение получим, растворяя в воде нашатырь (хлористый аммоний) или азотно-кислый аммоний.

При растворении очень многих веществ наблюдается такое поглощение тепла, подобное поглощению скрытой теплоты, при расплавлении.

Иногда, впрочем, при растворении наблюдается не охлаждение, а, наоборот, нагревание, которое зависит от химического взаимодействия воды с растворяемым веществом. Такое нагревание наблюдается, например, при растворении в воде едкого натра.

Если охлаждать воду, в которой растворена какая-нибудь соль, то вода замерзает не при  $0^{\circ}$ , а при более низкой температуре, при чем сначала вымерзает чистый лед, а соль, растворенная в оставшейся воде, образует более крепкий раствор, замерзающий при еще более низкой температуре.

Морская вода замерзает при температуре около  $-3^{\circ}$ . Если смешать снег при  $0^{\circ}$  с поваренной солью, то смесь начинает быстро таять и охлаждаться. Охлаждение происходит вследствие поглощения теплоты на растворение соли, а главное на таяние льда. Температура смеси понижается до точки замерзания раствора соли. Смешивая 3 весовых части снега с 1 частью соли, можно получить температуру около  $-20^{\circ}$ .

**124. Изменение объема при плавлении.** Наблюдая плавление парафина, воска, свинца и т. д., можно видеть, что твердые куски этих веществ тонут в расплавленном веществе. Отсюда заключаем, что эти вещества в жидком состоянии имеют меньший удельный вес, чем в твердом, т.-е., что при плавлении такие вещества увеличиваются в объеме.

С водой наблюдается обратное: твердый лед плавает на воде. Удельный вес воды больше, чем льда; лед умень-

<sup>1</sup> Серноватисто-натровая соль, употребляемая в фотографии.

шается в объеме при таянии, или, наоборот, вода расширяется при замерзании.

Такую же особенность расширения при отвердевании кроме льда проявляют еще очень немногие вещества, из которых отметим металлический висмут и чугун. Чугун представляет собой прекрасный материал для отливки, именно благодаря тому, что, слегка расширяясь при отвердевании, он очень хорошо заполняет все подробности формы.

Чтобы составить понятие о той огромной силе, которую проявляет лед, расширяясь в момент замерзания, можно сделать такой опыт. В толстостенную чугунную бомбочку вливают воду и, плотно закрутив отверстие, охлаждают в смеси снега с солью. При замерзании воды бомбочка лопается (рис. 235).



Рис. 235.

Чугунная бомбочка, разрываемаемая давлением замерзающей воды.

**125. Таяние льда под давлением.** Лед, подвергнутый сильному давлению, тает при температуре ниже  $0^{\circ}$ . Это явление можно наблюдать на таком любопытном опыте. Через кусок льда (рис. 236) перекидывается тонкая про-

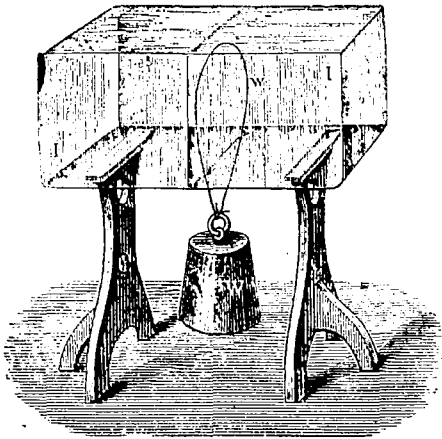


Рис. 236.

Проволока проходит через кусок льда, который остается целым.

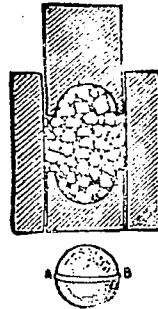


Рис. 237.

Спрессованные кусочки льда сплавляются в сплошную массу.

волока, к которой подвешивается груз. Проволока постепенно перерезывает лед, но после прохождения проволоки кусок льда оказывается спаянным по месту разреза. Явление объясняется тем, что под проволокой лед испытывает большое давление (вес груза действует на очень малую площадь) и тает, проволока опускается, а образовавшаяся вода, освободившись от давления, снова замерзает.

Подобным образом должна с увеличением давления понижаться точка плавления и для других немногих

веществ, которые подобно льду сокращаются в объеме при плавлении (висмут, чугун).

Со всеми другими веществами наблюдается обратное: точка плавления повышается с увеличением давления.

Особенностью льда таять под давлением и снова замерзать, освободившись от давления, объясняется такое явление. Если спрессовать кусочки льда (снег), они спаиваются (рис. 237) в целый прозрачный кусок.

Этой же особенностью объясняется текучесть огромных пластов льда в горных ледниках, глетчерах (см. рис. на таблице I).

**126. Испарение.** Поместите на стеклянной пластинке капли ртути, воды, спирта и эфира. Через некоторое время капля эфира «высохнет», эфир **испарится**, т.-е., обратившись в пар, рассеется в окружающем воздухе; позднее испарится спирт, еще позднее ртуть тоже испарилась бы, если бы можно было наблюдать ее очень долгое время.

Жидкости в открытых сосудах более или менее быстро испаряются.

Заметим, что испаряться, «улетучиваться», могут и твердые тела. Нетрудно наблюдать обращение в пар твердого нафталина, камфары, йода и т. п.

Вывешенное после стирки белье просыхает и в морозном воздухе, при чем испаряется лед.

Если наблюдать испарение разных жидкостей при повышенной температуре, легко заметить, что с нагреванием испарение ускоряется.

Если взять две одинаковые порции жидкости, одну влить в узкую пробирку, а другую разлить по стеклу, то испарение во втором случае происходит значительно быстрее.

Испарение жидкости ускоряется, если струя воздуха от ветра или от дуновения удаляет образующиеся пары.

Итак, испарение происходит тем быстрее, чем выше температура, чем больше свободная поверхность жидкости, и чем скорее удаляются образующиеся пары.

- Что делают, чтобы ускорить просыхание чернил на рукописи, если под рукой нет пропускной бумаги?

**127. Кипение.** Налейте в небольшую открытую колбу воды и, вставив термометр, нагревайте. По мере нагревания в воде образуются пузырьки газа, вырастающие и поднимающиеся к поверхности; это — пузырьки воздуха, который удерживается растворенным в холодной воде, но выделяется из нагретой. Около 100° начинается **кипение** воды: в разных местах образуются и поднимаются к поверхности большие пузырьки водяного пара, вода более или менее сильно бурлит и хлопочет. Температура во все время кипения остается неизменной около 100°. Эта температура держится как в кипящей воде, так и в получающихся парах.

Температура кипения воды равна как-раз  $100^{\circ}$ , если кипение происходит при нормальном атмосферном давлении (76 см). При изменениях давления, которые зависят от состояния погоды, температура кипения может опускаться до  $99^{\circ}$  (при очень низких давлениях) и подниматься до  $101^{\circ}$  (при очень высоких давлениях). Уменьшая и увеличивая давление искусственно, можно, как увидим дальше, изменять температуру кипения воды несравненно больше.

Наблюдая кипение других жидкостей, например, спирта и эфира, заметим, что для них получаются другие температуры или точки кипения.

**Точки кипения (и сжижения) некоторых жидкостей.**

При нормальном давлении.

Водород . . . . .	— $253^{\circ}$	Вода . . . . .	$100^{\circ}$
Кислород . . . . .	— $183^{\circ}$	Льняное масло . . . . .	$316^{\circ}$
Эфир (серный) . . . . .	$35^{\circ}$	Ртуть . . . . .	$357^{\circ}$
Алкоголь . . . . .	$78^{\circ}$	Цинк . . . . .	$925^{\circ}$

### 128. Замечания относительно явления кипения.

**I. Влияние воздуха, растворенного в воде.** Для получения бурного кипения, для образования пузырьков пара внутри воды при температуре кипения необходимо присутствие внутри воды воздуха. Вода, лишенная воздуха (предварительно прокипяченная), не закипает, даже если температура ее на несколько градусов выше  $100^{\circ}$ . Но, внеся в такую перегретую воду пузырек воздуха, или бросив в нее какое-нибудь твердое тело с ничтожным слоем воздуха на поверхности, сейчас же получаем бурное кипение.

**II. Точки кипения водных растворов.** Присутствие в воде растворенных солей всегда повышает точку кипения. Крепкий раствор поваренной соли кипит выше  $105^{\circ}$ , а раствор хлористого кальция выше  $120^{\circ}$ .

**III. Сферoidalное состояние.** Нагревая постепенно горизонтально поставленную металлическую пластинку, можно наблюдать такое, на первый взгляд, странное явление. Когда температура пластинки немного выше  $100^{\circ}$ , пущенная на нее капля воды растекается и, быстро кипя, обращается в пар, но когда пластинка нагрета сильнее, капля воды может удержаться на пластинке, обращаясь в пар лишь очень медленно. Явление объясняется тем, что при сильном нагреве капля не прикасается к пластинке; под каплей получается слой пара, который, благодаря своей нетеплопроводности, защищает каплю от теплоты пластинки. Просвет между каплей и пластинкой можно видеть, помещая глаз на уровне пластинки (рис. 238).

Это явление носит название сферoidalного состояния жидкости, так как капля жидкости при этом удерживает сферoidalную, т.-е. шарообразную форму.

Смочивши руку водой или лучше эфиром, можно опустить ее в расплавленный свинец или чугун, не обжигаясь; быстро испаряющаяся жидкость образует как бы нетеплопроводную перчатку, защищающую руку.

**129. Кипение при увеличенном давлении. Папинов котел.** Если кипятить воду в колбе, из которой образующийся пар может удаляться,

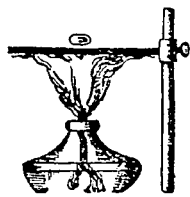


Рис. 238.  
Сферoidalное состояние капли.



то вода все время остается под атмосферным давлением, и температура кипения остается неизменной; но если прекратить выход пара, например, зажав каучуковую трубку (рис. 239), то пар скопляется над поверхностью воды и производит на нее увеличенное давление, при чем температура кипения повышается (градуса на 3, на 4). Производя опыт в колбе, нельзя получать больших давлений и больших повышений температуры, так как пробка или даже сама колба могут не выдержать; гораздо более удобным прибором для таких опытов служит так называемый Папинов<sup>1</sup> котел, т.-е. прочный металлический сосуд, снабженный манометром, термометром и предохранительным клапаном. Для термометра на крышке делается углубление (рис. 240), в которое наливается ртуть.

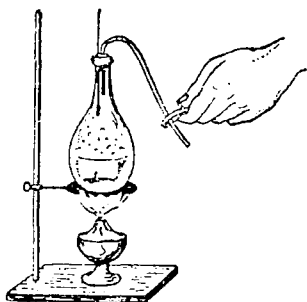


Рис. 239.

Температура кипения воды повышается, если прекращается выход образующегося пара.

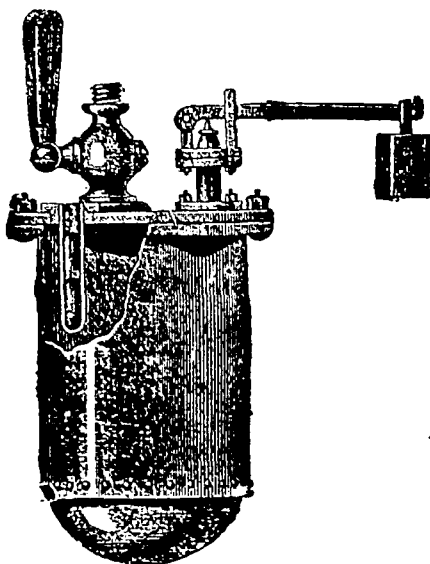


Рис. 240.

Папинов котел с предохранительным клапаном.  
а — трубка со ртутью для термометра.

пара внутри котла может увеличиваться только до такой величины, при которой пробка приподнимается и часть пара выходит наружу.

В Папиновом котле легко можно получить давление в несколько атмосфер, при чем температура воды в котле поднимается значительно выше  $100^{\circ}$  (до  $150^{\circ}$  и больше).

Папинов котел представляет собою модель тех котлов, в которых вырабатывается пар для приведения в действие разнообразных паровых машин.

<sup>1</sup> Папин (1650 — 1710), по происхождению француз, жил главным образом в Англии; его исследования свойств пара проложили путь к изобретению паровых машин.

**130. К и п е н и е п о д у м е н ь ш е н н ы м д а в л е н и е м.** Если давление меньше нормального атмосферного давления, то вода кипит при температуре ниже  $100^{\circ}$ .

Наблюдать воду, кипящую под уменьшенным давлением при температуре значительно ниже  $100^{\circ}$ , удобно следующим образом. Заставим воду сильно кипеть некоторое время в открытой колбе. Образующийся пар вытеснит из колбы воздух. Если теперь, прекратив нагревание, плотно закупорить колбу пробкой и опрокинуть горлышком в воду, то над водой в колбе не будет воздуха, а только лишь пар, давящий на поверхность воды. Если воду избавить от этого давления, она закипит при температуре значительно ниже  $100^{\circ}$ . Избавить же воду от давления пара можно, охлаждая верхнюю часть колбы при помощи холодной воды, эфира или снега (рис. 241), при чем пар сгущается в воду. Получается странное на первый взгляд явление: не очень горячая вода закипает от прикосновения снега ко дну опрокинутой колбы.

? Вскипятите немного воды в большом жестяном сосуде, в каких продают масло, керосин и т. п., и, закупорив пробкой, облейте сосуд холодной водой. Сосуд с треском сожмется и может лопнуть. Объясните явление.

? Если под колоколом воздушного насоса поместить стаканчик с эфиром, он начнет кипеть по мере выкачивания воздуха. Почему?

? На вершине Казбека вода в открытом сосуде закипает при температуре около  $85^{\circ}$  С. Почему?

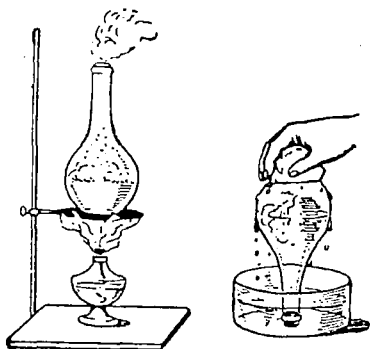


Рис. 241.

Кипение воды при температуре ниже  $100^{\circ}$  под уменьшенным давлением.

**131. Понятие о критической температуре.** Возьмем в запаянной стеклянной трубке небольшое количество эфира и будем постепенно нагревать. Эфир не будет кипеть, так как, по мере нагревания, образующийся над эфиром пар будет увеличивать давление, подобно тому, как это происходит с водой в Папиновом котле. Однако, при достаточном нагревании (около  $159^{\circ}$ ) мы заметим, что граница между жидким эфиром и его паром исчезнет. Выше этой температуры эфир может быть только в газообразном состоянии, несмотря ни на какое давление. Такую температуру, при которой вещество переходит в газообразное состояние при сколь угодно большом давлении, называют критической температурой вещества. Для воды критическая температура около  $365^{\circ}$ , для углекислоты — около  $31^{\circ}$ .

Углекислота в стеклянной трубке удерживается жидкой при комнатной температуре, но достаточно нагреть ее рукой, чтобы она, перейдя через критическую температуру, вся обратилась в газ.

Воздух, кислород, водород и многие другие газы не могут быть при комнатной температуре обращены в жидкое состояние никаким давлением; для этого их необходимо охладить до температуры ниже критической их температуры, а критические их температуры очень низки: например, для водорода около —  $241^{\circ}$ .

**132. Скрытая теплота парообразования.** При обращении жидкости в пар, как при кипении, так и при испарении, на самый переход из одного состояния в другое требуется некоторое количество теплоты.

Обратно, когда пар обращается в жидкость, он теряет, выделяет некоторое количество теплоты.

Количество теплоты, потребное для обращения в пар 1 g жидкости, называется **скрытой теплотой парообразования**.

Чтобы измерить величину скрытой теплоты парообразования воды, пустим в калориметр струю пара при  $100^\circ$  и будем наблюдать, сколько теплоты получит калориметр от пара, который, во-первых, сгущаясь в жидкость, отдаст свою скрытую теплоту, во-вторых, отдаст теплоту, остывая в виде воды от  $100^\circ$  до окончательной температуры калориметра.

Положим, что в калориметре было 600 g воды, которая нагрелась от  $20^\circ$  до  $30^\circ$  вследствие того, что в нее пущено 10 g пара или  $100^\circ$ .

Вода калориметра получила . . . . .	600 × 10 = 6000 калор.
10 g воды, остывая на $70^\circ$ (от $100^\circ$ до $30^\circ$ ), отдали . . . . .	700 »
От обращения 10 g пара в воду получ. . . . .	6000 — 700 = 5300 »

Отсюда получаем, что скрытая теплота парообразования равна 530 калориям. Более точная величина 536 калорий.

Итак, для обращения 1 g воды в пар при  $100^\circ$  требуется 536 калорий.

Произведем подробный расчет в алгебраической форме. Пусть в калориметр пропускается  $m$  g водяного пара при  $100^\circ$ ; в калориметре  $M$  g воды, температура которой поднимается от  $t_1^\circ$  до  $t_2^\circ$ . Обозначим скрытую теплоту парообразования через  $L_{\text{пар}}$ .

Нетрудно составить уравнение:

$$L_{\text{пар}} \cdot m + m (100 - t_2) = M (t_2 - t_1)$$

Колич. теплоты, отданное паром при обращении в воду.	Колич. теплоты, отданное водой, полученной из пара.	Колич. теплоты, полученное водой калориметра.
--	---	---

Откуда получаем:

$$L_{\text{пар}} = \frac{M (t_2 - t_1) - m (100 - t_2)}{m}$$

**Скрытая теплота парообразования некоторых жидкостей.**

Число калорий, потребное для обращения в пар 1 g жидкости при температуре кипения.

Вода . . . . .	536	Эфир . . . . .	90
Алкоголь . . . . .	200	Ртуть . . . . .	62

☞ Налейте в пробирку небольшое количество воды и подогревайте на сильном огне. Оцените приблизительно величину скрытой теплоты парообразования, сравнивая время, потребное для нагревания воды от комнатной температуры до  $100^\circ$ , с временем, в течение которого эта нагретая вода, начав кипеть, выкипает до конца.



Ледник, стекающий с горы.



? Сколько требуется теплоты, чтобы 1 фунт льда при  $-20^{\circ}$  превратить в пар при  $100^{\circ}$ ?

? Какие явления природы зависят от различных особенностей в тепловых свойствах воды (неправильное расширение, большая удельная теплоемкость, большие скрытые теплоты плавления и парообразования).

133. **Понижение температуры при испарении.** Вследствие поглощения скрытой теплоты при испарении замечается более или менее

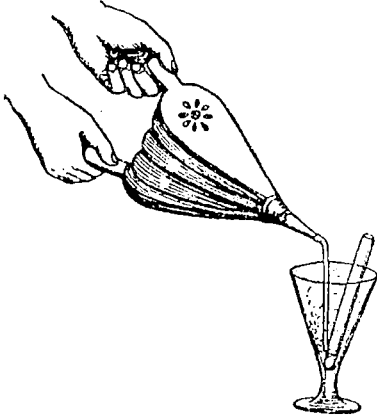


Рис. 242.

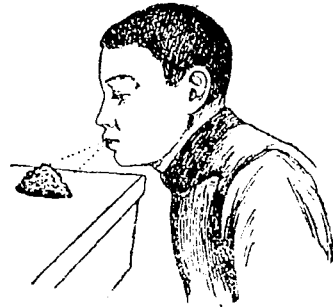


Рис. 243.

При быстром испарении эфира получается сильное охлаждение.

сильное о х л а ж д е н и е. Рука, смоченная водой, ощущает холод; этот холод ощущается заметней, если смоченной рукой помахать в воздухе или выставить ее на ветер, что ускоряет испарение.

Если вместо воды смочить руку более быстро испаряющимся спиртом или эфиром, охлаждение получится более сильное.

Струя жидкой углекислоты, выпущенная на воздух из бомбы (см. § 3 стр. 15) моментально испаряется, при чем получается настолько значительное охлаждение (до  $-60^{\circ}$ ), что углекислота затвердевает в снегоподобные хлопья.

Подобное явление можно получать и с водой: если небольшое количество воды при помощи воздушного насоса быстро освобождать от давления воздуха, то испарение воды происходит настолько быстро, что, охлаждаясь, она замерзает.



Рис. 244.

Сосуды из пористой глины для охлаждения воды („алькарацца“).

? Влейте в пробирку немного воды и вставьте ее в стакан с эфиром.

Ускоряя испарение эфира вдуванием воздуха при помощи маленьких мехов, легко можно получить такое охлаждение, что вода замерзает (рис. 242).

? Смочите эфиром губочку и дуйте на нее; она вскоре покроется инеем (рис. 243).

? Чтобы получить прохладную воду в жаркий летний день, можно влить воду в сосуд из слабо обожженной глины (рис. 244), которая может промокать. Вода, влитая в такие сосуды (называемые арабским словом «алькараица»), делается заметно холоднее окружающего воздуха. Почему?

? Чтобы скорее охладить чай, его вливают на блюдце, па него дуют. Почему это способствует охлаждению?

**134. Пары, насыщающие пространство.** Устроим ртутный барометр, взяв для него настолько длинную трубку, чтобы «торичеллева пустота» занимала значительное пространство (рис. 245, *a*). Будем по возможности самыми небольшими порциями вводить в торичеллеву пустоту серный (этиловый) эфир. Это нетрудно сделать при помощи пипетки с резиновой «грушей» и с загнутым кончиком, который под ртутью вводится в барометрическую трубку. Нажиманием груши эфир по каплям выталкивается из пипетки, всплывает внутри ртутного столбика и, попадая в торичеллеву пустоту, мгновенно испаряется.

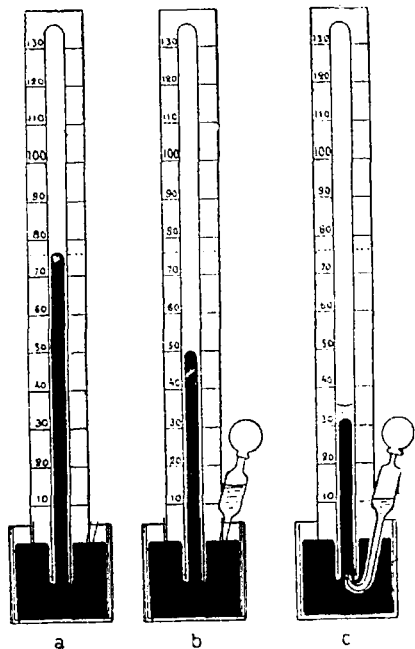


Рис. 245.

*a* — над ртутью торичеллева пустота.  
*b* — над ртутью ненасыщающий пар.  
*c* — над ртутью насыщающий пар.

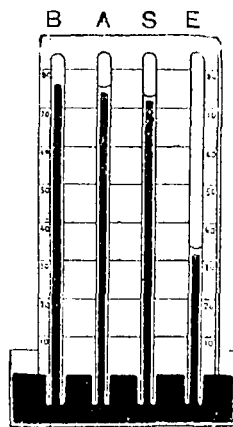


Рис. 246.

*B* — барометрическая трубка. В трубке *A* над ртутью вода, в трубке *S* — спирт, в трубке *E* — эфир.

Образовавшийся над ртутью эфирный пар производит давление как па стенки трубки, так и на ртуть, вследствие чего барометрический столбик понижается. Величина этого понижения дает нам величину давления пара. Если, например, барометрический столбик вместо 76 см оказывается равным 50 см (рис. 245, *b*), значит, давление пара над ртутью равно 26 см.

По мере введения новых порций эфира давление пара возрастает, барометрический столбик понижается все более и более, но лишь до некоторого предела. Когда понижение достигает приблизительно 44 см, т. е. когда высота столбика ртути делается равной приблизительно 32 см,<sup>1</sup> дальнейшие вво-

<sup>1</sup> Такие числа указаны в предположении, что опыт производится при комнатной температуре около 20° С.

димые в трубку капли эфира уже не испаряются, а остаются над ртутью в жидком состоянии. Давление пара при этом более не возрастает, столбик ртути более не понижается. (Ничтожного понижения, зависящего от веса жидкого эфира, можно в расчет не принимать, ибо эфир почти в 20 раз легче ртути, а потому слой эфира даже в 3 — 4 сантиметра высотой понижает столбик ртути едва на 2 мм.)

Итак, мы видим, что, когда пар эфира достигает определенной плотности, соответствующей давлению в 44 см, дальнейшего испарения не происходит. При этих условиях пар эфира, как принято говорить, насыщает то пространство, которое он занимает. Самый пар, находящийся в таком состоянии, называют насыщающим (или насыщенным) паром.

Насыщающим паром называется пар, обладающий такой плотностью, при которой не происходит дальнейшего испарения жидкости.

Пар, не достигший плотности, достаточной для насыщения пространства, называют ненасыщающим или перегретым<sup>1</sup> паром.

При одной и той же температуре давление насыщающего пара для различных веществ различно.

Возьмем 4 барометрических трубки (рис. 246). Трубку *B* оставим, как она есть, в качестве барометра; в трубку *A* введем немного воды, в трубку *S* — винного спирта (алкоголя), а в трубку *E* — эфира. Каждой жидкости введем столько, чтобы несколько капель оставалось над ртутью в жидком состоянии: при этом условии мы можем быть уверены, что в верхних частях трубок пары насыщают пространство.

Понижение столбиков ртути получается различное: для воды (при 20° С.) всего 1,7 см, для спирта 4,5 см, а для эфира, как мы уже знаем, около 44 см.

Ртуть, подобно всякой другой жидкости, способна испаряться при всякой температуре, но для ртути давление ее насыщающего пара при комнатной температуре ничтожно мало — всего около 0,0013 пип (при 20° С.). Торичеллиева «пустота» ртутного барометра всегда заполнена ртутным паром, давление которого понижает высоту барометрического столба, но при невысоких температурах это понижение так мало, что им с полным правом можно пренебрегать.

**135. Изменение давления пара в зависимости от изменения объема.** Изменения величины как ненасыщающих, так и насыщающих паров весьма удобно наблюдать в достаточно длинной барометрической трубке, открытым концом погруженной в достаточно глубокий сосуд с ртутью.

Введем в торичеллиеву пустоту такое количество эфира, которое способно испариться без остатка, не насыщая пространства (рис. 247, трубка 1).

Длина трубки над ртутью может служить нам мерою объема, занимаемого паром, а величина понижения ртутного столбика дает величину давления пара.

Опустим теперь трубку на некоторую небольшую глубину. Объем пара уменьшится, а давление возрастет (рис. 247, трубка 2). Измерения легко обнаруживают, что, пока пар не насыщает пространства, давление увеличивается во столько раз, во сколько раз уменьшается объем.

Для ненасыщающего пара давление обратно пропорционально объему (при неизменной температуре); иными словами, объем  $\times$  давление ненасыщающего пара изменяются согласно с законом Бойля-Мариотта, т.е. совершенно так же, как для газов.

Опуская трубку еще ниже и тем еще уменьшая объем пара, мы легко доводим пар до такой плотности, при которой он уже насыщает пространство над

<sup>1</sup> Смысл этого второго названия будет понятен из дальнейшего.



ртутью (рис. 247, трубка 3). Начиная с этого момента, при дальнейшем опускании трубки все большее и большее количество пара сгущается в жидкость, при чем давление пара остается неизменным (столбик ртути не понижается).

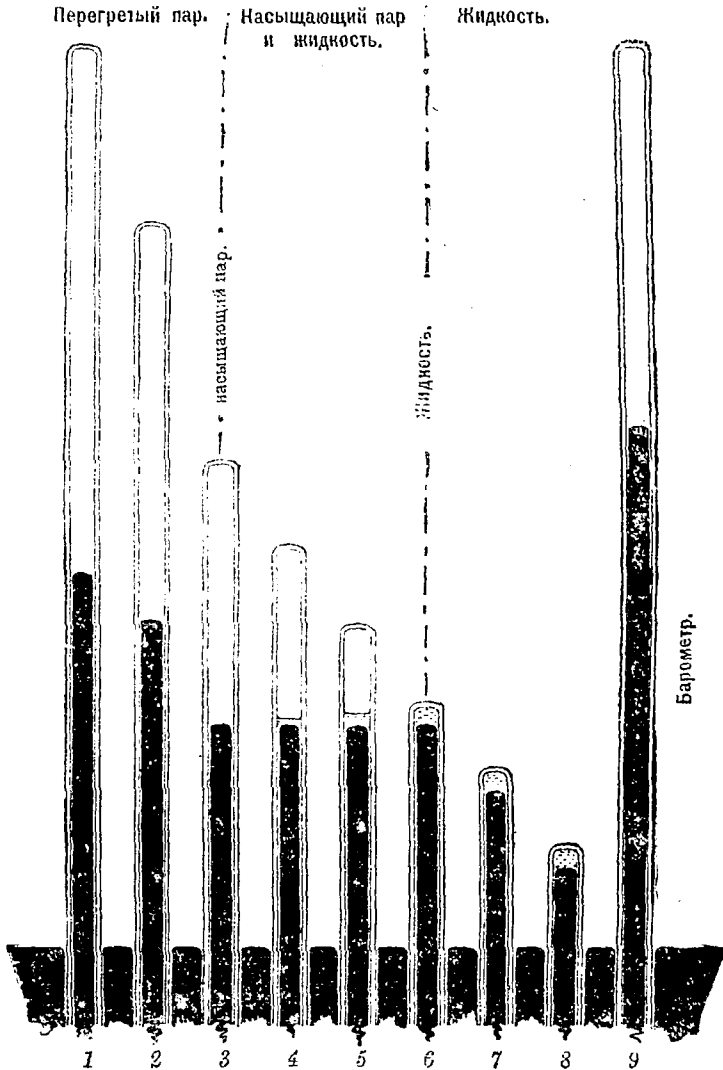


Рис. 247.

Изменение давления перегретого и насыщающего пара в зависимости от изменения объема.

От момента, когда появляется первая капелька жидкости, до момента, когда обращается в жидкость последний пузырек пара (рис. 247, трубки 3, 4, 5 и 6), мы имеем насыщающий пар, соприкасающийся с своею жидкостью. Опуская и поднимая трубку в этих пределах, мы видим, что при изменениях

общего объема. занимаемого насыщающим паром и жидкостью, изменяются количества пара и жидкости (при увеличении объема часть жидкости переходит в пар, при уменьшении — часть пара сгущается в жидкость), давление же пара остается неизменным.<sup>1</sup>

После того, как весь эфир сгустится в жидкость (рис. 247, трубка б), мы можем еще дальше опускать трубку; давление, испытываемое жидким эфиром, будет при этом возрастать, но объем будет оставаться неизменным, ибо даже очень значительным давлением можно достигнуть лишь весьма малого сжатия жидкости.

### 136. Зависимость давления насыщающего пара от температуры.

Величина давления насыщающего пара зависит от его температуры.

Попробуем слегка нагреть нашу трубку, содержащую эфир и его насыщающий пар (рис. 246, Е). Это можно сделать, просто проведя по трубке пламенем горелки. При повышении температуры некоторое новое количество эфира обратится в пар, и давление пара возрастет, что будет заметно по добавочному понижению столбика ртути.

Если, наоборот, трубку охладить, что можно быстро сделать, проведя по трубке куском льда, то часть пара сгущается в жидкость, и давление уменьшается, вследствие чего столбик ртути поднимается.

Чтобы более тщательно исследовать давление насыщающего пара при разных температурах, трубку, содержащую насыщающий пар, можно окружить более широкой стеклянной трубкой, в которую можно вливать воду той, то другой температуры. При помощи подобного прибора можно измерить давления насыщающих паров для эфира, для спирта и для воды при разных температурах вплоть до их точек кипения.

Приборы несколько иного устройства позволяют продолжить измерение и для более высоких температур — до критических температур исследуемых жидкостей включительно.

Приблизительные величины давления насыщающих паров названных жидкостей сопоставлены в таблице, приведенной на стр. 182.

Для эфира 35°, для спирта 78°, а для воды 100° суть температуры кипения этих жидкостей при нормальном давлении. При этих температурах давление насыщающих паров оказывается как-раз равным нормальному давлению атмосферы (76 см). В этих частных случаях оказывается справедливость следующего общего закона:

Жидкость закипает при такой температуре, при которой давление насыщающего пара делается равным тому давлению, под которым находится жидкость.

Например, как указано в таблице, при 50° для спирта явление насыщающего пара равно 22 см; это значит, что, находясь под давлением в 22 см, спирт закипит при 50°. Для воды при 30° давление насыщающего пара равно 3,1 см, следовательно, под давлением в 3,1 см вода закипает при 30°.

<sup>1</sup> Говоря об этом важном свойстве насыщающих паров, иногда употребляют не совсем точное выражение: «насыщающие пары в отличие от газов не подчиняются закону Бойля-Мариотта». Правда, если мы будем говорить о некоторой массе вещества, находящейся частью в состоянии насыщающего пара, частью в состоянии жидкости, то получается нарушение закона Бойля-Мариотта (объем изменяется, а давление остается неизменным); но если говорить только о паре, то для данной массы пара закон Бойля-Мариотта оказывается справедливым, безразлично будет ли пар насыщающим, или ненасыщающим. Это особенно ясно, если мы возьмем закон Бойля-Мариотта в такой формулировке: плотность газа изменяется прямо пропорционально давлению (§ 102). Ясно, что насыщающий пар следует этому закону: при неизменной плотности пара неизменно и производимое им давление.

Давление насыщающих паров			
Температуры	Этиловый (серный) эфир	Алкоголь (вишней спирт)	Вода
0°	18,6 см	1,3 см	0,46 см
10°	29 »	2,4 »	0,9 »
20°	44 »	4,5 »	1,7 »
30°	64 »	7,9 »	3,1 »
35°	76 »	—	—
40°	92 »	13,4 »	5,5 »
50°	127 »	22 »	9,2 »
60°	174 »	35 »	14,7 »
70°	—	56 »	23,2 »
78°	—	76 »	—
80°	—	83 »	35,3 »
90°	—	120 »	52,4 »
100°	—	167 »	76 »
120°	—	—	2 атмосфер.
150°	—	—	4,7 »
200°	—	—	15,2 »
	При критической температуре (195°) давление равно 35,7 атмосфер.	При критической температуре (242°) давление равно 63 атмосфер.	При критической температур (364°) давление равно 195 атмосфер.

? Вода находится под давлением в пол-атмосферы. При какой приблизительно температуре закипит эта вода? При какой температуре закипит эфир, находящийся под таким же давлением?

? Под каким давлением должна находиться вода, чтобы она кипела при 25°? Под каким давлением должен находиться вишней спирт, чтобы он кипел при 25°?

**137. Закон Дальтона для газов и для насыщающих паров.** Представим себе, что в какой-нибудь замкнутый сосуд мы пускаем один раз некоторое количество одного газа, — например, водорода; другой раз какое-нибудь количество другого газа, — например, углекислоты. Пусть при заполнении водородом давление на стенки сосуда равно, например,  $p_1 = 20$  см, а при заполнении углекислым газом равно  $p_2 = 15$  см. Если ввести этот сосуд оба газа вместе, то давление смеси газов окажется равным сумме давления каждого из газов в отдельности. В нашем примере давление смеси водорода и углекислого газа будет равно  $p_1 + p_2 = 35$  см.

Этот закон, установленный впервые Дальтоном <sup>1</sup> и носящий его имя, оказывается справедливым для смеси скольких угодно газов, но лишь при условии, что содержащиеся в смеси газы не действуют друг на друга химически.

Итак, давление смеси газов, не действующих друг на друга химически, равно сумме давлений, произведенных каждым из газов в отдельности (закон Дальтона для газов).

Справедливость этого закона можно проследить на таком, например, опыте. Возьмем два одинаковые сосуда, снабженные манометрами: один, наполненный

<sup>1</sup> Джон Дальтон — английский ученый, среди многочисленных и разнообразных работ которого особенно важное значение имеет установление атомистической теории вещества в приложении к химическим явлениям (1766 — 1844).

воздухом при атмосферном давлении, другой — углекислым газом при атмосферном давлении. Соединим сосуды по возможности широкой трубкой; через некоторое время газы перемешаются так, что в обоих сосудах получится одинаковая смесь. Манометры при этом не покажут никакого изменения давления. Объем каждого из газов увеличился вдвое, следовательно, давление каждого из газов сделалось равным половине атмосферы, общее же давление равно сумме давлений каждого из газов, т.-е. атмосфере.

Закон Дальтона выражают иногда в такой форме: всякий газ распространяется в другом газе, как в пустоте.

Закон Дальтона оказывается справедливым не только для смесей газов, но и для смесей газов с парами, при чем пары могут быть насыщающими пространство.

Пусть в торичеллиеву пустоту барометра некоторое количество какого-нибудь газа, — например, углекислоты. Пусть при этом газ займет 40 см длины трубки, а ртуть под давлением этого газа понизится, например, на 26 см, так что длина столбика ртути получится в 50 см (рис. 248, *a*). Введем в трубку такое количество воздуха, чтобы пар его мог насытить пространство над ртутью; опустим затем трубку настолько, чтобы смесь газа и насыщающего пара занимала такой же объем, как раньше один газ, т.-е. 40 см трубки. Мы увидим тогда (рис. 248, *b*), что столбик ртути понизится ровно настолько же, насколько понижался тогда, когда насыщающий пар спирта вводился в пустоту. (При 20° понижение равно, как мы знаем, приблизительно 4,5 см.)

Итак, давление насыщенного пара одинаково, как при испарении жидкости в пустоту, так и при испарении в пространстве, занимаемое каким-нибудь газом.

Заметим, что это верно лишь при том условии, что жидкость, находящаяся в соприкосновении с газом, не способна поглощать этого газа в значительном количестве.<sup>1</sup>

Разница между испарением в пустоту и испарением в пространстве, занятое газом, заключается лишь в различной быстрой испарения: в пустоту жидкость испаряется чрезвычайно быстро, в газ же — более или менее медленно в зависимости от давления газа.

Чтобы проследить испарение жидкости в воздухе при различных давлениях, можно воспользоваться таким прибором. Широкогорлая колба *K* (рис. 249) закрыта пробкой с тремя отверстиями: первое отверстие соединяется с манометром *M*; второе отверстие через трубку с зажимом *N* может сообщать колбу с воздушным насосом, при помощи которого большая или меньшая часть воздуха может из колбы удаляться; чрез третье отверстие проходит трубка, снабженная сверху воронкой *C* с краном. В эту воронку вливается жидкость, пар которой мы желаем исследовать.

Выкачаем из колбы часть воздуха и измерим по манометру *M* давление оставшейся части. После этого откроем кран и впустим в колбу жидкость, — например, эфир, — в таком количестве, чтобы его пар мог насытить весь объем колбы. Давление внутри колбы начнет постепенно возрастать и увеличится через некоторое время на 44 см (при 20°), т.-е. как-раз на величину давления насыщенного пара. Испарение будет происходить тем быстрее, чем меньше воздуха оставим мы в колбе, но прирост давления во всех случаях будет одинаковым.

При помощи такого прибора так же, как при помощи барометрической трубки, можно исследовать явление и в том случае, когда одно и то же про-

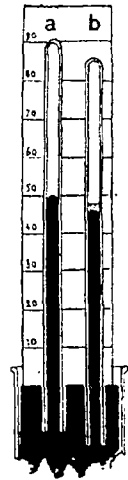


Рис. 248.

В трубке *a* — над ртутью воздух; в трубке *b* — воздух и насыщающий пар спирта.

<sup>1</sup> Если бы вместо спирта и углекислого газа мы взяли, например, воду и аммиак, то в присутствии воды давление аммиака значительно уменьшилось бы, так как часть аммиака была бы поглощена водой.

странство насыщается парами двух или нескольких различных жидкостей.

Пустим, например, в колбу *K* (рис. 249) не только эфира, но еще бензина. Тогда увидим, что давление смеси насыщающих паров получится равное сумме давлений паров каждого сорта в отдельности. Заметим, однако, что это получается лишь при том условии, что жидкости, образующие пары, не смешиваются друг с другом. Если бы мы взяли две жидкости, смешивающиеся друг

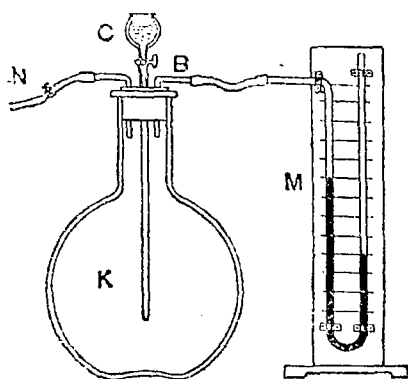


Рис. 249.

Прибор для измерения давления насыщающего пара, примешанного к воздуху.

с другом в каких угодно количествах (напр., воду и спирт) или смешивающиеся хотя бы только отчасти (напр., воду и эфир), то давление смеси паров не получится бы равным сумме давлений паров, взятых в отдельности.

Для жидкостей, не смешивающихся друг с другом, давление смеси насыщающих паров равно сумме давлений каждого из паров в отдельности (закон Дальтона для насыщающих паров).

### 138. Насыщающие пары растворов.

Если мы вместо чистой жидкости будем исследовать жидкость, в которой растворено какое-нибудь твердое вещество, то давление насыщающего пара для раствора всегда оказывается меньше, чем для чистой жидкости.

Например, для водных растворов поваренной соли (хлористого натрия) или хлористого кальция давление насыщающих паров значительно меньше, чем для чистой воды при той же температуре. Эта разница тем больше, чем больше соли растворено в данном количестве воды.

Такое уменьшение давления насыщающего пара наблюдается и в том случае, если в жидкости растворена какая-нибудь другая жидкость, но лишь при том условии, что эта другая жидкость сама не дает значительного количества паров. Для воды, смешанной, например, с серной кислотой, давление насыщающего пара (который в этом случае можно считать образующимся из одной только воды) заметно меньше, чем для чистой воды.

Заметим, что это явление находится в согласии с упомянутым раньше (§ 128, II) правилом, согласно которому растворы кипят при более высоких температурах, чем чистые жидкости. Действительно, для чистой жидкости при температуре ее кипения давление ее насыщающего пара равно атмосферному давлению, для раствора же давление пара меньше атмосферного, поэтому раствор и не может еще кипеть.

Возьмем дугоколенную трубку (рис. 250), в одно колено которой вольем немного воды, а в другое — раствора хлористого кальция (вместо раствора можно ввести в трубку хлористый кальций в твердом виде).

Вода будет испаряться, стремясь насытить своим паром пространство внутри трубки (чтобы испарение шло быстрее, из трубки можно выкачать воздух). Водяной пар будет распространяться по всей трубке, но пар, образующийся над чистой водой, будет иметь большую плотность, чем требуется для насыщения пространства над раствором; поэтому над раствором часть пара будет сгущаться в воду. Нетрудно видеть, что при этих условиях в ся чистая вода должна рано или поздно перебраться в колено, содержащее раствор. Хлористый кальций, как говорится, поглотит водяной пар.

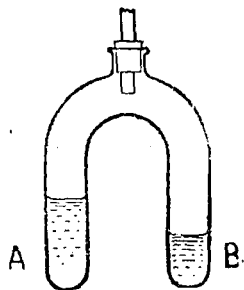


Рис. 250.

Чистая жидкость, испаряясь, переходит из колена *A* в колено *B*, содержащее раствор.

Вещества, способные подобно хлористому кальцию поглощать водяной пар, называются гигроскопическими веществами. В значительной степени гигроскопическим веществом является серная кислота, в еще большей степени — фосфорный ангидрид.

Гигроскопическими веществами часто пользуются для осушения воздуха, т.-е. для удаления из него паров воды. Например, для того, чтобы на оконных стеклах зимой не получалось ледяных налетов («морозных узоров»), между рамами помещают стаканчики с серной кислотой; благодаря присутствию серной кислоты, в воздухе между рамами остается настолько мало водяного пара, что он не дает заметного осадка на стеклах. При многих физических и химических опытах для осушения воздуха или другого какого-нибудь газа, его пропускают чрез трубки, содержащие порошок хлористого кальция или кусочки стекла, смоченные серной кислотой.

**139. Влажность воздуха. Точка росы. Влажность абсолютная и влажность относительная.** Окружающий нас воздух обычно содержит в себе более или менее значительное количество водяного пара. В этом, между прочим, убеждает нас следующее всем знакомое явление: если в теплое помещение вносится какой-нибудь сильно охлажденный предмет, то на этом предмете появляется роса,<sup>1</sup> представляющая собою не что иное, как водяной пар, осевший на предмет из окружающего воздуха.

Обычно водяной пар содержится в воздухе в таком количестве, которое является недостаточным для насыщения. Мы знаем, например, что вода в открытых сосудах постепенно испаряется, а этого не могло бы быть, если бы окружающий воздух был уже насыщен водяным паром.

Мы знаем, что для насыщения пространства требуется тем больше пара, чем выше температура. Количество пара, недостаточное для насыщения воздуха при одной температуре, может насыщать его при другой, более низкой температуре. Если при неизменном количестве пара температура воздуха понижается, то пар все более и более приближается к состоянию насыщения. Когда пар делается, наконец, насыщающим, то при дальнейшем понижении температуры часть пара сгущается в жидкость; в воздухе появляется туман, осаждающийся на твердых телах в виде «росы».

Температура, при которой имеющийся в воздухе пар насыщает пространство, называется точкой росы.

Как для научных, так и для практических целей часто является нужным возможно точное определение «влажности» воздуха, т.-е. оценка того количества водяного пара, которое содержится в воздухе. Влажность принято характеризовать двояким способом: или величиной абсолютной влажности, или величиной относительной влажности.

Выясним сначала понятие об абсолютной влажности, которая, в свою очередь, может определяться двумя различными числовыми величинами.

Во-первых, абсолютная влажность определяется весовым количеством водяного пара, содержащимся в единице объема воздуха. Принято показывать это количество в граммах на кубический метр. Говорят, например, что абсолютная влажность равна 7,8 грамма на куб. метр. Это значит, что в каждом ш<sup>3</sup> воздуха содержится 7,8 г водяного пара.

Во-вторых, абсолютная влажность определяется величиной того давления, которое производит водяной пар, содержащийся в воздухе. Давление это принято выражать в миллиметрах ртутного столба. Говорят, например, что абсолютная влажность равна 7,5 мм. Это значит, что пар, содержащийся в воздухе, производит такое же давление, как слой ртути в 7,5 мм высотой. Если бы, следовательно, мы удалили из какого-нибудь сосуда весь воздух, но оставили бы весь

<sup>1</sup> В просторечии в этом случае говорят, что предмет «запотел».

содержащийся в воздухе пар, то давление на стенки сосуда получалось бы равное 7,5 мм.

Заметим, что при указанных единицах числа, выражающие абсолютную влажность тем и другим способом, оказываются случайно очень близкими друг к другу. Например, когда 1 м<sup>3</sup> воздуха содержит 10,7 г пара, давление этого пара равно 10,5 мм; когда 1 м<sup>3</sup> воздуха содержит 13,7 г пара, давление равно 13,6 мм.

Величина абсолютной влажности сама по себе недостаточна для того, чтобы характеризовать степень «сырости» или «сухости» воздуха. Действительно, при одном и том же количестве пара, если температура достаточно низка, воздух может быть очень влажным, ибо будет близок к насыщенному водяным паром; если же температура высока, то это же количество пара будет далеко от насыщения, и воздух будет представляться сухим.

Близость содержащегося в воздухе водяного пара к насыщенному характеризуется величиной относительной влажности.

Относительная влажность определяется отношением количества находящегося

в воздухе пара к тому количеству, которое насыщало бы воздух при той же температуре. Обычно принято выражать относительную влажность в процентах. Пусть, например, в воздухе при 8° содержится 9,6 г пара на 1 м<sup>3</sup>, а нам известно, что для насыщения пространства при 18° каждый куб. метр должен содержать 12,8 г пара. Тогда относительная влажность равна:

$$\frac{9,6}{12,8} = 0,75 \text{ или } 75\%.$$

Совершенно аналогичным образом относительная влажность может определяться отношением давления пара, имеющегося в воздухе, к тому давлению, которое производил бы пар, если бы насыщал воздух при той же температуре.

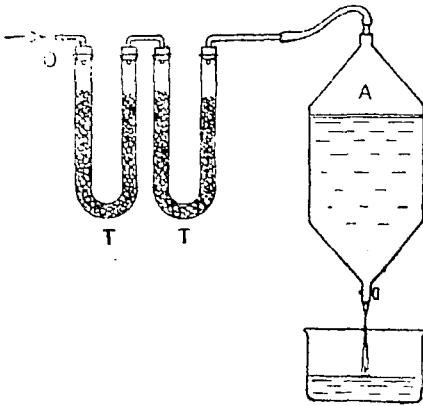


Рис. 251.

Схема химического гигрометра.

**140. Измерение абсолютной и относительной влажности. Гигрометры и гигроскопы.** Измерения влажности воздуха производятся при помощи приборов, называемых **г и г р о м е т р а м и**. Для измерения абсолютной влажности надо измерить вес пара, содержащегося в каком-нибудь определенном объеме воздуха. Это достигается при помощи так называемого **х и м и ч е с к о г о** гигрометра, схематически изображенного на рис. 251. Сосуд А, называемый **а с п и р а т о р о м**, имеет определенную емкость. В аспираторе имеются два отверстия: одно снизу, снабженное краном, другое сверху. Наполнив аспиратор предварительно водой, верхнее отверстие соединяют с тщательно взвешенными трубками Т, содержащими гигроскопические вещества (хлористый кальций, серную кислоту и т. п.). Открыв кран, из аспиратора выпускают воду, при чем через отверстие О проходит воздух, объем которого равен емкости аспиратора. Содержавшийся в воздухе пар остается при этом в трубках Т, взвешивая которые после опыта, определяют вес пара.

Пусть, например, при емкости аспиратора в 100 литров (т.е. 0,1 м<sup>3</sup>) увеличение веса трубок получилось в 0,87 г; тогда заключаем, что абсолютная влажность равна 8,7 г на куб. метр.

По этой величине может быть вычислена и величина **д а в л е н и я** водяного пара. (В нашем примере давление получается приблизительно в 8,5 мм.)

Количество и давление насыщающих паров воды при различных температурах.

Температура	Количество пара в граммах на 1 куб. метр	Давление в миллиметрах ртутного столба	Температура	Количество пара в граммах на 1 куб. метр	Давление в миллиметрах ртутного столба	Температура	Количество пара в граммах на 1 куб. метр	Давление в миллиметрах ртутного столба
— 10	2,1	1,9	0	4,9	4,6	10	9,4	9,2
— 9	2,3	2,1	1	5,2	4,9	11	10,0	9,8
— 8	2,5	2,3	2	5,6	5,3	12	10,7	10,5
— 7	2,7	2,5	3	6,0	5,7	13	11,4	11,2
— 6	3,0	2,8	4	6,4	6,1	14	12,1	12,0
— 5	3,3	3,0	5	6,8	6,5	15	12,8	12,8
— 4	3,6	3,3	6	7,3	7,0	16	13,7	13,6
— 3	3,9	3,6	7	7,8	7,5	17	14,5	14,5
— 2	4,2	3,9	8	8,3	8,0	18	15,4	15,5
— 1	4,5	4,2	9	8,8	8,6	19	16,3	16,5
— 0	4,9	4,6	10	9,2	9,2	20	17,3	17,5

Чтобы по абсолютной влажности определить относительную влажность, надо, во-первых, знать температуру исследуемого воздуха, во-вторых — количество паров, насыщающих воздух при этой температуре. Заранее определенное количество паров, насыщающих пространство при разных температурах, а также давления, соответствующие этим количествам, приводятся в таблицах, подобных приведенной выше.

Положим, что температура воздуха, исследуемого в нашем примере, равна 17°. В таблице находим, что при этой температуре для насыщения пространства должно быть 14,5 г на 1 м³. Отсюда получаем, что относительная влажность равна:

$$\frac{8,7}{14,5} = 0,6 \text{ или } 60\%.$$

Есть несколько типов весьма удобных гигрометров, позволяющих более или менее точно определять влажность при помощи наблюдения точки росы. Опишем один из таких гигрометров — так называемый гигрометр Даниэля.

Изогнутая стеклянная трубка *ABCD* (рис. 252), оканчивающаяся двумя шариками *A* и *D*. Шарик *A* содержит серный эфир, температура которого измеряется термометром, помещенным внутри трубки; остальные части трубки заполнены парами эфира.

Шарик *D* снаружи окружен слоем какой-нибудь редкой ткани, например, кисеи, быстрое испарение которого производит охлаждение шарика *D*, при чем внутри эфирный пар сгущается в жидкость, а потому давление его значительно уменьшается.

Вследствие уменьшения давления внутри трубки эфир в шарике *A*, в свою очередь, быстро испаряется, что вызывает охлаждение и самого эфира, и стенок

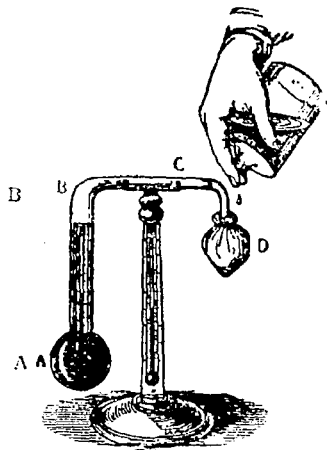


Рис. 252.  
Гигрометр Даниэля.



шарика А. Когда охлаждение достигает точки росы, внешняя поверхность шарика А затуманивается: на ней получается налет мельчайших капелек воды. Чтобы сделать более заметным появление этого налета, часть шарика А иногда покрывают тонким слоем золота.

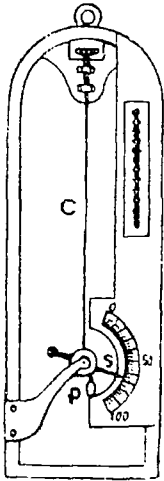


Рис. 253.  
Волосной гигрометр  
Соссюра.

Показание внутреннего термометра в момент появления налета дает точку росы. Зная точку росы и температуру воздуха (по показанию внешнего термометра), при помощи таблицы (стр. 187) можем определить и абсолютную, и относительную влажность.

Пусть, например, точка росы оказалась равной  $12^\circ$ , тогда как температура воздуха равна  $17^\circ$ . Если точка росы равна  $12^\circ$ , значит при  $12^\circ$  пар, имеющийся в воздухе, насыщает пространство, а следовательно, как видим из таблицы, количество пара равно  $10,7 \text{ g}$  на  $1 \text{ m}^3$  — это и есть абсолютная влажность. Чтобы определить относительную влажность, смотрим в таблице, какое количество пара требуется для насыщения воздуха при  $17^\circ$ . Это количество равно  $14,5 \text{ g}$  на  $1 \text{ m}^3$ . Отсюда относительная влажность получается равной:

$$\frac{10,7}{14,5} = \text{прибл. } 0,74 \text{ или } 74\%.$$

Опишем еще один из гигрометров — так называемый волосяной гигрометр Соссюра,<sup>1</sup> очень просто устроенный, но пригодный лишь для приблизительной оценки относительной влажности.

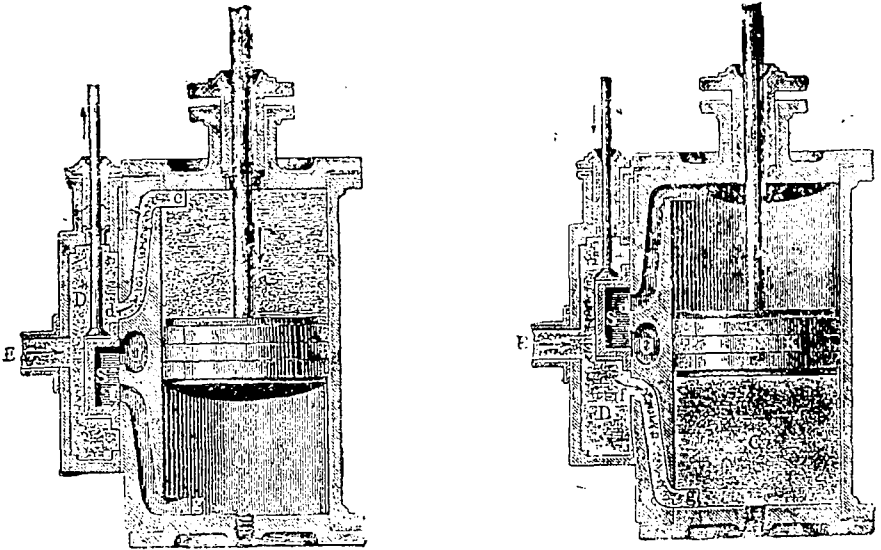


Рис. 254.

Разрез парового цилиндра и латунной коробки.

Устройство этого гигрометра основано на свойстве волоса удлиняться и укорачиваться в зависимости от большей или меньшей относительной влажности окружающего воздуха.

<sup>1</sup> С о с с ю р — швейцарский физик и геолог. Первый совершил восхождение на вершину Монблана (1740 — 1799).

Очищенный от жира человеческий волос *C* (рис. 253) прикреплен своим верхним концом к оправе прибора: нижний же конец намотан на маленький валик и снабжен грузиком *p*, растягивающим волос. Если волос удлиняется или укора-

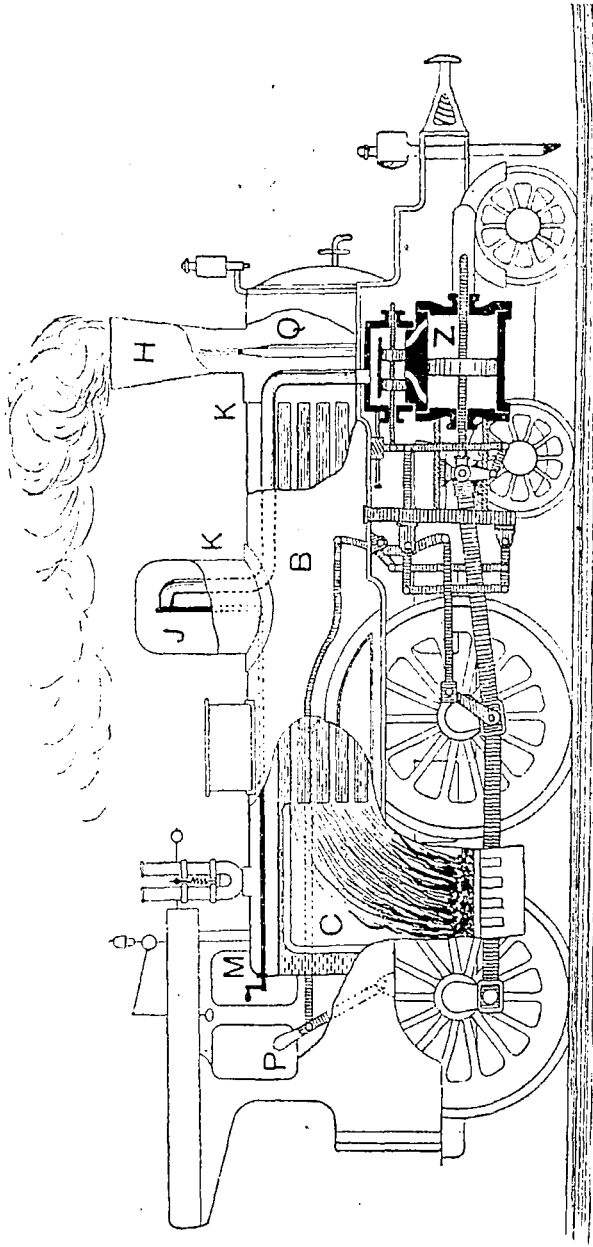


Рис. 255.

Паровоз. *B* — паровой котел, *C* — толка, *J* — сужофарник, *КК* — паропускная трубка, *И* — паровой цилиндр, *Q* — паровыпускная трубка, *И* — дымовая труба.

чивается, валик вращается и поворачивает прикрепленную к нему стрелку *S*. Конiec стрелки перемещается при этом по шкале, на которой отмечены соответствующие величины относительной влажности.

Существуют еще разнообразные приборы, которые, не давая возможности измерять влажность, все же позволяют, хоть и очень приблизительно, судить о влажности и ее изменениях. Такие приборы называют г и г р о с к о п а м и.

В качестве грубого гигроскопа употребляется, например, ткань, пропитанная хлористым кобальтом, который обладает способностью поглощать водяной пар и изменять свою окраску в зависимости от влажности воздуха. В совершенно сухом воздухе такая ткань имеет синюю окраску, которая по мере увеличения влажности переходит через разные оттенки лилового цвета и в очень влажном воздухе делается розовой.

**141. Понятие о паровой машине.** Машины, приводимые в движение силой давления пара, стали применяться в технике с начала XVIII века; но первые



Рис. 256.

Джеймс Уатт (1736 — 1819 гг.) — английский механик, изобретатель паровой машины.

паровые машины были настолько неудобны и несовершенны, что применение их было очень ограничено. Широкое распространение паровых машин началось лишь в конце XVIII века, после того как английский инженер Уатт изобрел весьма совершенную машину, сходную во многих существенных чертах с многочисленными видами паровых машин, употребляющихся в настоящее время.

Важнейшую часть паровой машины представляет собой «паровой цилиндр» (рис. 254, С), в котором движется поршень *K*, движимый давлением пара то в ту, то в другую сторону. Из парового котла пар поступает в «паровую коробку» *D*. Движение поршня взад и вперед достигается тем, что в тот момент, когда пар входит с одной стороны поршня, пар с другой стороны поршня соединяется через отверстие *O* либо с наружным воздухом, либо с холодильником, где сгущается в воду и теряет свою упругость. Пропускание пара то с одной, то с другой стороны поршня производится при помощи «золотника» *S*, передвигаемого самой машиной. Стержень *k* передает движения поршня механизму машины.

Для примера рассмотрим главные черты устройства паровоза.

На рис. 255 видны главные части паровоза одной из самых простых систем. Пар получается в большом паровом котле *B*, в котором вода нагревается пламенем, идущим из топки *C* по трубкам, пронизывающим котел. Образовавшийся пар заполняет «сухопарник» *J*, откуда по «паровпускной трубке» *KK* проходит в «золотниковую коробку» и в «цилиндр». Пар, отработавший в цилиндре, идет по «паровыпускной трубке» *Q* в «дымовую трубу» *H*. Здесь струя пара увлекает за собой продукты горения, благодаря чему горение топлива и нагревание котла идет быстрее. Поступление пара в трубку *KK* может увеличиваться и уменьшаться при помощи «регулятора», представляющего собой заслонку, более или менее закрывающую трубку *KK*. Повороты этой заслонки производятся поворотами ручки *M*. Перемена «переднего хода» на «задний ход» производится движением «кулисного рычага» *P*, который дает нужное для этого передвижение золотников.



## М. В. Ломоносов.

Михаил Васильевич Ломоносов (род. 8 ноября 1711 — ум. 4 апреля 1765) по исключительной обширности своих разносторонних дарований несомненно должен быть причислен к наиболее выдающимся людям во всей истории человечества; крупный литературный талант — талант создателя русского литературного языка — соединился в Ломоносове с истинно-гениальным творчеством в самых разнообразных областях естествознания.

Полная различных приключений и неустанных трудов жизнь Ломоносова в общих чертах известна всякому грамотному человеку. В нашей книге уместно отметить лишь самое главное из того, что характеризует Ломоносова как первого русского ученого-естествоиспытателя.

Среди суровой, но все же таинственно-прекрасной природы дальнего русского севера, где протекали годы детства и юности Ломоносова, зародилось в душе будущего натуралиста страстное стремление к познанию сил природы — стремление, которое одушевляло его в течение всей его бурной жизни.

Ни в родной глуши, ни в тогдашней Москве крестьянин-самоучка не мог найти источника настоящего научного знания: он нашел его только в Германии, в стенах старого Марбургского университета, <sup>1</sup> куда попал по счастливой случайности в числе нескольких русских студентов, командированных для обучения различным наукам.

Во время пребывания за границей богатырь помор, хотя и вел довольно беспутную жизнь, все же, благодаря огромным своим способностям, настолько преуспевал в науках, что скоро стал во многих вопросах на уровне тогдашнего научного кругозора.

По возвращении в Россию, несмотря на многочисленные неблагоприятные условия, Ломоносов усердно и настойчиво продолжал свои научные исследования, к которым более всего влекло его природное дарование.

О необычайной ширине научных интересов Ломоносова свидетельствуют его многочисленные «диссертации», речи и письма, в которых излагаются самые разнообразные вопросы химии, физики, минералогии, геологии, астрономии, метеорологии и т. д. И во всех этих вопросах Ломоносов является самостоятельным глубоким исследователем, во многом далеко опережающим свой век.

Особенного замечания заслуживает то, что Ломоносов, во-первых, ясно понимал закон вечности вещества, <sup>2</sup> во-вторых, во многих подробностях совершенно

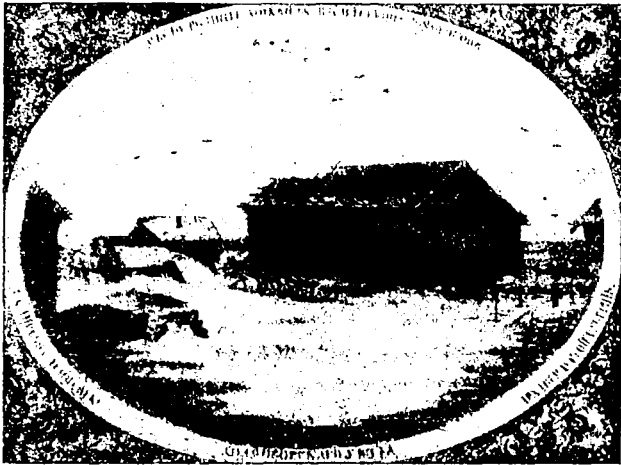
<sup>1</sup> Марбургский университет, основанный в 1527 г., во время Ломоносова был уже старше, чем наш Московский университет в наши дни.

<sup>2</sup> В науку этот закон был введен знаменитым французским химиком Лавуазье значительно позднее Ломоносова.

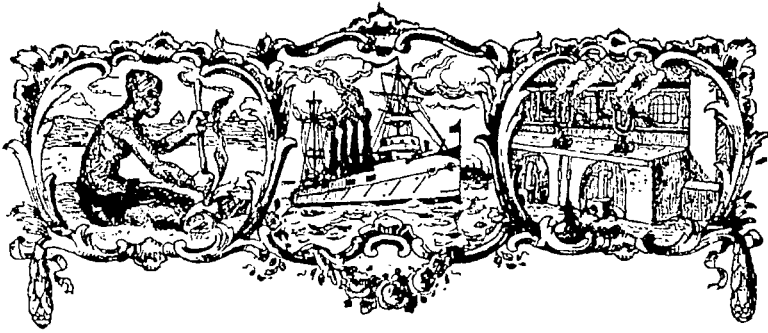
верно развивал молекулярную теорию вещества, в-третьих, наконец, с достаточной ясностью высказывал закон сохранения энергии.

Преданный делу науки, Ломоносов делал все, что только мог, для насаждения и развития научного просвещения в России. По его мысли был основан в Москве первый русский университет (в 1755 г.).

Ни среди современников своих, ни среди ближайших потомков Ломоносов не нашел учеников, которые могли бы продолжать его научные работы, могли бы воспринять и развивать его идеи. Труды Ломоносова были забыты; их оценили только в позднейшее время после того, как те же идеи другими учеными были введены в науку.



Деревня, где родился Ломоносов. (Со старинной гравюры.)



ДОБАВЛЕНИЕ К ГЛАВЕ ПЯТОЙ.

## ТЕПЛОТА КАК ФОРМА ЭНЕРГИИ.

**142. Теплота не есть какое-нибудь вещество.** Когда мы говорим: «теплота распространяется», «теплота переходит от одного тела к другому», «тело потеряло или получило некоторое количество теплоты» и т. д., мы говорим о теплоте так, как будто бы она представляла собой какую-нибудь жидкость или газ, который присоединяется к телам или от них отнимается. Но не следует думать, что теплота действительно представляет собой что-нибудь вещественное. Существеннейшее свойство вещества заключается в том, что вещество при каких угодно изменениях всегда остается веществом: ни при каких явлениях вещество не создается и не исчезает.

Теплота в противоположность веществу может создаваться и может исчезать.

Если вы сильно потрете друг о друга два куска дерева, они нагреваются; получаемая теплота здесь создается усилиями вашей руки; преодолевая трение, вы затрачиваете работу и тем производите нагревание. Подобное нагревание получается при всяких трениях, при ударах, при толчках и т. п.

Если накачать в большую бутылку воздуха и затем выпустить этот воздух наружу, то при расширении воздух охлаждается: теплота исчезает, а взамен ее получается движение струи воздуха, выходящего из бутылки и преодолевающего при этом давление атмосферы. Наоборот, если быстро сжать воздух, вдвигая поршень в трубку, воздух нагревается настолько, что положенный в трубку пироксилин взрывается (воздушное огниво).

Мы знаем, что для обращения 1 г льда в воду при 0° требуется 80 калорий теплоты; следовательно, при таянии льда и с ч е з а е т некоторое количество теплоты, взамен которого получается новое расположение молекул вещества — лед обращается в воду.

При сгорании угля из кислорода и из угля образуется новое вещество — углекислый газ, и при этом создается большое количество теплоты.

Все подобные явления убеждают нас, что теплота не есть что-нибудь вещественное, материальное. Является естественно предположение, что теплота представляет собой не вещество, но некоторое явление, происходящее внутри тел, среди составляющих их молекул.

Чтобы несколько пояснить это, нам полезно предварительно ознакомиться с одним из важнейших физических понятий, с понятием об энергии.

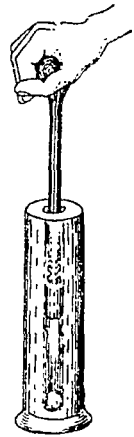


Рис. 257.  
Воздушное  
огниво.

**143. Понятие об энергии.** Слово «энергия»<sup>1</sup> в физике имеет значение довольно близкое к тому значению, которое мы придаем этому слову в повседневном языке. Мы говорим «энергичный человек», «человек, полный энергии», про человека, способного к деятельности, к работе. В физике энергией тела или группы тел называют способность этих тел производить какое-нибудь действие, точнее — способность производить какую-нибудь работу. Энергию тела можно измерять, при чем мерою энергии как-раз и служит количество работы, которую может произвести тело.

Представьте себе два пушечных ядра: одно лежит спокойно на столе, а другое с большой скоростью летит из вражеского лагеря. Первое ядро совершенно безопасно, а второе может на своем пути произвести страшные разрушения. Летящее ядро способно преодолевать силы, сопротивляющиеся его движению, оно способно, говоря языком физики, произвести некоторую работу. Мы говорим, что летящее ядро обладает энергией.

Сравните теперь два ядра, лежащие спокойно, одно — на столе, другое — на полу. В отношении способности производить работу между этими двумя ядрами тоже есть разница: ядро, лежащее на столе, может упасть и при этом приобрести некоторую скорость и преодолеть какие-нибудь сопротивления. В ядре, поднятом на некоторую высоту, есть некоторый запас работы, какого нет у ядра, лежащего внизу. Приподнятое ядро, как и всякий приподнятый груз, обладает некоторой энергией.

Про ядро, обладающее энергией, благодаря тому, что оно движется с некоторой скоростью, говорят, что оно обладает энергией движения, или кинетической энергией; а про ядро, которое обладает энергией, благодаря тому, что оно поднято на некоторую высоту, говорят, что оно обладает энергией положения, или потенциальной энергией.

Движущийся поезд, падающий груз, вращающийся волчок — примеры тел, обладающих кинетической энергией.

Закрученная пружина, сжатый газ, растянутая резина — примеры тел, обладающих потенциальной энергией.

**144. Превращения энергии.** Когда груз падает с некоторой высоты и при этом получает возрастающую скорость, мы говорим, что потенциальная энергия груза переходит в кинетическую.

Когда тяжелое тело, подброшенное вверх, летит с уменьшающейся скоростью, мы говорим, что кинетическая энергия тела переходит в потенциальную.

Мячик, подброшенный вверх, сперва теряет свою кинетическую энергию, которая превращается в потенциальную. Падая обратно, мячик опять получает кинетическую энергию, которая при ударе о пол на мгновение обращается в потенциальную энергию сжатого упругого мячика. Когда мячик, расправляясь, снова отскакивает от пола, эта потенциальная энергия снова обращается в кинетическую и т. д.

Когда вы пускаете волчок, спуская заводную пружину, потенциальная энергия закрученной пружины превращается в кинетическую энергию вертящегося волчка.

**145. Понятие о сохранении энергии.** Внимательное изучение всех многообразных явлений природы привело к убеждению, что во всех явлениях происходят превращения энергии, при чем количество энергии остается неизменным. Энергия никогда не исчезает и не создается (закон сохранения энергии).

С этим замечательным законом нам придется еще встречаться при рассмотрении других физических явлений; <sup>2</sup> теперь же проследим только некоторые

<sup>1</sup> От греческого *ἐνέργεια* (энерге́йя) — деятельность.

<sup>2</sup> Закон «равенства работ», о котором мы упоминали, говоря о простых машинах и гидравлическом прессе, есть частный случай этого закона сохранения энергии.

отдельные случаи явлений, стараясь уяснить себе, откуда берется и куда девается проявляющаяся в них энергия.

Чтобы мячик полетел вверх, необходимо затратить некоторую работу, преодолевая инерцию мячика и сопротивление воздуха; чтобы запустить волчок, необходимо предварительно затратить работу на закручивание пружины и т. д.

На первый взгляд представляется, что в очень многих явлениях происходит исчезновение энергии: мячик, ударяясь о пол, подскакивает все ниже и, наконец, прекращает свое движение; пущенный волчок довольно скоро останавливается; согнутая стальная полоска расправляется и проявляет ту энергию, которая была затрачена, чтобы ее согнуть, но железная полоска, согнутая с таким же усилием, не разгибается.

Во всех этих случаях происходит превращение энергии движения в теплоту.

Когда мячик ударяется о пол и сжимается, часть энергии уходит на нагревание пола, мячика и окружающего воздуха. Это нагревание ничтожно, так как количество энергии здесь мало, но попробуйте сильно бить молотком кусок свинца, вы получите очень заметное нагревание и поверите, что некоторое нагревание получается и при всяком ударе.

Волчок останавливается, так как, вследствие трения о пол, энергия его движения тоже обращается в теплоту. Тут опять нагревание ничтожно, но если вы вспомните, как иногда нагревается буравчик при сверлении дерева, вы и тут поверите, что нагревание должно быть.

Согнув полоску железа, вы не замечаете, куда ушла энергия, затраченная на сгибание, но, сгибая полоску несколько раз то в ту, то в другую сторону, вы можете разогреть место сгиба так, что это будет заметно наощупь.<sup>1</sup>

Нагревая пробирку с водой, слегка закрытую пробкой, увидим, что пар с силой выбросит пробку. При этом исчезает и некоторое количество теплоты, взамен которого получится кинетическая энергия вылетающей пробки.

Во всякой паровой машине происходит подобное исчезновение теплоты, обращаясь в движение машины.

А откуда берем мы теплоту? Самый обычный источник теплоты, это — горение. Топливо (дрова, уголь, нефть и т. п.) и кислород представляют собой некоторый запас энергии. Соединяясь, они выделяют теплоту, которая может быть обращена в движение машины.

Из углекислого газа, образующегося при горении, можно снова получить отдельно уголь и кислород, но на это непременно потребуется затратить столько энергии, сколько получилось при образовании углекислого газа.

Энергию сгорающего топлива, энергию взрывающегося пороха и т. п. называют химической энергией, или энергией химического средства.

**146. Теплота как молекулярное движение.** То, что теплота способна исчезать, обращаясь в энергию движения, и, наоборот, энергия движения способна превращаться в теплоту, представляет собой несомненное, легко наблюдаемое явление. Но что же представляет из себя сама тепловая энергия?

Разнообразнейшие тепловые явления находят себе лучшее и простейшее объяснение в гипотезе, что сама теплота есть кинетическая энергия молекул.

Молекулы всякого тела непременно движутся, колеблются, они обладают кинетической энергией. При нагревании тела движения молекул ускоряются,

<sup>1</sup> Обратите внимание на то, что для получения заметного количества теплоты требуется затрата сравнительно очень большого количества работы. Различными способами, которых описывать не будем, можно измерить, что для получения 1 калории теплоты (все равно каким способом) требуется затратить 425 грамм-метров работы (для получения 1 большой калории — 425 килограмм-метров). Из этого следует, что если бы вся энергия удара воды, падающей с высоты 425 метров, уходила на нагревание этой воды, вода нагревалась бы при ударе всего на 1°. Чтобы оценить силу такого удара, заметим, что 425 метров почти в полтора раза выше башни Эйфеля и слишком в восемь раз выше Ниагарского водопада.



кинетическая энергия их увеличивается, на это увеличение и затрачивается некоторая работа.

При достаточном нагревании твердого тела мы достигаем его плавления. При обращении тела в жидкость молекулы тела изменяют свое расположение, и на это требуется затрата работы (скрытая теплота), которая остается в жидкости, как некоторый запас потенциальной энергии, снова способной превратиться в теплоту при затвердевании жидкости.

Подобное же превращение теплоты в скрытую, потенциальную энергию происходит и при обращении жидкости в пар.

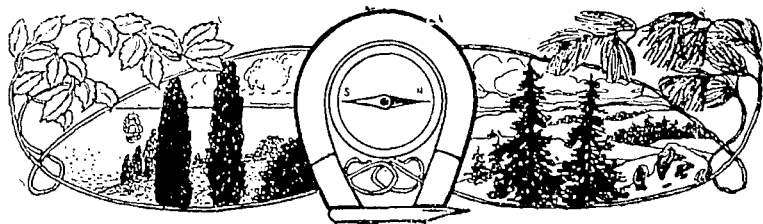
Давление, которое всякий газ или пар производят на стенки сосуда, с точки зрения гипотезы молекулярных движений, объясняется как совокупность бесчисленного множества ударов молекул в стенки сосуда.

**147. Абсолютный нуль температуры.** Возможно ли полное спокойствие молекул? Полная неподвижность молекул должна соответствовать полному отсутствию тепла в теле, т.-е. такой температуре, при которой дальнейшее охлаждение тела совершенно невозможно.

Такая температура, называемая **а б с о л ю т н ы м н у л е м**, недостижима на опыте, но ее можно вычислить. Приблизительный расчет можем сделать так. Мы знаем, что, если взять газ при  $0^{\circ}\text{C}$ . он производит некоторое давление на стенки и что это давление уменьшается на  $\frac{1}{273}$  часть своей величины при охлаждении на  $1^{\circ}$ . При температуре абсолютного нуля молекулы должны быть неподвижны, давление газа должно совершенно прекратиться. При какой же температуре это должно быть? Ясно, что если давление убавляется на  $\frac{1}{273}$  часть при остывании на  $1^{\circ}$ , то это давление исчезнет при остывании на  $273$  градуса ниже  $0$ . При температуре —  $273^{\circ}\text{C}$ . получается абсолютный нуль.

В научных расчетах часто счет градусов ведут не от обычного условного нуля таяния льда, а от абсолютного. При таком счете градусы могут быть только положительными. Число градусов, понятно, равняется числу градусов по обычному счету плюс  $273$  градуса. Температура таяния льда равна  $273^{\circ}$  абс., температура кипения воды  $373^{\circ}$  абс. и т. д.

Достижение температур, близких к абсолютному нулю, сопряжено с огромными трудностями. Наиболее низкая достигнутая температура есть температура кипения газа г е л и я под уменьшенным давлением. Эта температура равна приблизительно —  $271,5^{\circ}\text{C}$ ., т.-е. всего около  $1,5^{\circ}$  абс.



## ГЛАВА ШЕСТАЯ.

### МАГНЕТИЗМ.



Рис. 258.

Вершина горы Благодать. Часовня стоит на скале из чистого магнитного железняка.

**148. Естественные и искусственные магниты.** С глубокой древности была замечена удивительная способность некоторых сортов железной руды притягивать к себе железные предметы. Древние греки называли куски такой руды «магнитными камнями», вероятно по имени города

Магнезии,<sup>1</sup> близ которого добывалась такая руда. Залежи такого «магнитного железняка» встречаются во многих местах и образуют иногда целые скалы. Одно из богатейших местонахождений находится в СССР на Урале (горы: Магнитная, Благодать, Качканар).

Кусок магнитного железняка представляет собой «естественный магнит». По химическому составу этот железняк представляет собой соединение железа с кислородом (закись-окись железа); такое соединение не всегда обладает магнитным свойством, оно может быть «размагничено» и вновь «намагничено».

Железо или сталь после прикосновения к естественному магниту сами становятся магнитными, при чем железо быстро почти совсем утрачивает магнетизм, а сталь удерживает его более или менее прочно.

Намагниченные стальные палочки, пластинки, стрелки, подковы и т. п. представляют собой «искусственные магниты».

Такие искусственные магниты удобнее естественных для изучения магнитных явлений.

Если взять кусочки самых разнообразных материалов и пробовать действие на них магнитного стержня или подковы, то заметное притяжение получится только для железа и с о д е р ж а щ и х ж е л е з о

<sup>1</sup> Магнезия — древний город в Малой Азии, ныне Инекбазар.

веществ (сталь, чугун, железные сплавы, некоторые химические соединения железа и пр.), да еще для двух металлов: никкеля и кобальта, по многим своим физическим и химическим свойствам близких к железу.

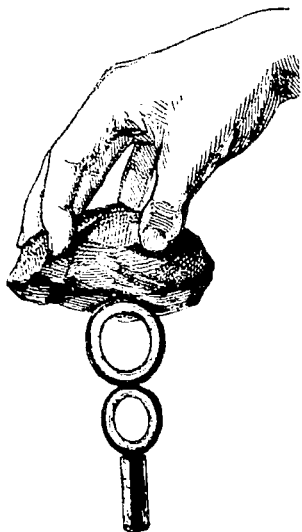


Рис. 259.

Кусок магнитного железняка притягивает железные и стальные предметы.

**149. Магнитные полюсы и их взаимодействия.** Если взять магнитный брусок и прикладывать к нему кусочек железа в разных местах, или если обсыпать этот брусок железными опилками, то ясно заметно, что особенно сильное притяжение наблюдается у концов бруска, в середине же притяжения нет.

Пункты в концах магнитов, где наблюдается наиболее сильное притяжение, называют **магнитными полюсами**. Прямую, идущую вдоль магнита от одного полюса к другому, называют **осью магнита**.

Издавна было замечено, что намагниченная игла или стрелка, если ей предоставлена возможность свободно поворачиваться, стремится стать приблизительно по направлению меридиана, одним полюсом па север, другим — на юг. Открытие этого свойства магнита повело к изобретению **компаса**, или **буссоли**, позволяющей по направлению магнитной стрелки определять направление стран света.

Полюсы магнита называются **северным** (обращенный к северу) и **южным** и обозначаются буквами **N (Nord)** и **S (Süd)**.

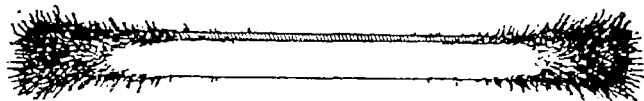


Рис. 260.

Железные опилки притягиваются наиболее сильно у полюсов магнитного бруска.

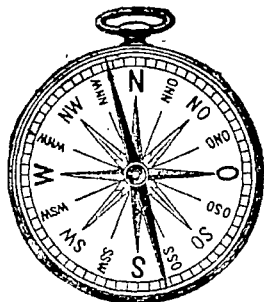


Рис. 261.

Компас.

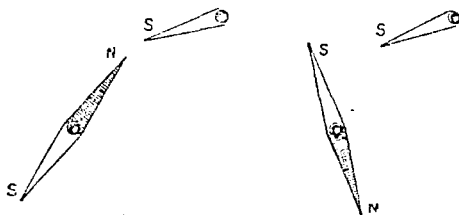


Рис. 262.

Одноименные полюсы магнитов отталкиваются, разноименные — притягиваются.

Имея две подвижные магнитные стрелки и приближая их друг к другу различными способами, легко убедиться, что одно-

именные полюсы (северный с северным или южный с южным) отталкиваются, а разноименные (южный с северным) притягиваются.

Немагнитное железо одинаково притягивается обоими полюсами.

? Сделайте компас, пустивши магнитную палочку плавать по воде на пробке, или пустивши прямо на воду намагниченную иглу, слегка смазанную жиром.

? Имеются две совершенно одинаковые стальные палочки, одна из них намагничена. Как можно расположить эти палочки, чтобы по притяжению или отсутствию притяжения можно было решить, которая из палочек намагничена?

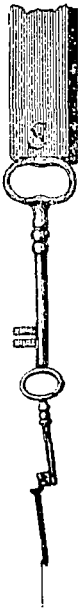


Рис. 263.

Ключи и гвозди, намагниченные индукцией полюса S, притягиваются друг к другу.



Рис. 264.



Рис. 265.

**150. Магнитная индукция (влияние).** Приложим к полюсу магнита какой-нибудь кусок железа, напр., ключ; к свободному концу этого ключа поднесем другой ключ; он притянется и делается сам способным еще притягивать железо. К полюсу магнита можно прицепить целую вереницу железных предметов, которые будут держаться друг за друга магнитными притяжениями, пока все они держатся у магнитного полюса; если же магнитный полюс удалить, предметы размагничиваются и распадаются.

Железо, помещенное вблизи магнита, само делается в это время магнитом и притом так, что

происходит притяжение, т.-е. ближе к полюсу магнита в железе образуется противоположный полюс.

Это явление называется явлением **магнитной индукции** и магнитного влияния.

- ? Приложите несколько гвоздей к полюсу магнита. Свободные концы гвоздей будут расходиться в разные стороны. Почему?  
 ? Объясните, почему железные опилки, притянутые магнитом, группируются в форме щетинок, торчащих в разные стороны?

**151. Намагничение.** Для того, чтобы намагнитить какую-нибудь стальную палочку или полоску, ее следует натирать противоположными полюсами магнита из

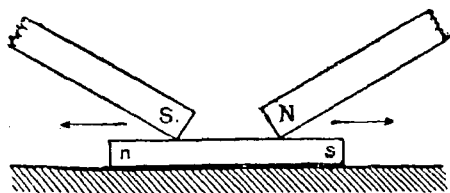


Рис. 266.

Расположение полюсов при намагничении трением.

двух разных магнитов, начиная от середины к концам. Зная явление индукции, нетрудно сообразить, что в двух концах палочки при этом наведутся полюсы, противоположные прикасающимся к ним полюсам магнита.

- ? Намагните по возможности одинаково сильно несколько иголок и, вставив их в пробочки, пустите плавать по воде так, чтобы иголки держались вертикально одноименными полюсами вверх. Иголки, отталкиваясь друг от друга, разойдутся по краям сосуда. Поднесите полюс сильного магнита, притягивающий

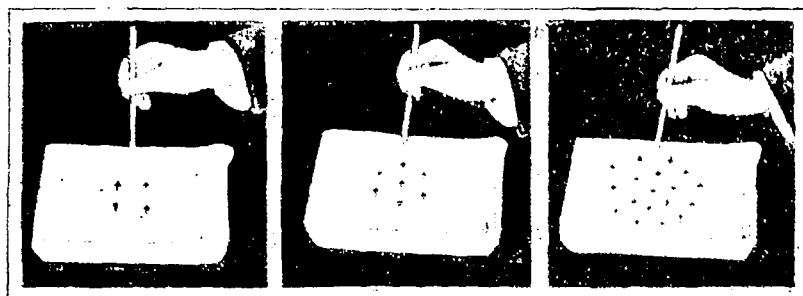


Рис. 267.

верхние полюсы иголок, и обратите внимание на правильное расположение иголок (рис. 267), которые, отталкиваясь друг от друга, все притягиваются к полюсу магнита.

**152. Магнитное поле. Линия магнитных сил. Магнитные спектры.** Пространство вблизи магнитов, где действуют магнитные силы, называют **магнитным полем**.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Вообще пространство, в котором действуют какие-нибудь силы, называют иногда **полем сил**; например, можно сказать, что пространство вокруг земли представляет собой **поле силы** земного притяжения.

В каждой точке поля действует магнитная сила. Чтобы определить направление, по которому действует эта сила в какой-нибудь точке поля, можно поместить в этой точке очень маленькую

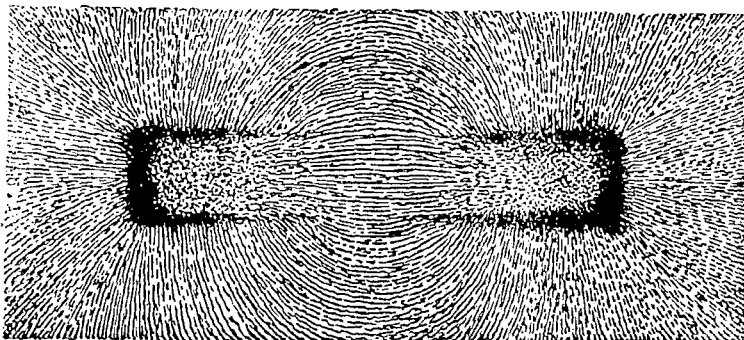


Рис. 268.

Магнитное поле вокруг магнитного бруска.

магнитную стрелку; под влиянием магнитной силы стрелка должна повернуться так, чтобы ее ось стала по направлению силы.

Существует очень простой способ исследовать направление магнитных сил в разных точках поля вокруг магнитов.

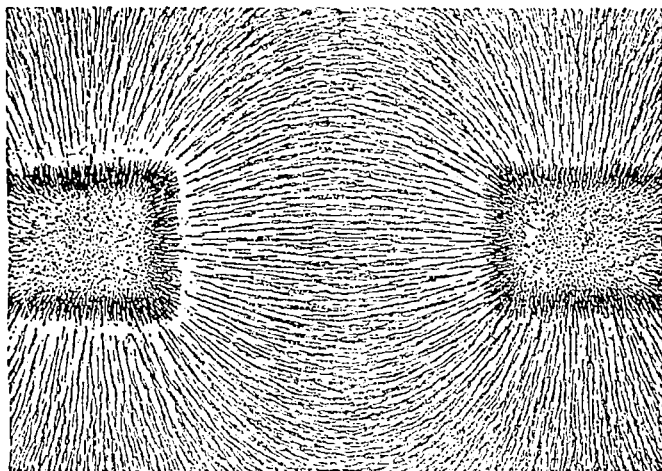


Рис. 269.

Магнитное поле между разноименными полюсами магнитов.

Положите магнит, накройте его листом картона и, посыпав на картон железных опилок, встряхните их, слегка ударя по картону. Опилки намагнитятся, повернутся по направлениям сил и сцепятся

вереницами, которые более или менее ясно вырисуют кривые линии, идущие от одного полюса к другому.

Эти линии указывают направление магнитных сил в разных местах поля, окружающего магнит. Линии эти называют магнитными силовыми линиями, а полученную из опилок сеть силовых линий называют магнитным спектром.

Легко получить магнитные спектры для поля, заключающегося между двумя разноименными или между двумя одноименными полюсами магнитов. Вглядываясь в расположение линий в этих спектрах, видим, что в случае разноименных полюсов (притяжение) линии представляют собой как бы поток, выходящий из одного полюса и втекающий в другой; в случае же одноименных полюсов

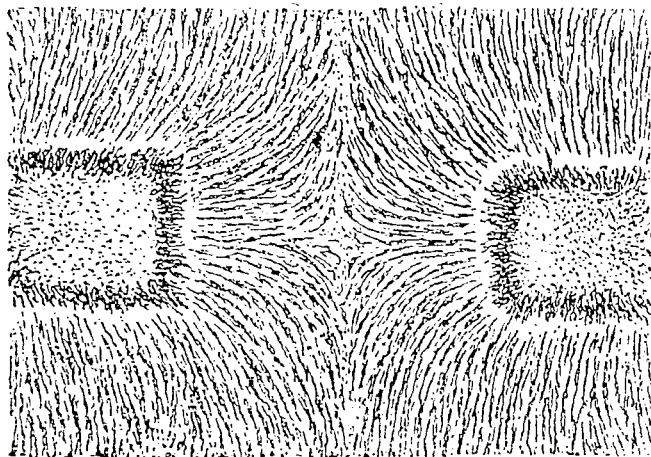


Рис. 270.

Магнитное поле между одноименными полюсами магнитов.

(отталкивание) линии представляют собой как бы два потока, текущие друг другу навстречу. Если представить себе, что эти линии представляют из себя нечто в роде упругих шнуров, которые стремятся сократиться по длине и раздуться в ширину, то мы получим по расположению линий наглядное представление притяжения и отталкивания магнитных полюсов.

**153. Деление магнита на части. Гипотеза молекулярного магнетизма.** Намагнитим длинную стальную спицу, палочку, пружину, иглу и т. п. и убедимся по притяжению опилок, что в концах спицы, у полюсов, наблюдается сильное притяжение, а около середины притяжения нет. Разломим теперь спицу пополам и будем исследовать ее половинки отдельно. Окажется, что каждая половинка будет представлять из себя самостоятельный магнит со своими двумя разноименными полюсами. Ломая спицу на более мелкие части, убедимся, что каждый самый маленький кусочек представляет

из себя магнит с двумя разноименными полюсами.<sup>1</sup>

Естественно сделать допущение, что, разделяя магнит на мельчайшие возможные части, на молекулы, мы тоже получили бы магнит с двумя полюсами. Итак, допустим, что молекула магнита представляет собой маленький магнитик. Мало того, целый ряд магнитных явлений приводит к гипотезе, что молекулы железа сами по себе от природы всегда суть маленькие магнитики, что

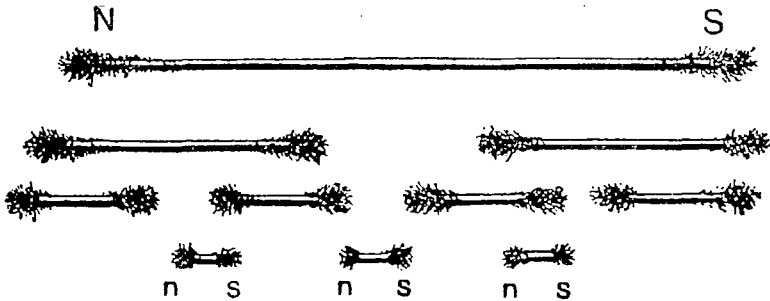


Рис. 271.

Каждый обломок намагниченной спицы представляет собою магнит с двумя разноименными полюсами.

разница между ненамагниченным железом и магнитом заключается лишь в том, что в железе молекулы расположены в беспорядке, а в магните более или менее правильно, т.-е. большее или меньшее число молекул повертывается в одну и ту же сторону своими северными полюсами, а в противоположную — южными. Рисунки 272 и 273 представляют в грубой форме расположение молекул в железе ненамагниченном и в железе намагниченном до крайней степени «до насыщения».

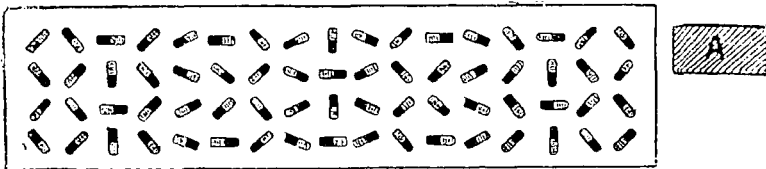


Рис. 272.

Схема расположения молекулярных магнитиков в ненамагниченном железе.

Кусок железа *A* (рис. 272), поднесенный к ненамагниченному железу, не намагничивается и не притягивается, так как на него действует приблизительно одинаковое число северных и южных полюсов молекул, одинаково к нему близких. Кусок железа *B* (рис. 273), поднесенный к полюсу магнита, находится главным образом под влия-

<sup>1</sup> Чрезвычайно удобны для такого опыта тонкие стальные пилюльки для лобзков: они легко разламываются на мелкие части, в которых расположение полюсов можно различать по наклону зубчиков.



нием более близких северных полюсов магнетиков и, намагничиваясь, притягивается; но кусок С, поднесенный к середине магнита, находится приблизительно под одинаковым влиянием северных и южных полюсов и потому не притягивается.

Представляя себе, что магнит разламывается на части, например, по линии АА', ясно видим, что эти части сами представляют из себя магниты.

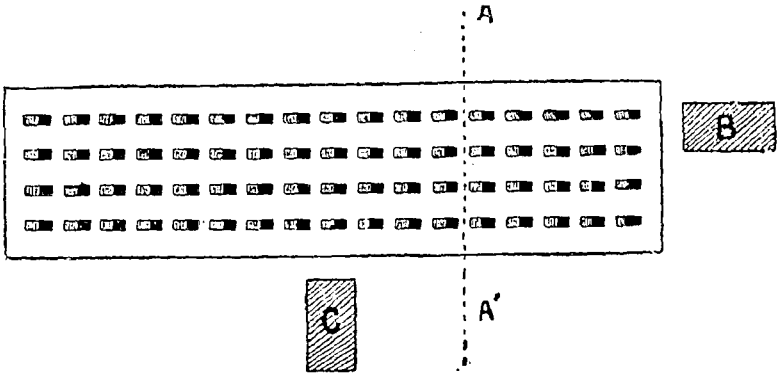


Рис. 273.

Схема расположения молекулярных магнетиков в железе, намагниченном „до насыщения“.

154. Явления, подтверждающие гипотезу молекулярного магнетизма. Если сильнее намагнитить стальную палочку, а потом ее ударять или ронять, ее магнитность ослабляется, что можно заметить

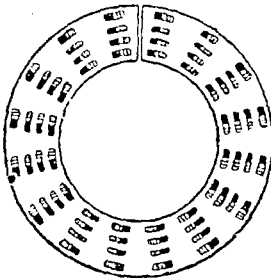


Рис. 274.

Схема расположения молекулярных магнетиков в магнитном кольце.

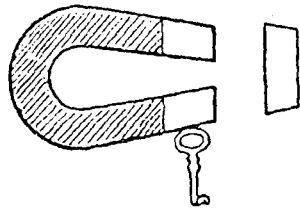


Рис. 275.

Ключ перестает притягиваться, когда подкова замыкается якорем.

по притяжению опилок или по действию палочки на стрелку компаса. Наоборот, удары и толчки во время самого намагничивания способствуют более сильному намагничению.

Если магнит сильно нагреть (около  $700^{\circ}$ , несколько сильнее «красного каления»), он теряет свой магнетизм, что естественно объяснить сильным беспорядочным движением молекул нагретого магнита. Железо, нагретое выше  $700^{\circ}$ , совсем не притягивается магнитом, а никель теряет магнитные свойства при нагревании всего до  $300^{\circ}$ .

Если намагничивать железо во время его постепенного получения из какого-нибудь химического соединения, то достаточно самой незначительной магнитной силы, чтобы намагнитить его «до насыщения». Если стальной стержень растягивается или скручивается какой-нибудь механической силой, его молекулы получают некоторую пра-

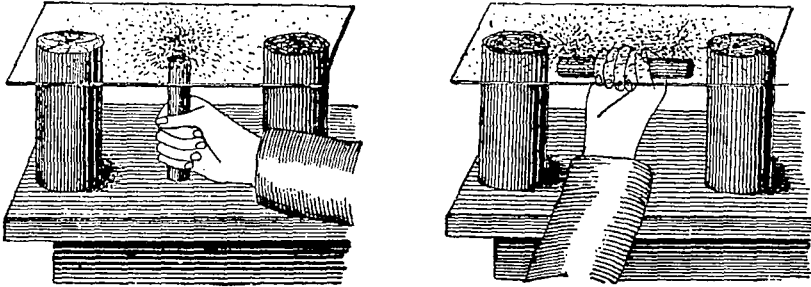


Рис. 276.

Действие магнита проникает сквозь стекло.

вильность расположения, и стержень при этом намагничивается. Это явление особенно убедительно свидетельствует в пользу гипотезы магнитных молекул, так как здесь намагничение производится без участия посторонней магнитной силы.

Представьте себе, что магнит как-нибудь изогнут в форме кольца (рис. 274), так что его полюсы сведены вместе. Такое магнитное кольцо

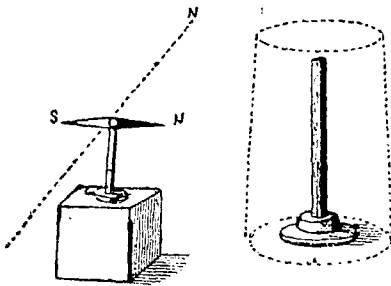


Рис. 277.

Действие вертикального магнита на стрелку прекращается, когда магнит покрывается железным колпаком.

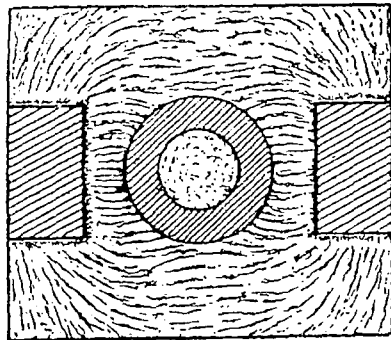


Рис. 278.

Магнитные силовые линии не проникают внутрь железного кольца.

не должно притягивать железа, так как любое место такого кольца должно действовать как середина магнитного стержня. Магнитная подкова (рис. 275), «замкнутая своим якорем», т.е. куском железа, почти совершенно перестает притягивать железо.

? Попробуйте получить «магнитные спектры» поля вблизи полюсов магнитной подковы: один раз без якоря, другой раз — замкнув полюсы подковы якорем. Объясните разницу в расположении силовых линий.

**155. Магнитный экран.** Очень простые опыты убеждают нас, что действие магнита на железо или действие магнита на магнит не прекращается и не ослабляется сколько-нибудь заметно, если между магнитом и железом помещается какая-нибудь преграда. Легко наблюдать, что действие магнита проникает сквозь стекло, картон, дерево, медь и т. д.

Единственным веществом, сквозь которое не проникает магнитная сила, оказывается железо.

Поставим около магнитной стрелки (рис. 277) вертикально укреплённый магнит на таком расстоянии, чтобы действие магнита, преодолевая действие земли, поворачивало стрелку перпендикулярно меридиану. Будем покрывать магнит колпаками из разных материалов. При накрывании колпаками из разнообразных

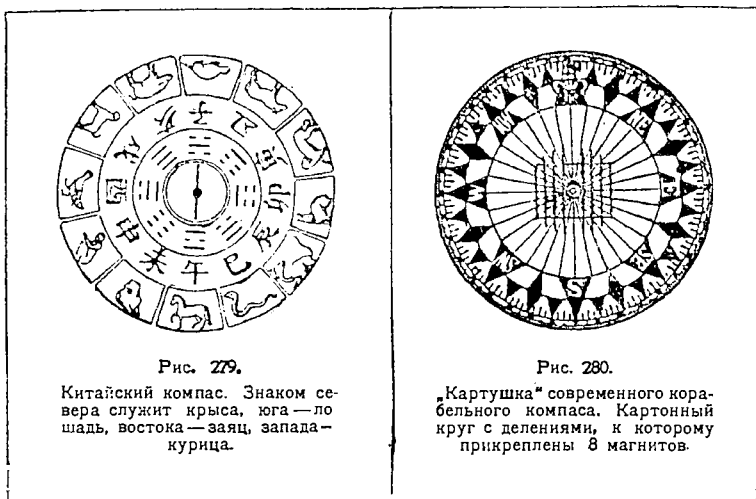


Рис. 279.

Китайский компас. Знаком севера служит крыса, юга — лосадь, востока — заяц, запада — курица.

Рис. 280.

„Картушка“ современного корабельного компаса. Картонный круг с делениями, к которому прикреплены 8 магнитов.

материалов (стекло, картон, дерево и т. д.) действие магнита на стрелку остается неизменным, но при накрывании железным колпаком действие магнита ослабляется, и стрелка становится по меридиану.

Сделав «магнитный спектр» для магнитного поля между двумя разноименными полюсами, между которыми помещено железное кольцо, мы увидим, что силовые линии в таком поле идут, как бы впитываясь в кольцо, и внутрь кольца не проникают.

**156. Магнетизм земли. Исторические замечания.** Употребление компаса, в высшей степени важное для развития мореплавания, было известно китайцам еще в глубокой древности, около 200 лет до начала нынешнего летосчисления, но народы, населявшие берега Средиземного моря, начали пользоваться компасом, вероятно, только около XII века.

Достоверных сведений об изобретении и распространении компаса не имеется. Среди моряков Средиземного моря до настоящего времени держится почитание памяти итальянского лоцмана XIV века Флавио Джойа из Амальфи, который научил употреблению компаса моряков Южной Италии и которому долгое время ошибочно приписывалось и самое изобретение компаса.

Первое тщательное изучение магнитных явлений вообще и в частности земного магнетизма было произведено в конце XVI века англичанином Гильбертом, которого следует считать основателем науки о магнитных, а также и об электрических явлениях.



Рис. 281.

Памятник Флавио Джойа, считающемуся изобретателем компаса.



Рис. 282.

Вильям Гильберт (1540 — 1603). Врач королевы Англии Елизаветы, основатель науки о магнетизме и электричестве.

157. Склонение и наклонение магнитной стрелки. Магнитная стрелка, подвешенная так, что она может вращаться в горизонтальной

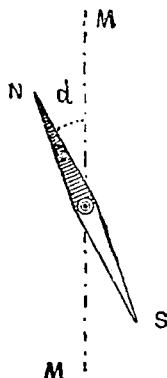


Рис. 283.

*MM* — направление географического меридиана, *d* — угол магнитного склонения.

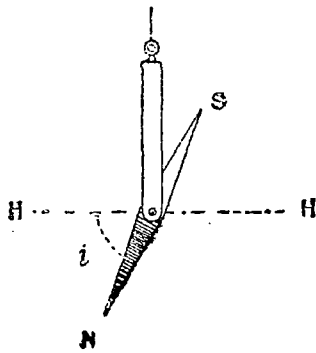


Рис. 284.

*HH* — горизонтальное направление, *i* — угол магнитного наклонения.

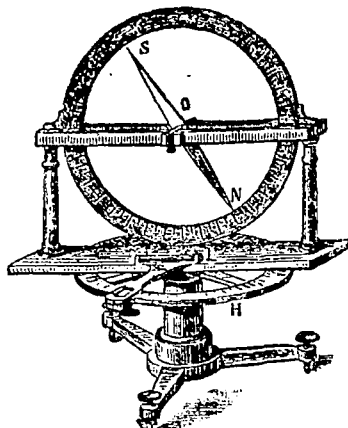


Рис. 285.

Буссоль наклонения. Прибор для измерения угла магнитного наклонения.

плоскости, устанавливается не совсем по направлению меридиана, а так, что ось стрелки образует с меридианом некоторый угол. Этот

угол между направлением географического меридиана и направлением стрелки (направлением «магнитного» меридиана) называют углом магнитного склонения.

Магнитное склонение различно в различных местах земли, при чем в одних местах северный полюс стрелки отклоняется к западу (западное склонение), в других — к востоку (восточное склонение).

В Москве в настоящее время наблюдается восточное склонение немного менее  $2^\circ$ .

Магнитная стрелка, подвешенная так, что она может вращаться и в горизонтальной, и в вертикальной плоскости, становится в плоскости магнитного меридиана и, кроме того, сильно наклоняется северным полюсом вниз. Угол наклона стрелки, т. е. угол между осью стрелки и горизонтальной плоскостью, называется углом магнитного наклона.

Угол магнитного наклона в различных местах земли различный: в Москве этот угол равен приблизительно  $70^\circ$ . По мере удаления на север угол этот увеличивается, а по мере удаления на юг — уменьшается. В большей части южного полушария магнитная стрелка наклоняется к земле своим южным полюсом. По линии, проходящей вблизи географического экватора, угол наклона равен  $0^\circ$ , стрелка становится горизонтально; эту линию называют «магнитным экватором». Близ северного берега Северной Америки находится пункт, где стрелка становится вертикально северным полюсом вниз — это

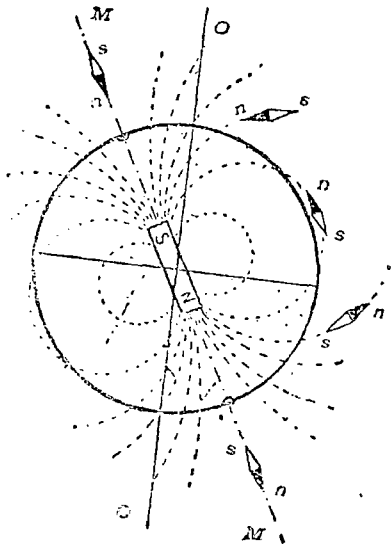


Рис. 286.

Схема расположения магнитных сил вокруг земного шара.

«северный магнитный полюс». На юг от Австралии находится южным полюсом вниз.

Общий характер магнитного поля около поверхности земли таков, как будто бы внутри земли находится магнит, расположенный наклонно к географической оси земли (рис. 286), при чем в северном полушарии земли приходится южный полюс этого воображаемого магнита.

Заметим, что внутри земли никак нельзя предполагать действительного существования подобного магнита; представление такого воображаемого магнита служит только для более удобного и наглядного описания распределения магнитных сил на поверхности земли.

**158. Намагничивание действием земного магнетизма.** Железные тела на поверхности земли могут заметно намагничиваться вследствие влияния магнетизма земли. Если взять железный стержень из «мягкого» железа (не из стали) и держать его вертикально или, еще лучше, по направлению магнитной силы, т.-е. под углом магнитного склонения к горизонту, этот стержень заметно намагничивается, при чем в нижнем его конце образуется северный магнитный полюс. Если стержень повернуть верхним концом вниз, его магнитные полюсы сейчас же меняются местами.

**159. Изменения и аномалии земного магнетизма.** Тщательное изучение направления и величины магнитных сил в различных местах земли обнаружили, что магнитные силы не остаются постоянными, по более или менее изменяются, при чем в этих изменениях наблюдается некоторая правильность.

I. Суточные изменения. В течение суток магнитная стрелка делает очень небольшое (на несколько угловых минут), но все же заметное колебание, которое однообразно повторяется каждые сутки.

II. Годичные изменения. В течение года наблюдается небольшое изменение магнитной силы земли, повторяющееся однообразно из года в год.

III. Вековые изменения. С течением времени наблюдается чрезвычайно медленное изменение общего распределения магнитных сил земли, которое можно характеризовать приблизительно так: воображаемый магнит, находящийся внутри земли (рис. 286), как бы поворачивается вокруг земной оси, так что северный магнитный полюс земли описывает круг около географического полюса, непрерывно передвигаясь на запад. Движение это чрезвычайно медленно, так что полный оборот должен совершаться в течение 9 столетий. Вследствие этого изменения с течением времени угол магнитного склонения в каком-нибудь месте земли постепенно изменяется, переходя из западного в восточное и обратно.

В Москве в настоящее время наблюдается восточное склонение около  $2^\circ$ . Около 30 лет тому назад угол склонения был равен  $0^\circ$ . Сто лет назад наблюдалось западное склонение около  $4^\circ$ , а через сто лет будет восточное склонение около  $8^\circ$ .

IV. Внезапные изменения. Временами случаются непродолжительные, но иногда очень резкие изменения в магнитных силах земли; магнитная стрелка в течение некоторого времени перестает устанавливаться по меридиану; она быстро передвигается, значительно изменяя угол склонения. Самое явление носит название «магнитной бури». Замечено, что такие магнитные бури случаются одновременно с сильными «полярными сияниями» и что оба эти явления случаются во времена появления темных пятен на солнце. Замечено, что количество солнечных пятен периодически то увеличивается, то уменьшается; через каждые 11 лет наступает время наибольшего количества солнечных пятен и как-раз около этого времени наблюдается наибольшее количество магнитных бурь и полярных сияний.

V. Магнитные аномалии. В некоторых местах, в сравнительно небольших областях склонение и наклонение магнитной стрелки обнаруживают, что направление и величина магнитных сил значительно отступают от общей схемы магнитного поля Земли. Такие аномалии, т.-е. неправильности, наблюдаются в областях вблизи залежей магнитных руд.

Наиболее сильная и в значительной мере еще загадочная магнитная аномалия наблюдается в СССР, в Курской губернии, где стрелка склонения местами устанавливается в направлении с запада на восток, а местами по меридиану, но в обратном направлении: северным полюсом на юг; стрелка же наклонения местами становится вертикально, как на северном магнитном полюсе.

Эти неправильности объясняются действием магнитных пород, залегающих глубоко (на сотни метров) под поверхностью земли. Из каких именно веществ

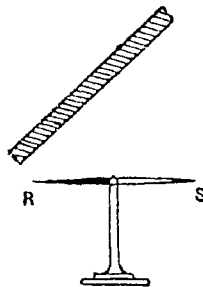


Рис. 287.

Железный стержень, намагничиваемый влиянием земли, отталкивает полюс стрелки.

состоят эти породы, пока еще не выяснено, хотя, повидному, залежи содержат, главным образом, магнитный железняк.

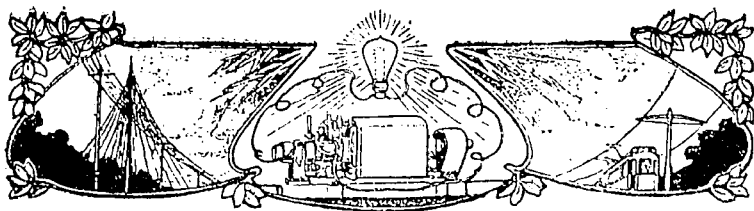
### **160. Дополнительные замечания к главе о магнетизме.**

I. Действие магнитных сил на различные вещества. В начале этой главы мы говорили, что значительное действие магниты оказывают лишь на небольшое число веществ: железо, сталь, чугун, никкель, кобальт и некоторые сплавы. Все эти вещества притягиваются магнитами. Эти вещества принято называть ферро-магнитными, т.е. железно-магнитными.

Тщательные опыты с весьма сильными магнитами обнаружили, что слабое действие магниты оказывают на все без исключения твердые, и жидкие, и газообразные вещества, при чем обнаружилось, что действие это бывает двойкое: одни вещества подобно железу, хотя с несравненно меньшей силой, притягиваются магнитами, другие вещества слабо отталкиваются магнитами.

Вещества, слабо притягивающиеся магнитами, принято называть парамагнитными, отталкивающиеся — диамагнитными. Парамагнитными веществами оказались, например: марганец, хром, платина, кислород; диамагнитными: висмут, олово, ртуть, вода, углекислый газ.

II. Связь между явлениями магнитными и электрическими. Во всей этой главе мы, рассматривая явления магнетизма, совершенно не касались явлений электрических, которые с ними связаны самым тесным образом. Эту связь мы выясним в следующей главе, посвященной специально рассмотрению электрических явлений.



## ГЛАВА СЕДЬМАЯ.

### ЭЛЕКТРИЧЕСТВО.

#### 1. Электростатика.

**161. Что называется «электричеством».** Еще древние греки обратили внимание на удивительное явление: янтарь, потертый шерстью или сукном, приобретает на время способность притягивать разные легкие предметы: бумажки, пушинки, волосики и т. д. Это явление легко воспроизвести с любым куском янтаря, а также с очень многими другими вещами: сургуч, каучук, стекло, сера и т. д.

Первые исследования этого явления были произведены Гильбертом<sup>1</sup> в конце XVI века. Проявляющуюся при этом силу Гильберт назвал «электрической силой».<sup>2</sup> Впоследствии вошло в употребление слово «электричество». Про тело, которое вследствие трения проявляет электрическую силу, говорят, что это тело «наэлектризовано», что оно обладает «электричеством» или «электрическим зарядом».

При изучении многочисленных проявлений электрических сил весьма удобно представлять себе «электричество» как бы некоторым веществом, которое может появляться на телах в большем или меньшем количестве, может «распространяться» по телу, может «перетекать» с одного тела на другое и т. д. Мы здесь не будем задаваться вопросом, «что такое электричество?», но для наглядного описания «электрических явлений будем под словом «электричество» подразумевать как бы невидимое особенное вещество, не имеющее ни объема, ни веса.

Слово **электростатика**, которым мы озаглавили начало этой главы, обозначает учение о «равновесии» электричества, т. е. о таких явлениях, при которых большею частью электричество держится на телах неподвижно или же мгновенно перемещается, переходя к новому положению равновесия. Самое явление «движения»



Рис. 288.

Янтарь (янтарный мул-штук), потертый сукном, притягивает кусочки бумаги.

<sup>1</sup> См. § 156.

<sup>2</sup> От греческого слова *ἤλεκτρον* (электрон) — янтарь.



электричества мы сейчас рассматривать не будем, о нем будет речь в отделе электрических «токов».

**162. Электрическое притяжение и отталкивание.** Два рода электричества. Повесьте кусок пробки (еще лучше бузиновой или подсолнечной сердцевины) на шелковинке и поднесите к нему потер-



Рис. 289.

Гильберт показывает электрические явления при дворе королевы Елизаветы.

тый сукном, «наэлектризованный» кусок каучука. Пробка притягивается, прикасается к каучуку, а затем отталкивается. Часть электричества перешла с каучука на пробку, и теперь два наэлектризованных тела отталкиваются друг от друга.

Наэлектризуйте трением о сукно или мех кусок сургуча или кусок серы, от них также будет отталкиваться пробочка, получившая заряд от каучука. Но если поднести к этой заряженной пробочке стекло, потертое шелком (или кожей, слегка покрытой амальгамой), пробочка будет притягиваться к стеклу. Если пробочка коснется наэлектризованного стекла, она получит от него часть заряда и тогда будет отталкиваться от стекла, но притягиваться к каучуку, к сургучу, к сере.

Электризуя трением различные вещества, мы можем получить два рода электричества: одно — такое, какое получается на каучуке, сургуче и сере, другое — такое, какое получается на стекле.

Наблюдая притяжение и отталкивание наэлектризованных тел, нетрудно вывести правило, подобное правилу взаимодействия магнитных полюсов: тела, наэлектризованные одинаковыми электричествами, отталкиваются, а наэлектризованные различными электричествами — притягиваются.

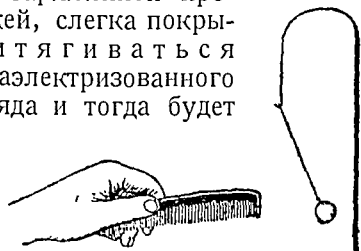


Рис. 290.

Наэлектризованный пробочный шарик отталкивается от наэлектризованного каучукового гребня.

? Объясните явление «электрической пляски», описанное в § 40 (стр. 60).

**163. Электроскоп с листочками.** При исследовании целого ряда электрических явлений весьма удобно пользоваться так называемым электроскопом. Электроскоп представляет собой металлический стержень, снабженный внизу какими-нибудь легкими «листочками»: из бумаги, из сусального золота, из соломинок и т. п.

Стержень этот удерживается в пробке стеклянной банки (рис. 291), служащей для защиты листочков.

Если провести наэлектризованной каучуковой палочкой по верхней части стержня, часть электричества перейдет на стержень и на листочки, которые при этом раздвигнутся.

Это раздвижение листочков служит указанием присутствия электричества на электроскопе.

Электроскоп можно заряжать сильнее и слабее, при чем листочки расходятся на больший или меньший угол.

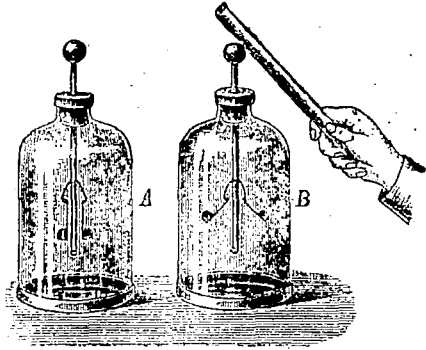


Рис. 291.

Электроскопы с листочками. Незаряженный и заряженный.

**164. Отведение заряда «в землю».** Проводники и непроводники электричества. Если, зарядив электроскоп, вы прикоснетесь к его стержню пальцем, то заряд как бы исчезнет, листочки моментально спадают.

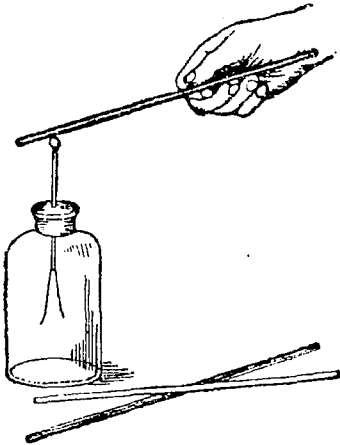


Рис. 292.

Отведение к земле заряда электроскопа через палочки из различных материалов.

Явление заключается в том, что электрический заряд при этом переходит с электроскопа на вашу руку, на ваше тело, на пол и стены комнаты, распространяется на такое большое пространство, что совершенно перестает быть заметным.

Про это явление говорят, что «электричество по вашему телу ушло в землю», что вы «отвели электрический заряд к земле».

Попробуем отводить заряд от электроскопа к земле, дотрагиваясь до стержня электроскопа не простой рукой, а палочками из различных материалов.

Легко обнаружить, что через всякую металлическую палочку: железную, медную, латунную, электричество будет уходить моментально. Наоборот, через стеклянную или каучуковую палочку заряд совсем не переходит от электроскопа к руке.

Металлы, как говорят, — хорошие проводники электричества.

Стекло, каучук (а также смола, сургуч, янтарь, шелк) — дурные проводники или непроводники электричества.

Через деревянную палочку электричество передается тем медленнее, чем суше дерево. Дерево может служить примером полупроводника электричества.

Если желают, чтобы какое-нибудь проводящее металлическое тело удерживало свой электрический заряд, чтобы этот заряд не уходил в землю, тело устанавливают на какой-нибудь непроводящей (стеклянной, каучуковой) подставке или подвешивают на шелковинке.

Про такое тело говорят, что оно изолировано,<sup>1</sup> т.е. уединено от земли. Так, например, стержень электроскопа изолирован, так как электричество не может уйти в землю через стекло банки.

Непроводники электричества также называют изоляторами.

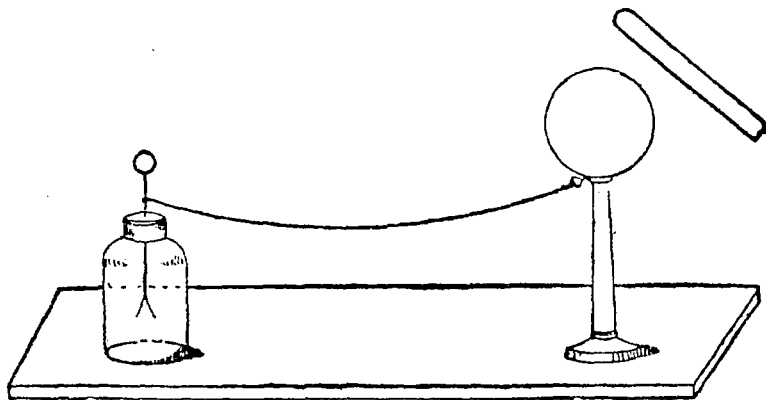


Рис. 293.

Заряд изолированного шара передается электроскопу через соединительный проводник.

? Заряжайте металлический шар на изолирующей подставке при помощи наэлектризованной палочки и наблюдайте, как передается заряд от шара к электроскопу через разные материалы: через металлическую проволоку, через сухую льняную нитку, через влажную нитку, через шелковинку и т. д.

? Попробуйте наэлектризовать какой-нибудь металлический предмет, натирая или ударяя его мехом, один раз держа металлический предмет просто рукой, другой раз держа его на изолирующей ручке.

Объясните, почему электричество проявляется на металле только во втором случае.

? Исследуйте электропроводность писчей бумаги сухой и слегка влажной. Исследуйте электропроводность стеклянной палочки, покрытой слоем влаги.

? Почему в сырую погоду заряженные проводники теряют свои заряды, несмотря на изолирующие подставки?

? Почему в опыте, описанном в § 162, рекомендовалось подвесить шарик на шелковинке?

**165. Положительное и отрицательное электричество.** Выше мы говорили, что электричество получается двух родов: 1) такое,

<sup>1</sup> От латинского *isolare* — отделять, уединять.

какое получается на стекле, потертом кожей; 2) такое, какое получается на каучуке, потертом сукном. Первый род электричества принято называть положительным электричеством, а второй — отрицательным.

Название «положительное» и «отрицательное» электричества удобны потому, что два рода электричества слагаются друг с другом подобно положительным и отрицательным количествам.

Это можно наблюдать при помощи двух одинаковых электроскопов и металлической палочки на изолирующей ручке, которой можно соединять стержни электроскопов, не уводя зарядов в землю.

Зарядив один из электроскопов каким-нибудь электричеством и соединив его с другим электроскопом, увидим, что заряд разделится между электроскопами пополам.

Если один из электроскопов зарядить одним родом электричества, а другой так же сильно зарядить другим родом электричества и тогда соединить электроскопы, то заряды как бы исчезают.

Равные заряды противоположных электричеств взаимно уничтожаются.

Ненаэлектризованные тела как бы обладают сколь угодно большими одинаковыми зарядами противоположных электричеств.

Придать телу некоторый отрицательный заряд все равно, что отнять от тела равный ему положительный заряд.

? Заряжая два одинаковых электроскопа до различной степени то одинаковыми, то различными электричествами, соединяйте электроскопы проволокой. Объясните, какие заряды получаются на электроскопах после соединения.

? Зарядите электроскоп и прибавляйте к его первоначальному заряду то один, то другой род электричества. Объясните наблюдаемые изменения расхождения листочков.

? Знак заряда зависит не только от того, какое вещество натирается, но и от того, каким веществом оно натирается. Обнаружьте, что стекло, натертое мехом, электризуется отрицательно.

**166. Явление электрической индукции (влияния).** Поднося заряженное тело, например, каучуковую палочку, к электроскопу, замечаем, что, когда палочка еще не касается стержня электроскопа, листочки электроскопа расходятся, при чем это расхождение исчезает, когда заряженная палочка удаляется от электроскопа.

На электроскопе появляется заряд, благодаря влиянию на него заряда палочки.

Чтобы исследовать явление несколько подробнее, соединим два одинаковых электроскопа металлической проволокой и поднесем заряженную палочку к одному из них. Листочки обоих электроско-

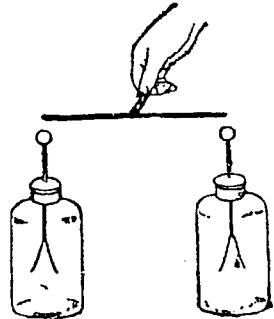


Рис. 294.

Соединение электроскопов изолированной проводящей проволокой.

пов разойдутся. Если палочку удалить, листочки электроскопов опять спадаются. Если, держа палочку вблизи электроскопов, удалить соединяющую их проволоку, то электроскопы остаются заряженными и после удаления палочки.

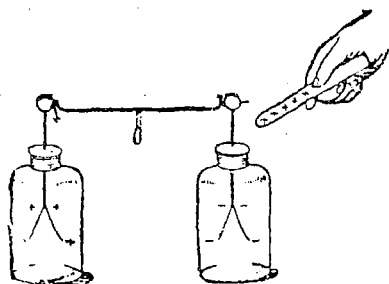


Рис. 295.

Возбуждение противоположных электричеств на соединенных электроскопах вследствие индукции.

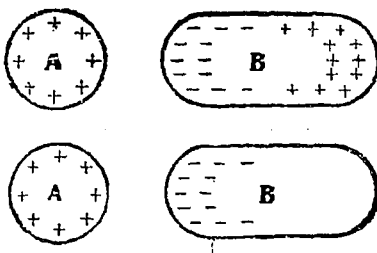


Рис. 296.

Вблизи заряженного проводника *A* на проводнике *B* возникают противоположные заряды. При соединении проводника *B* с землей отводится только заряд, одинаковый с зарядом *A*.

Исследуя заряды электроскопов, убеждаемся, что они заряжены разными электричествами, при чем ближайший к палочке электроскоп зарядился электричеством противоположным электричеству палочки, а более удаленный — одинаковым.

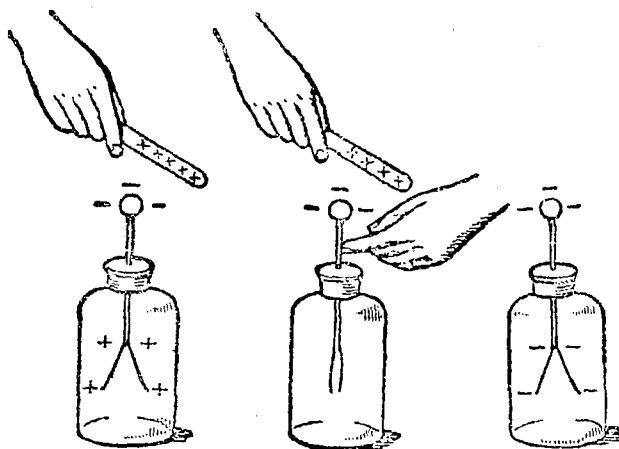


Рис. 297.

От палочки, заряженной положительно, электроскоп через индукцию заряжается отрицательно.

Итак, заряженное тело порождает электрический заряд на находящемся вблизи проводящем теле, при чем в ближайшей части возбуждается противоположное электричество, а в более удаленной одинаковое в равных количествах.

Это явление называется явлением **электрической индукции** или **влияния**.

Если, держа перед соединенными электроскопами заряженную палочку, отвести к земле тот или другой электроскоп или соединительную проволоку, то в землю уходит только заряд удаленного электроскопа, уходит только электричество, одинаковое с зарядом палочки; электричество противоположное остается на ближнем электроскопе, притягиваемое зарядом палочки.

Если теперь палочку удалить, то заряд ближнего электроскопа поровну разделится между обоими электроскопами.

? Какое явление убеждает нас в том, что возбуждаемые индукцией противоположные заряды равны между собой?

? Укажите сходства и различия между электрическими и магнитными притяжениями и отталкиваниями, а также между явлениями электрической и магнитной индукции.

? Как можно при помощи тела, заряженного одним электричеством, зарядить электроскоп противоположным электричеством (см. рис. 297)?

**167. Электрофор.** Явлением электрической индукции можно пользоваться для быстрого получения значительных электрических зарядов. Это достигается

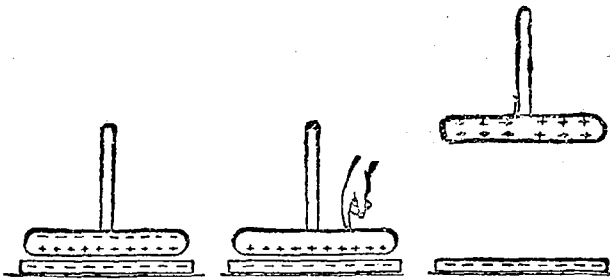


Рис. 298.

Схема распределения электрических зарядов при зарядении металлического диска электрофора.

в очень простом приборе, носящем название **электрофора**. Электрофор состоит из непроводящего диска, обыкновенно из смолы или из каучука, и из металлического диска («крышки») на изолирующей ручке.

Натирая мехом каучуковый диск, получаем на нем отрицательное электричество. Поднося возможно близко к этому слою отрицательного электричества крышку, получаем на ней, благодаря индукции, разделение электричеств. Дотрагиваясь до крышки пальцем, уводим с нее отрицательное электричество в землю. Отнимая теперь крышку за изолирующую ручку, получаем на ней положительный заряд.

Для возможно большого сближения металлического диска с каучуковым, металлический диск можно просто положить на каучуковый, при чем можно не опасаться, что отрицательный заряд каучука перейдет на металл. Это произойдет лишь в нескольких пунктах, где металл совершенно плотно прикасается к каучуку. Можно считать, что при зарядении крышки, которое можно повторять сколько угодно раз, первоначальный заряд каучукового диска не изменяется.

При достаточно больших размерах электрофора заряды получают довольно значительные. Поднося к заряженному диску палец, ощущаем легкий толчок в момент мгновенного электрического тока через наше тело в землю. Между

пальцем и диском с легким треском проскакивает заметная электрическая искра, маленькая молния.

? Зарядив каучуковый диск электрофора, наложите на него металлический диск и поднимите, не отводя к земле. Будет ли металлический диск заряженным?

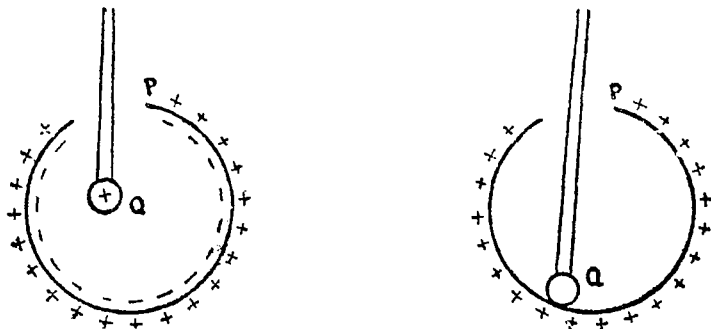


Рис. 299.

Заряженный шарик, касающийся проводника внутри, теряет весь свой заряд, а равный заряд получается только на наружной поверхности проводника.

168. Распределение электричества на поверхности проводника. Чтобы исследовать распределение электрического заряда на проводнике, удобно пользоваться небольшой, так называемой, пробной пластинкой с изолирующей рукоят-

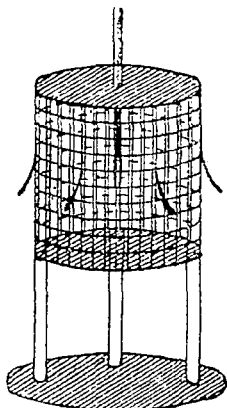


Рис. 300.

Отклонение электроскопов обнаруживает присутствие заряда только снаружи сетки.

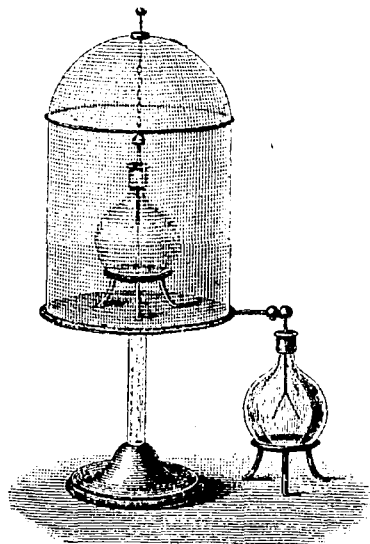


Рис. 301.

Заряжение сетки не оказывает влияния на помещенный внутри электроскоп.

кой. Эту пластинку можно прикладывать к разным местам проводника и уносить с этих мест электрические заряды. Перенося эти заряды на чувствительный электроскоп, можно судить о величине унесенных зарядов.

Опыты с пробной пластинкой показывают, что электрический заряд находится только на наружной поверхности проводящего тела.

Если заряженным, изолированным шариком прикоснуться изнутри какой-нибудь проводящей оболочки, то заряд шарика исчезает совершенно,

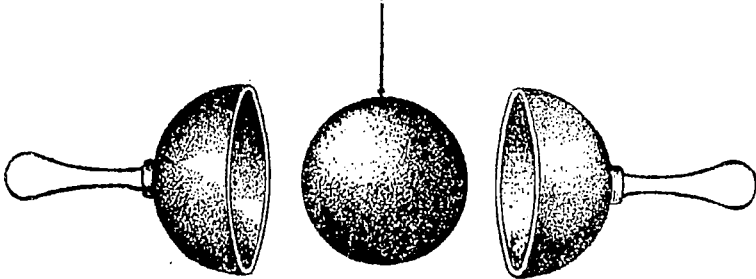


Рис. 302.

Если наэлектризовать изолированный металлический шар и закрыть его металлическими полушариями так, чтобы полушария коснулись шара, то весь заряд шара переходит на полушария.

а равный ему заряд получается на наружной поверхности оболочки.

Можно сделать проводящую оболочку из металлической сетки и подвесить к ней электроскопические листочки и снаружи и внутри;

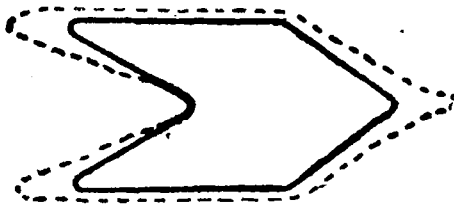


Рис. 303.

Схема распределения электрического заряда на поверхности проводника. На выступах получаются наибольшие скопления электричества.

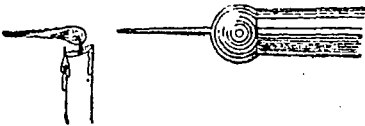


Рис. 304.

„Электрический ветер“ задувает свечу.

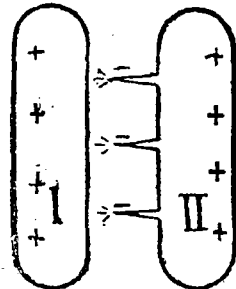


Рис. 305.

Электричество как бы переходит с I проводника на II, так как электричество, возбужденное на остриях, стекает и уничтожает заряд I проводника.

при зарядении такой оболочки только наружные листочки будут проявлять присутствие заряда.

Эти и многие другие явления убеждают нас в том, что электрический заряд держится на поверхности проводника.

Если зарядить изолированный проводник какой-нибудь неправильной формы и исследовать его заряд в различных местах (это можно



сделать при помощи «пробной пластинки» или при помощи электроскопов, подвешенных в различных местах проводника), то заметим, что заряд проводника распределяется на нем неравномерно. На выступах замечаются большие заряды, на впадинах, наоборот, меньшие.

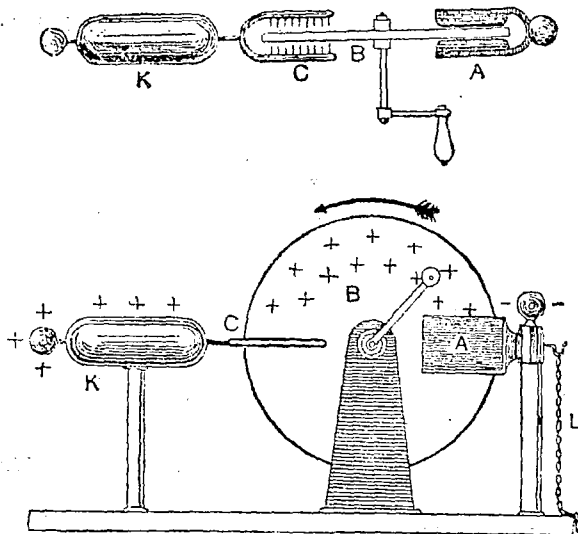


Рис. 306.

Схема электрической машины с трением.

Свеча, поднесенная к сильно заряженному острию, задувается (рис. 304).

Если к заряженному проводнику подносится другой проводник, снабженный острием, то заряд как бы переходит с первого проводника на второй, так как электричество, наведенное на остриях, переходит на первый проводник и уничтожает его заряд (рис. 305).

• 169. **Электрические машины.** Можно легко получать довольно сильные электрические заряды при помощи так называемой «электрической машины с трением» (рис. 306). Главную часть этой машины составляет стеклянный круг *B*, который вращают при помощи рукоятки. При вращении круг трется между кожаными подушками *A* и электризуется положительным электричеством. Отрицательное электричество с подушек отводится в землю. Далее наэлектризованные части круга попадают между остриями в разветвление *C*, при чем вследствие

На сильно выступающих остриях большое скопление электрических зарядов порождает явление так называемого «электрического ветра». Наэлектризовываются близлежащие частицы воздуха, которые, отталкиваясь, уносят с собой части заряда.

Проводник, снабженный острием, не может удерживать электрического заряда.

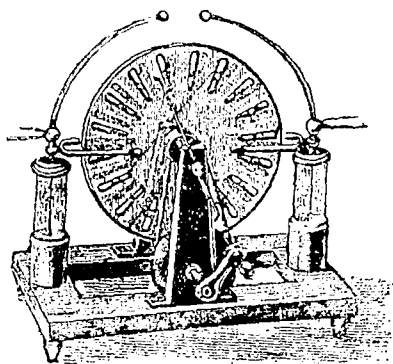


Рис. 307.

Внешний вид электрофорной машины.

явления электрического ветра заряд круга уничтожается, а на проводнике К получается положительный заряд, который увеличивается по мере вращения круга до некоторой величины, зависящей от размеров и устройства машины.

Существует несколько видов машин, в которых большие заряды электричества добываются подобно тому, как в электрофоре, при помощи индукции от первоначального незначительного заряда.

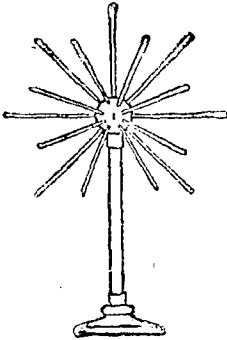


Рис. 308.  
Наэлектризованный султан.

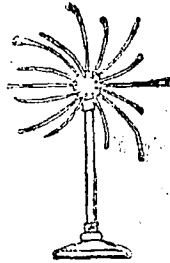
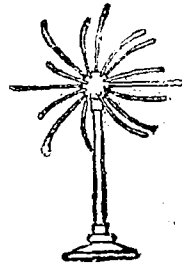


Рис. 309.  
Султаны, наэлектризованные противоположными электричествами.



Такие «электрофорные» машины обыкновенно устраиваются так, что на двух проводниках получаются одновременно заряды противоположных электричеств. При достаточном заряджении проводников скопленные на них электричества соединяются, образуя более или менее сильную искру между проводниками.

Если от такой машины желательно получить одно какое-нибудь электричество, то противоположное электричество отводится в землю.

**170. Некоторые электростатические явления.** Получая при помощи машины значительные количества электричества, можно произвести много поучительных и забавных опытов, из которых укажем некоторые.

I. Если наэлектризовать султан, сделанный из тонких полосок

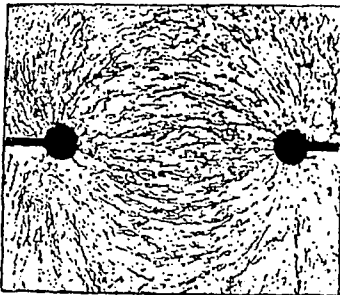


Рис. 310.  
Спектр электрических силовых линий.

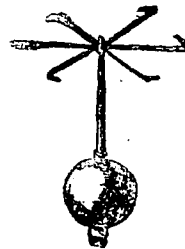


Рис. 311.  
Колесо Франклина.

папиросной бумаги, то отдельные полоски, отталкиваясь друг от друга, образуют пучок, расходящийся в разные стороны (рис. 308). Если наэлектризовать два султана одинаковыми или разными электричествами, то можно наблюдать

и отталкивание, и притяжение полосок. При этом расположение полосок получается подобное расположению силовых линий между отталкивающимися и притягивающимися магнитными полюсами (стр. 201).

II. Подобно тому, как магнитные силовые линии получаются при помощи железных опилок, можно получать электрические силовые линии, насыпав в прованское масло или в скипидар по возможности крупного порошка хинина и помещая в сосуд с маслом шарики (рис. 310), соединенные с источником электричества.

III. Если электризовать колесико (рис. 311), составленное из загнутых проволок с заостренными концами (колесо Франклина), то получается электрический ветер с заостренных концов и при этом колесико вертится в сторону, противоположную загибам концов. (Сравните с «сегнеровым колесом», § 83.)



Рис. 312.

Вениамин Франклин (1706—1790), знаменитый американский государственный деятель, в науке прославился исследованиями в области электричества, особенно электричества атмосферы. Изобрел громотвод.

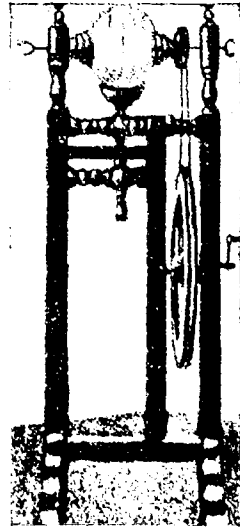


Рис. 313.

Электрическая машина с трением, сделанная Франклином.

IV. Искрою, получающеюся при достаточно сильном электрическом разряде, можно насквозь пробить бумагу, картон и даже стекло. Искрой можно поджечь пары эфира, светильный газ или гремучую смесь (смесь водорода с кислородом).

V. Можно наэлектризовать человека. Чтобы изолировать себя от земли, человеку надо стать на какую-нибудь непроводящую подставку или, проще всего, надеть на ноги сухие резиновые калоши. У наэлектризованного человека волосы топорщатся в разные стороны, от него получаются искры, как от самой машины; этими искрами можно поджигать газ и т. п.

171. **Количество электричества, электрический потенциал и электрическая емкость.** Подобно тому, как в учении о тепловых явлениях следует резко различать понятие количества теплоты, содержащейся в теле, от понятия температуры (степени нагретости) тела, так в учении об электричестве следует различать понятие количества электричества на проводнике

от понятия электрического потенциала, <sup>1</sup> т.е. напряжения электрического заряда.

Возьмем два совершенно одинаковых проводящих шарика на изолирующих ручках. Наэлектризовав эти шарики, приведем их в прикосновение и тогда можем ручаться, что заряды этих шариков равны. Возьмем теперь два изолированных проводника различной величины, например, две жестяные коробки. Каждый из проводников соединим проволоками с одинаковыми электроскопами. Вводя внутрь того и другого проводника наши заряженные шарики, мы передадим сполна этим проводникам равные заряды. При этом расхождение листочков у электроскопов получится различное: у малого проводника электроскоп зарядится сильнее, у большого — слабее. От одинаковых зарядов малый проводник заряжается до большего потенциала, а большой проводник — до меньшего потенциала. Малый проводник имеет меньшую электрическую емкость, а большой проводник — большую электрическую емкость.

Если наши проводники, заряженные до разных потенциалов, соединить проволокой, то электричество перетечет от малого проводника к большому, от большего потенциала к меньшему, так что расхождение листочков у обоих электроскопов получится одинаковое, т.е. потенциалы у обоих проводников сравняются.

При соединении проводников электричество перетекает от проводника с большим потенциалом к проводнику с меньшим потенциалом до тех пор, пока потенциалы не сравняются.

Для лучшего усвоения понятий: количества электричества, электрического потенциала и электрической емкости сопоставим черты сходства и черты различия между этими новыми понятиями и знакомыми понятиями: количества теплоты, температуры и теплоемкости.

Для одного и того же проводника, чем больше на нем электричества, тем выше его потенциал.

Потенциал земли и всех соединенных с землей тел условно принимается за нуль потенциала.

Для одного и того же тела, чем больше в нем содержится теплоты, тем выше его температура.

Температура таяния льда условно принимается за нуль температуры.

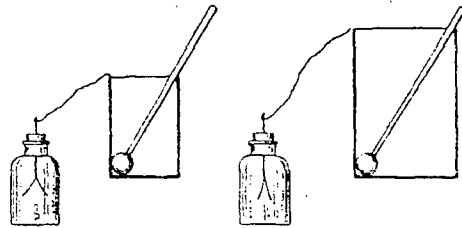


Рис. 314.

От одинаковых зарядов проводники различных величин электризуются различно.

<sup>1</sup> Латинское *potentia* — мощь, сила.

Тела, более или менее сильно наэлектризованные положительным электричеством, считаются имеющими больший или меньший положительный потенциал, а тела, наэлектризованные отрицательным электричеством, — отрицательный потенциал.

Если одинаковые количества электричества сообщаются двум разным проводникам, они электризуются до различных потенциалов: проводник, имеющий большую емкость, заряжается до меньшего потенциала.

Чтобы наэлектризовать различные проводники до одинакового потенциала, нужно тем больше электричества, чем больше емкость проводника.

При соединении двух заряженных проводников проводящей проволокой электричество перетекает от большего потенциала к меньшему до уравнения потенциалов.

Емкость проводника зависит от его объема и от его формы, но не зависит от его массы (проводник массивный и такой же проводник, состоящий из одной наружной оболочки, имеют одинаковую емкость) не зависит также от вещества проводника, лишь бы это вещество было проводящее.

Емкость проводника изменяется, если вблизи него помещается другой проводник, заряжающийся от влияния первого. (Подробнее это явление рассматривается ниже.)

Наглядное подобие проводников различной емкости, заряженных до различных потенциалов, представляют собой цилиндрические сосуды различной ширины, содержащие жидкость, налитую до различных высот. Нетрудно сообразить, что количество жидкости можно уподобить количеству электричества, ширину сосуда — емкости проводника, а высоту уровня жидкости — потенциалу. При соединении сосудов соединительной трубкой жидкость перетекает из сосуда с более высоким уровнем к сосуду с более низким.

? Зарядите два изолированных проводника противоположными электричествами до потенциалов одинаковой величины и затем соедините проводники проволокой. Объясните, каковы получаются окончательные заряды проводников при одинаковой емкости проводников и при различной.

Тела более теплые, чем тающий лед, считаются имеющими положительную температуру, а более холодные — отрицательную температуру.

Если одинаковые количества теплоты сообщаются двум различным телам, они нагреваются до различных температур: тело, имеющее большую теплоемкость, нагревается до более низкой температуры.

Чтобы нагреть различные тела на одинаковое число градусов, надо тем больше теплоты, чем больше теплоемкость тела.

При соприкосновении тел теплота переходит от более нагретого тела к менее нагретому до уравнения температур.

Теплоемкость тела не зависит от его формы, но зависит от его массы и от вещества тела; различные вещества имеют различные удельные теплоемкости.

Теплоемкость тел не изменяется от приближения других каких-нибудь тел.

? Для приблизительного измерения зарядов на различных проводниках можно воспользоваться прибором (рис. 316), состоящим из двух небольших пластинок, между которыми повешен проводящий шарик на изолирующей нити.

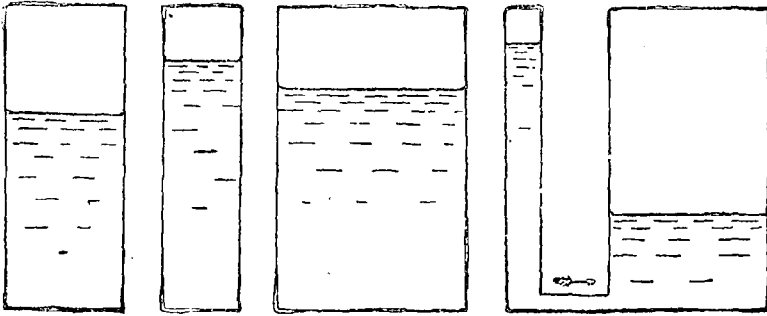


Рис. 315.

Сосуды различной ширины с жидкостью, налитой до различных уровней, можно уподобить проводникам различной емкости, заряженным до различных потенциалов.

Одна из пластинок соединяется с заряженным проводником, другая с землей. Шарик приходит в колебание и, ударяясь то об одну, то о другую пластинку постепенно переносит заряд в землю. Почему? Число колебаний шарика до полного разряда проводника может служить приблизительной мерой его заряда.

Измерьте таким способом заряды проводников различной емкости, заряжаемых до различных потенциалов.

**172. Конденсатор.**<sup>1</sup> Возьмем изолированный проводник в форме пластинки и, соединив его проволокой с электроскопом, зарядим до некоторого потенциала. Если теперь к заряженной пластинке поднесем другую пластинку, отведенную к земле, то потенциал пластинки уменьшится, листочки электроскопа сблизятся. Потенциал будет уменьшаться тем больше, чем ближе между собою пластинки.

По уменьшению потенциала при неизменном заряде мы заключаем, что от приближения второй пластинки, отведенной к земле, емкость первой пластинки увеличивается.

При достаточно чувствительном электроскопе можно подметить также, что емкость еще более увеличивается, если между производящими пластинками вставлять пластинки парафина, серы, стекла

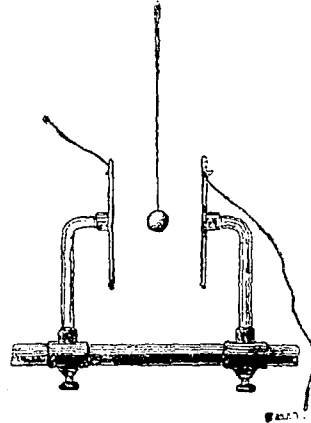


Рис. 316.

Приспособление для измерения электрических зарядов. Изолированный шарик, качаясь между пластинками, переносит постепенно заряд левой пластинки в землю.

<sup>1</sup> Латинское *condensare* — сгущать, уплотнять.

и т. п., при чем емкость изменяется по разному для разных изоляторов. Это явление ясно показывает, что электрическая сила действует различно через различные непроводники.

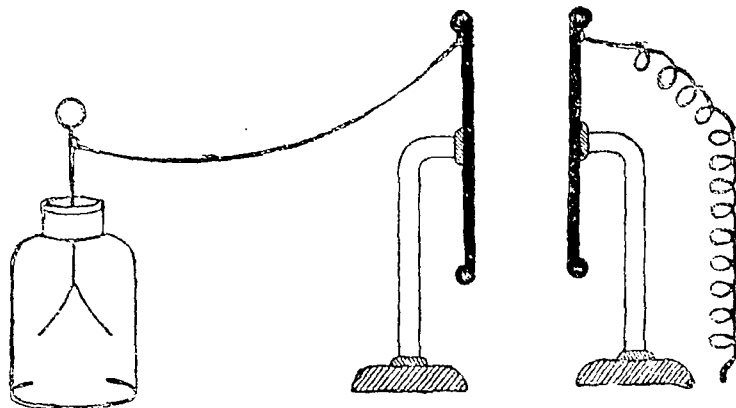


Рис. 317.

Когда пластинка, отведенная к земле, удалена, потенциал пластинки, соединенной с электроскопом, большой; расхождение листочек значительное.

Итак, совокупность двух проводящих пластинок, разделенных изолятором, представляет собой емкость большую, чем отдельная пластинка.

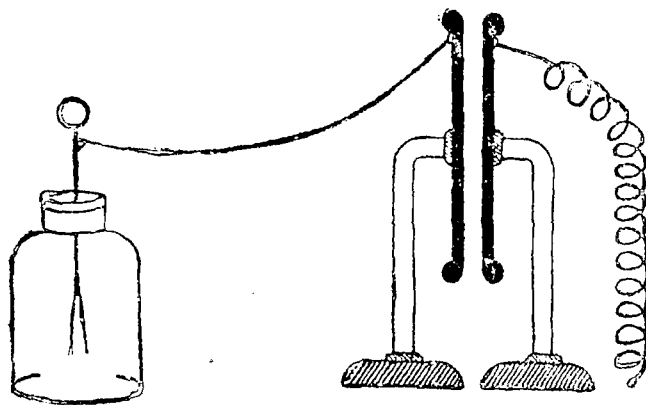


Рис. 318.

Когда пластинка, отведенная к земле, приближена, потенциал пластинки, соединенной с электроскопом, уменьшается; листочки спадаются.

Различные приборы, состоящие из двух проводящих пластинок, разделенных изолирующим слоем, называются электрическими **конденсаторами**, т.-е. сгустителями.

Если имеется источник электричества (например, машина), который способен заряжать тела только до некоторого определенного потенциала, то на отдельный проводник, соответственно его небольшой

емкости, от источника может перейти сравнительно немного электричества; на конденсатор же, имеющий большую емкость, перетечет соответственно больший заряд.

При заряджении одной пластинки конденсатора каким-нибудь электричеством на другой пластинке, отведенной к земле, вследствие индукции возбуждается заряд противоположного электричества в равном количестве. Поэтому при соединении проводником пластинок между собою электричества соединяются, конденсатор разряжается.

**173. Лейденская банка.** Удобной, употребительной формой конденсатора, применяемого для очень сильных зарядов, является так называемая «лейденская банка», получившая свое название от города Лейдена (в Голландии), где были произведены (в XVIII веке) одни из первых опытов с конденсаторами подобного вида.

Проводящими пластинками в лейденской банке служат листы оловянной бумаги, которыми внутри и снаружи обклеена цилиндрическая стеклянная банка; изолирующим слоем служит самое стекло банки. Для удобства пользования банкой внутренняя обкладка соединена с металлическим стержнем, выступающим наружу.

Для заряджения лейденской банки одну из обкладок соединяют с источ-

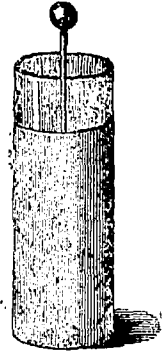


Рис. 319.  
Внешний вид лейденской банки.

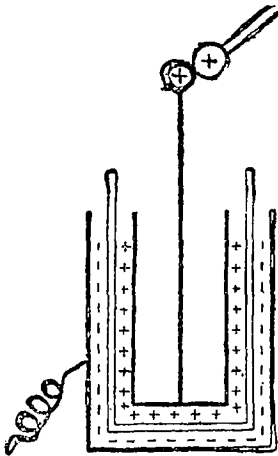


Рис. 320.

Схема заряджения лейденской банки: внутренняя обкладка соединена с источником положительного электричества, а внешняя отведена к земле.

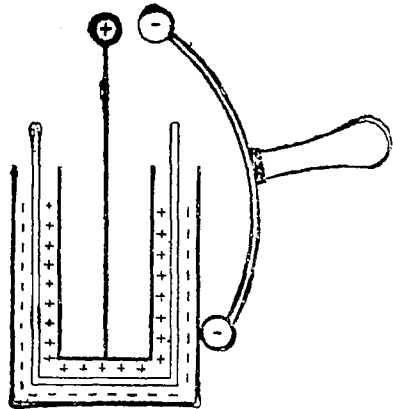


Рис. 321.

Схема разряджения лейденской банки при помощи разрядника.

ником электричества, другую с землей или с источником противоположного электричества.

Разряд банки производится соединением внутренней и внешней обкладок. Это соединение производится при помощи «разрядника»,



состоящего из металлического прута с изолирующей ручкой. Можно разрядить банку и без разрядника. Если одной рукой коснуться стержня, а другой — наружной обкладки, то разряд (мгновенный ток) происходит через наше тело, при чем ощущается более или менее чувствительный толчок.

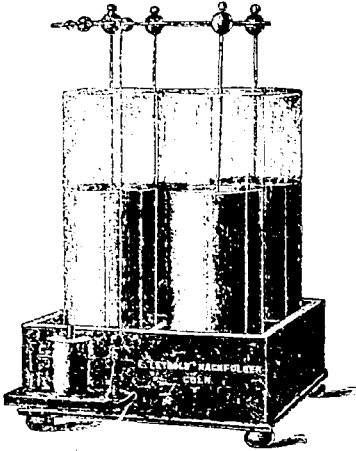


Рис. 322.

Батарея из 4-х лейденских банок.

Можно произвести разряд банки через «цепь» людей, взявшись рука за руку. Если первый касается одной обкладки, а последний — другой, то разряд мгновенно проходит через всю цепь.

Сильные разряды не только могут вызывать очень болезненные ощущения, но и представляют серьезную опасность для жизни.

Для получения большей емкости можно взять несколько лейденских банок, соединив проводниками отдельно их внешние и внутренние обкладки.

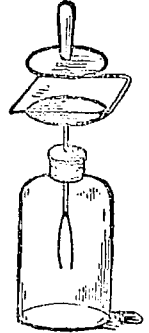


Рис. 323.

Электроскоп с конденсатором.

Емкость такой «батарей» банок во столько раз больше емкости отдельной банки, сколько взято банок.

? Попробуйте заряжать последовательными зарядами электрофорной крышки один раз изолированный шар, другой раз лейденскую банку. Считайте, сколько зарядов передается на шар и на банку, прежде чем заряды перестанут передаваться. В каком случае зарядов больше? Почему?

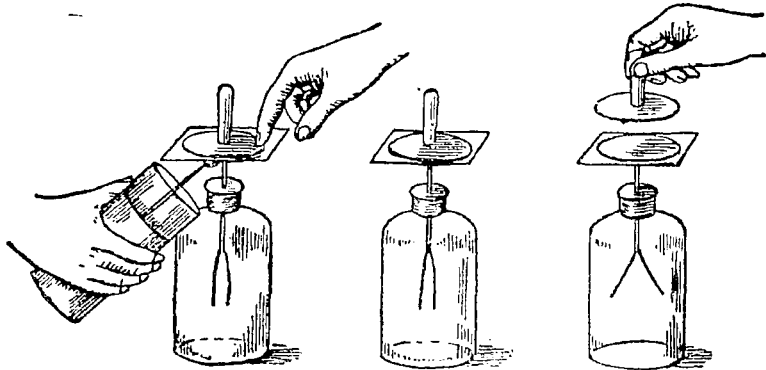


Рис. 324.

Электроскоп с конденсатором заряжается от источника малого потенциала. При удалении верхней пластинки емкость уменьшается, и потенциал электроскопа возрастает.

? Попробуйте заряжать от машины один раз простой изолированный проводник, другой раз лейденскую банку, соединяя во время заряжения проводник и банку с электроскопом. Следите за быстротой раздвижения листочков электроскопа. В каком случае раздвижение происходит быстрее? Почему?

? Попробуйте измерить заряд лейденской банки при помощи приспособления, описанного на стр. 225 (рис. 316), соединяя одну пластинку с внутренней, а другую с внешней обкладкой банки.

? Чтобы сделать электроскоп более «чувствительным», к нему присоединяют конденсатор. Этот конденсатор составляется из металлической пластинки, приделанной к стержню электроскопа, пластинки изолятора (стекло, слюда или слой лака, нанесенный прямо на металл) и, наконец, из второй металлической пластинки на изолирующей ручке.

Зарядите нижнюю пластинку электроскопа, отводя в это время верхнюю пластинку к земле. Если после заряджения удалить верхнюю пластинку, то расхождение листочков электроскопа увеличивается.

Почему один и тот же заряд на электроскопе производит различные расхождения листочков, смотря по тому, наложена или не наложена верхняя пластинка?

Как при этом изменяется емкость электроскопа? Как меняется потенциал?

Как воспользоваться таким электроскопом, чтобы подмечать электризацию источников электричества малого потенциала?

## II. Электрический ток.

**174. Электрический ток.** До сих пор нам приходилось иметь дело с д в и ж е п и е м электричества только в виде мгновенного распространения его по проводнику или в виде мгновенного перехода с одного проводника на другой.

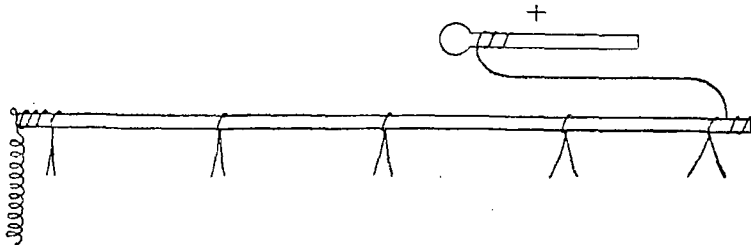


Рис. 325.

Ток электричества по деревянной палке, один конец которой соединен с землей. Электроскопы обнаруживают постепенное падение потенциала вдоль палки.

Явление непрерывного течения электричества, явление **электрического тока**, можно получить так: возьмем какой-нибудь полупроводник, например, деревянную палку (или пеньковую веревку), соединим один ее конец с электрической машиной, а другой — с землей: для приблизительного измерения потенциалов в разных точках палки подвесим легкие листочки, которые будут служить электроскопами.

Если теперь непрерывно вертеть машину и непрерывно подводить электрические заряды к одному концу палки, то электричество будет непрерывно течь по палке к земле. При установившемся равномерном течении электричества мы заметим по нашим электроскопам (рис. 325), что потенциалы в различных местах палки последовательно уменьшаются от машины к земле. Явление можно уподобить явлению течения жидкости по трубке, при чем напор жидкости, измеряемый высо-

той уровня в трубочках, расположенных вдоль горизонтальной трубки, подобно потенциалу, последовательно уменьшается по направлению течения (рис. 326).

Если концы нашей полупроводящей палки соединить с полюсами машины, дающей противоположные электричества, то получим одно-

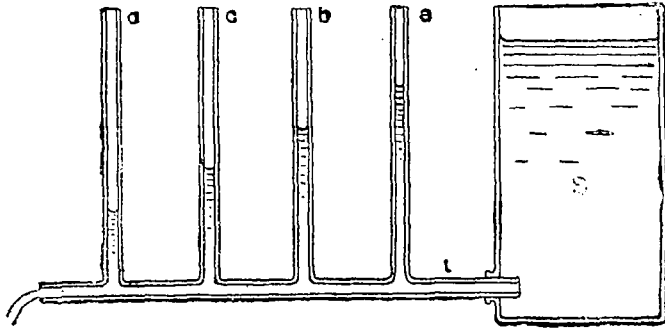


Рис. 326.

Постепенное уменьшение давления воды, текущей по трубе. Подобие электрического тока от машины к земле.

временное течение положительного и отрицательного электричества в противоположные стороны (рис. 327).

Для большей простоты можно представлять себе, что течет только в одну сторону одно положительное электричество в двойном количестве.

За направление тока условимся считать то направление, по которому течет положительное электричество.

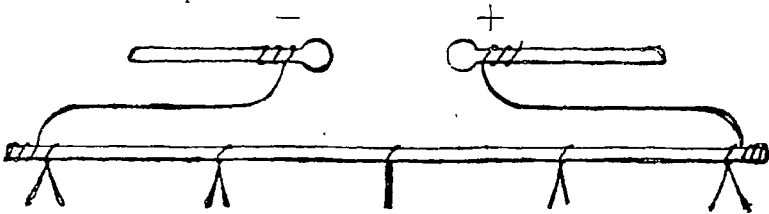


Рис. 327.

Ток электричества по деревянной палке, концы которой электризуются противоположно. На концах наибольший положительный и отрицательный потенциал. Посредине потенциал — нуль.

Машина устанавливает на концах палки определенную разность потенциалов. Соединяя какой-нибудь из полюсов машины или какое-нибудь место палки с землей, мы можем изменить величины потенциалов, но только так, что разность потенциалов остается неизменной.

Движение электричества вдоль палки получается вследствие разности потенциалов на ее концах; поэтому разность потенциалов называют также электродвижущей силой,

Количество электричества, протекающее через какое-нибудь поперечное сечение палки, в каждую секунду определяется собой **силой тока**.

Чем больше ежесекундно протекает электричества, тем сильнее ток.

Так как на протяжении палки электричество нигде не создается, не исчезает и не скопляется, то ясно, что сила тока в разных местах палки одинакова.

Сила тока тем больше, чем больше электродвижущая сила, т.-е. разность потенциалов, на концах палки.

Если бы вместо палки мы взяли какой-нибудь лучший проводник, например, металлическую проволоку, то по такому проводнику электричество перетекало бы настолько свободно, что потенциалы на концах быстро выравнялись бы, и, вращая машину, мы не смогли бы создать большой разности потенциалов.

В обоих случаях, и с палкой и с проволокой, при одинаково быстром вращении машины в каждую секунду вырабатываются и пропускаются одинаковые количества электричества (сила тока в обоих случаях одинакова), но в случае палки разность потенциалов на концах большая, а в случае проволоки — маленькая.

Электрический ток определенной силы получается при тем большей электродвижущей силе (разности потенциалов), чем меньше **электропроводность проводника**.

? Соедините друг с другом два полюса машины (или один полюс машины с землей) при помощи длинной веревки с подвешенными электроскопами. Наблюдайте расхождение электроскопических листов один раз на сухой веревке, а другой раз на смоченной водой. Какая разница получается? Почему?

? Чтобы получить движение воды, подобное движению электричества в рассматриваемых случаях, налейте в два высоких узких сосуда воды, соединив эти сосуды внизу трубкой один раз очень узкой (плохой проводник), другой раз широкой (хороший проводник). Переливайте каким-нибудь черпаком воду из одного сосуда в другой. При одинаково быстром переливании достигается ли одинаковая разность уровней при разных соединительных трубках? Почему? Что тут является подобием действия машины, количества электричества, силы тока, электродвижущей силы и т. д.?

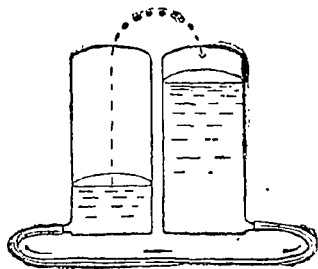


Рис. 328.

Подобие электрического тока. Если в сосудах поддерживается постоянная разность уровней, по соединительной трубке получается равномерный ток жидкости.

**175. Электрические токи различных видов.** Для изучения разнообразнейших свойств и проявлений электрического тока наш ток, получающийся от электростатической машины, очень неудобен; гораздо удобнее токи, получаемые от других источников, описанных ниже. Особенностью токов, получающихся от машины, является то, что здесь

получаются сравнительно огромные электродвижущие силы (разности потенциалов), но сравнительно ничтожные количества электричества, а следовательно — ничтожные силы токов.

Ниже мы ознакомимся с источниками, дающими, наоборот, сравнительно огромные количества электричества (токи большой силы), хотя и при малых разностях потенциалов.

? Каковы должны быть условия движения жидкости, чтобы это движение представляло собой подобие движения малого количества электричества при большей разности потенциалов?

? Каковы должны быть условия движения жидкости, чтобы это движение представляло собой подобие движения большого количества электричества при малой разности потенциалов?

? При таких условиях электрический ток подобен движению воды в горном ручье, в водопаде многоводном и маловодном, в реке многоводной и маловодной, текущей в долине?

**176. Историческая заметка об открытии явлений «гальванизма».** В самом конце XVIII века итальянский профессор анатомии Гальвани сделал открытие, оказавшее огромное влияние на развитие учения об электрических явлениях. Открытие заключалось в следующем: при исследованиях действия атмосферного электричества на мускулы и на нервы свежепрепарированной лягушки Гальвани подметил, что при соединении металлическими проволоками спинного нерва с мускулами лягушечьей лапки (рис. 329), без всякого постороннего источника электричества, мускулы сокращаются и лапка судорожно вздрагивает, совершенно так же, как при пропускании через лапку электрического разряда. Явление наблюдалось особенно ясно, когда соединительная проволока составлялась из двух различных металлов.



Рис. 329.

Опыт Гальвани. При соединении нерва и мускула двойной проволокой лапка сокращается.

Для объяснения явления Гальвани предполагал, что через металлические проволоки получается разряд «животного» электричества, заключающегося в нервах и мускулах лягушки (или любого другого животного, так как и с другими животными наблюдаются подобные же явления).

Совершенно другое объяснение явления предлагал современник и соотечественник Гальвани, профессор физики Вольта, который предполагал, что источником электричества является проводник, составленный из двух разных металлов, а лапка лягушки представляет собой лишь крайне чувствительный электроскоп, позволяющий подмечать слабую электризацию, получающуюся при соприкосновении двух разных металлов.

И тот, и другой ученые старались различно видоизменяемыми опытами доказать справедливость своего взгляда. Дальнейшие опыты обнаружили справедливость обоих мнений.

Гальвани прямыми опытами доказал, что электрическое содрогание лягушечьей лапки можно получить и без всякого участия металлов, так как, действительно, и мускулы, и нервы животного могут быть источниками электричества.

Вольта же, с своей стороны, доказал, что электричество при соприкосновении двух различных металлов можно обнаружить без всякого участия нервов или мускулов при помощи достаточно чувствительного электроскопа.

Исследования Вольты открыли новую область электрических явлений: Вольта открыл новый источник электричества — электризацию при химических взаимодействиях веществ; этот источник электричества позволил исследовать разнообразные явления, связанные с электрическими токами большой силы.

Эти явления до сих пор иногда, по почину Вольты, называют «гальваническими» явлениями, или явлениями «гальванизма» — по имени Гальвани. Некоторые физики — большею частью англичане — считают более справедливым называть эти явления «вольтаическими» — от имени Вольты.



Рис. 330.

Луиджи Гальвани (1737—1798), профессор анатомии в Болоньи; своими замечательными исследованиями открыл новые области электрических и физиологических явлений.

**177. Гальванический элемент Вольты.** Вольтов столб. Гальваническая батарея. Возьмем пластинку меди и пластинку цинка с чистыми поверхностями и сложим их, проложивши между ними кусочек сукна (полотна или бумаги), смоченный слабым раствором серной кислоты. Имея достаточно чувствительный электроскоп, можно обнаружить, что при этом обе пластинки слабо наэлектризовываются.

Если, отведя цинк к земле, соединить электроскоп с медью, получаем положительный заряд; если же, наоборот, медь соединить с землей, а цинк с электроскопом, — то отрицательный заряд. Между медью и цинком постоянно поддерживается маленькая разность потенциалов. Если медь соединить с цинком металлической проволокой, то получается непрерывный электрический ток, при чем положительное электричество перетекает по проволоке от меди к цинку, а по кислоте — от цинка к меди. Ток этот продолжается до тех пор, пока химическое действие кислоты поддерживает разность потенциалов на пластинках. Дальше будут описаны способы обнаруживать существование этого тока.

Наше соединение меди, кислоты и цинка представляет собой простейший гальванический элемент. Электродвижущая сила (разность потенциалов), получающаяся на пластинках этого элемента, крайне мала, но ее можно увеличить соединением нескольких таких элементов. Составив несколько элементов, положим их друг на

друга так, чтобы медь предыдущего элемента соприкасалась с цинком следующего (рис. 332). Мы получим стопу элементов, так называемую

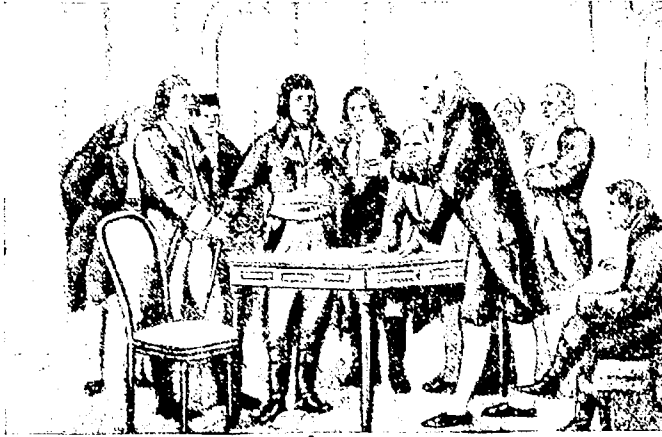


Рис. 331.

Вольта показывает опыты с гальваническим столбом в Париже перед первым консулом Наполеоном Бонапарте (1801 г.).

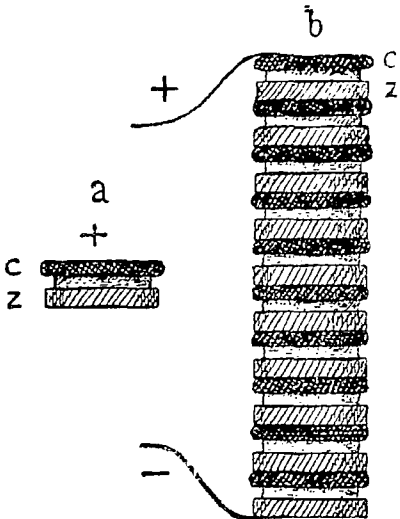


Рис. 332.

Схема вольтова элемента (а) и вольтова столба (b).

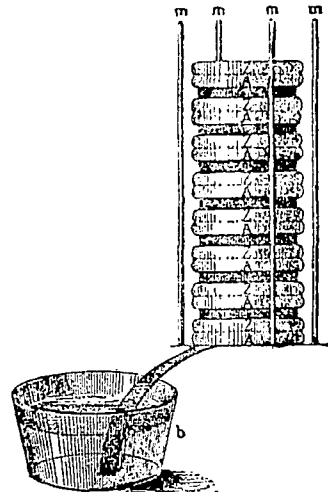


Рис. 333.

Вольтов столб, сделанный собственноручно Вольтой.  $\frac{1}{5}$  нат. величины.

мый вольтов столб, на концах которого поддерживается разность потенциалов, во столько раз большая разности потенциалов одного элемента, сколько взято элементов,

Электризацию на концах или, как говорят, на полюсах вольтова столба в 20 или 30 элементов можно подметить даже довольно грубым электроскопом с конденсатором.

При соединении полюсов такого столба проволокой можно получить заметную искорку и другие проявления электрического тока; однако, в качестве источника электрического тока вольтов столб крайне непрактичен.

Еще сам Вольта изобрел следующее, более удобное, видоизменение элемента и столба: элемент составляется из пластинок меди и цинка, которые погружаются в стаканчик с раствором кислоты, а вместо столба из таких элементов в стаканчиках составляется батарея последовательным соединением меди предыдущего элемента с цинком следующего (рис. 335); крайняя свободная медь представляет собой положительный полюс батареи, а крайний цинк — отрицательный.

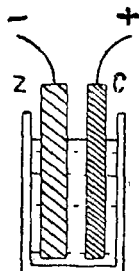


Рис. 334.

Элемент Вольты со стаканчиком.

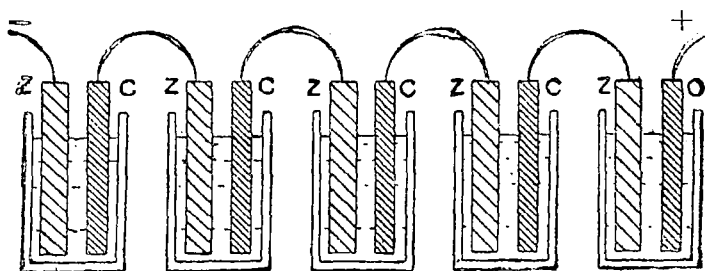


Рис. 335.

Батарея из элементов Вольты, соединенных последовательно.

- ?) Почему нельзя составить батарею из соединенных пластинок меди и цинка, погруженных в один общий сосуд с раствором кислоты?
- ? Почему вольтов столб хуже действует, если раствор кислоты, вытекая из суконных прокладок, образует потоки вдоль столба?

**178. Поляризация элемента Вольты.** Элемент Вольты, состоящий из меди, раствора серной кислоты и цинка, может давать ток лишь недолгое время, так как его электродвижущая сила быстро уменьшается.

Чтобы уяснить себе это явление, обратим внимание на химические действия внутри элемента. Опустим в раствор серной кислоты палочку или пластинку обыкновенного продажного цинка, который отличается от химически чистого цинка тем, что содержит сторонние примеси: свинец, железо и др. Обыкновенный цинк сейчас же вступает в соединение с серной кислотой, при чем образуется серно-цинковая соль (цинковый купорос) и выделяется газообразный водород, пузырьки которого непрерывно появляются на поверхности цинка.

Происходит химическая реакция, которую для наглядности изобразим так:



Цинк замещает водород серной кислоты, образуя сернокислый цинк.  
(См. табл. на стр. 236.)

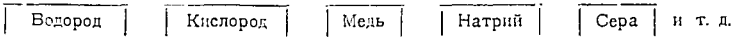


Такое растворение цинка, происходящее помимо всякого получения электрического тока, невыгодно, так как при этом цинк тратится напрасно. Такого бесполезного растворения цинка в кислоте не получается, если цинк химически чистый или если он амальгамирован, т.-е. покрыт слоем ртути, растворяющей цинк.

### Таблица химических обозначений.

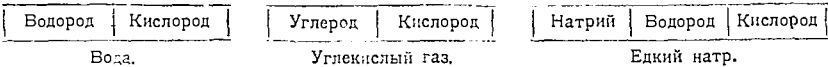
1. Химические элементы, т.-е. вещества, неразложимые на какие-либо более простые, составные части, будем обозначать их названиями.

Например:



2. Химические соединения будем обозначать названиями элементов, входящих в их состав, заключенными в общую рамку.

Например:



Вода.

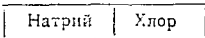
Углекислый газ.

Едкий натр.

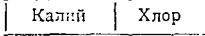


Соляная кислота.

Серная кислота.



Хлористый натр.  
(Поваренная соль.)

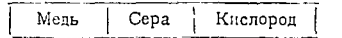


Хлористый калий.

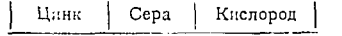


Хлористый цинк.

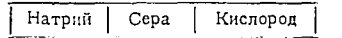
Соли соляной кислоты  
(водород кислоты замещается  
различными металлами).



Сернокислая медь.  
(Медяный купорос.)



Сернокислый цинк.  
(Цинковый купорос.)



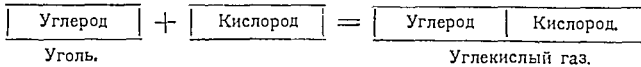
Сернокислый натрий.  
(Глауберова соль.)

Соли серной кислоты  
(водород кислоты замещается  
различными металлами).

3. Химические реакции будем обозначать в форме равенства суммы веществ до и после реакции.

Например:

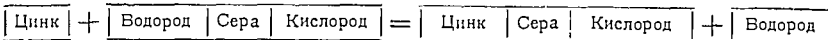
Реакция соединения угля с кислородом (сгорание угля).



Уголь.

Углекислый газ.

Реакция действия серной кислоты на цинк.



Серная кислота.

Цинковый купорос.

Опустив в раствор кислоты амальгмированный цинк, мы почти не заметим выделения водорода, цинк не будет растворяться. Опустим рядом с цинком пластинку меди, — опять ни на цинке, ни на меди не будет заметно действия кислоты: но если теперь соединить медь с цинком металлической проволокой, чтобы получить ток, то около медной пластинки начнут появляться пузырьки водорода, при чем в соединении с кислотой входит не медь, а цинк, что при небольших пластинках легко заметить через некоторое время.

Амальгамированный цинк растворяется тогда, когда от элемента получается ток, при чем освобождающийся газообразный водород получается на медной пластинке.

Выделение газообразного водорода на медной пластинке сопровождается уменьшением электродвижущей силы элемента; элемент, как говорят, поляризуется.

Эта поляризация элемента Вольты представляет существенный его недостаток, благодаря которому этим элементом на практике никогда не пользуются.

В употребительных элементах всегда подбирается такой состав жидкости, чтобы освобождающийся водород не выделялся, а вступал бы в какое-нибудь соединение.

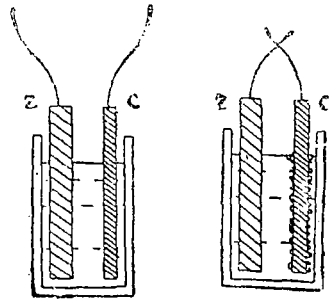


Рис. 336.

Когда элемент замыкается, на медном электроде замечается выделение водорода.

**179. Наиболее употребительные элементы.** 1. Элемент с хромовой жидкостью, или элемент Гренэ. В состав этого элемента входят следующие вещества:

—	Смесь раствора серной кислоты	+
Цинк	Водород   Сера   Кислород	Уголь
Отрицательный полюс.	с раствором двухромового калия.	(к о к с) Положительный полюс.
	Калий   Хром   Кислород	

12 вес. частей двухром. калия, 25 ч. серн. кисл. и 100 ч. воды.

Водород, освобождающийся при действии серной кислоты на цинк, вступает в соединение с двухромовым калием, чем достигается значительное ослабление поляризации.

Для удобства пользования элементом, ему придана форму бутылки с крышечкой, как изображено на рис. 337.

Положительный электрод состоит из двух пластинок кокса; между которыми, не касаясь их, вставляется цинковая пластинка, которую можно вынимать из жидкости, когда элемент не работает. К крышке приделаны винтовые зажимы — «клеммы» — для присоединения проводов.

Элемент Гренэ часто употребляется при физических опытах, а также для некоторых практических целей, например, в медицине.

2. Элемент Лекланше. В состав элемента входят следующие вещества.

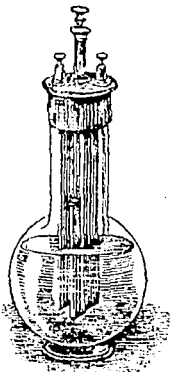


Рис. 337.

Внешний вид элемента Гренэ.

—	Раствор нашатыря.	+
Цинк	Азот   Водород   Хлор	Уголь
Отрицательный полюс.		(к о к с) Полож. полюс.

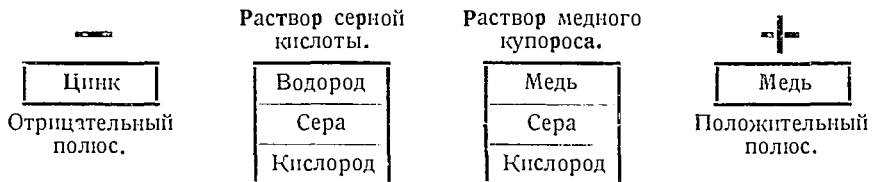
Поляризация этого элемента уничтожается тем, что водород вступает в соединение с перекисью марганца, образуя воду и окись марганца.

Элемент Лекланше, очень удобный во многих отношениях, не пригоден, однако, для продолжительного непрерывного действия, так как устра-

пение газообразного водорода (деполяризация) происходит в нем медленно, не успевая восстановить элемент во время сильного непрерывного тока.

Элементы Лекланше разных фасонов весьма часто употребляются для электрических звонков.

3. Элемент Даниэля. Этот элемент может служить примером элемента с двумя жидкостями; составляется он из следующих веществ:



Водород, выделяющийся при действии серной кислоты на цинк, вытесняет медь в медном купоросе, а вытесненная металлическая медь осаждается на положительном электроде.

Чтобы осуществить в элементе соприкосновение двух жидкостей без смешения, одну из жидкостей наливают в цилиндр из пористой (слабо обожженной) глины, и весь этот цилиндр погружают в более широкий сосуд, содержащий вторую жидкость.

4. Сухие элементы. В продаже существуют разных фасонов так называемые сухие элементы, удобные для многих практических применений (звонки, домашние телефоны, карманные фонарики и т. п.).

В состав этих сухих элементов также входят жидкости (растворы солей или кислот), но эти жидкости впитаны, как в губку, в какую-нибудь пористую массу, например: в древесные опилки, в глину, в желатин и т. п.

5. Аккумуляторы, или «вторичные элемент». Очень употребительны так называемые аккумуляторы, которые дают ток лишь после того, как предварительно «заряжены» пропусканием через них тока от какого-нибудь постороннего источника (батарея элементов или динамо-машина). Твердые электроды аккумуляторов делаются из пластинок свинца, покрытых свинцовыми окисями,

а жидкость — раствор серной кислоты.

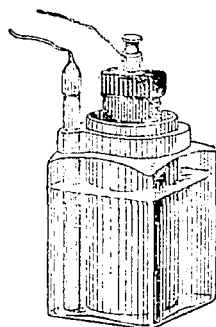


Рис. 338.  
Внешний вид элемента Лекланше.

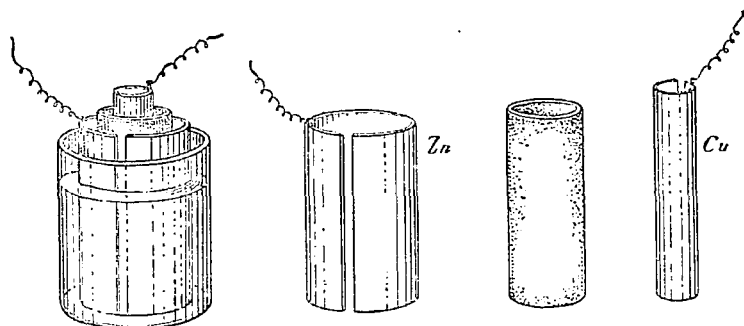


Рис. 339.  
Внешний вид и отдельные части элемента Даниэля.

Действие аккумуляторов будет нам понятнее после рассмотрения тех химических явлений, которые происходят в растворах при пропускании через них тока.

Сделав обзор наиболее употребительных элементов, заметим, что необходимыми составными частями всякого элемента являются: два твердых проводника, полюсы или электроды элемента, из которых один положительный «анод» (обыкновенно медь или уголь), другой — отрицательный «катод»<sup>1</sup> (обыкновенный цинк), и жидкость (раствор кислоты или соли) или иногда две жидкости.

**180. Цепь электрического тока.** Для того, чтобы получить электрический ток, надо соединить полюсы элемента или батареи каким-нибудь достаточно хорошим проводником электричества.

Обыкновенно такое соединение делается при помощи металлических проволок. Для присоединения проволок к элементам, друг к другу и к различным приборам употребляются различные «зажимы» и «клеммы», при помощи которых достигается получение непрерывного металлического пути от одного полюса к другому.

Путь электричества в цепи следует представлять себе замкнутым по проводнику или, как говорят, по «внешней цепи» от положительного полюса к отрицательному, а внутри элемента (по жидкости) от отрицательного полюса к положительному.

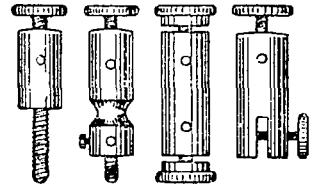


Рис. 340.

Различной формы клеммы для соединения проводников.

? Составьте какой-нибудь гальванический элемент и попробуйте получающийся от него ток пропустить через электрический звонок, звон которого будет признаком получения тока. Изменится ли звон, если ток пропускать один раз в одну, другой раз в другую сторону?

? Почему для электрических проводов обыкновенно употребляют проволоку, обмотанную шелком или навощенной ниткой? Почему, при вставлении в клемму, конец такой проволоки необходимо очистить от обмотки?

? Если при составлении элемента Даниэля взять сухой глиняный цилиндр, в порах которого заключен воздух, то элемент некоторое время не работает. Почему?

? Взвесьте отрицательный (цинковый) электрод какого-нибудь элемента до действия и после действия (продолжительного). Замечается ли разница в весе? Почему?

? Составьте элемент Даниэля с заменой меди углем. После действия элемента уголь окажется покрытым налетом меди. Почему?

? Замкните элемент Лекланше на звонок; звонок будет звонить. Замкните на некоторое время (несколько минут) элемент короткой медной проволокой: после этого элемент перестанет действовать на звонок; но если элемент постоит некоторое время разомкнутый, он опять начнет действовать. Объясните явление.

**181. Действия электрического тока.** Если замкнуть полюсы элемента или батареи проводником, то по проводнику проходит электрический ток. Мы не имеем возможности непосредственно видеть или как-нибудь наблюдать, что по проводнику движется электричество, но по различным явлениям, сопровождающим ток, мы можем обнаруживать существование тока и судить о его силе.

<sup>1</sup> По-гречески *ἀν-όδος* (анодос) — путь вверх, *καθ-όδος* (катодос) — путь вниз.

**I. Тепловые действия тока.** Соединим полюсы элемента (лучше батареев хоть из двух или трех элементов) при помощи недлинных медных проволок с концами коротенькой топкой железной проволоочки. Проволочка разогреется, раскалится и даже может расплавиться, смотря по силе проходящего через нее тока. Явление нагревания проводников при прохождении через них тока знакомо всякому по электрическим «капильным лампочкам», в которых ток разогревает тонкие угольные или металлические нити.



Рис. 341.

При пропускании тока гвоздь делается магнитом.

Теплота электрической искры (молнии) есть частный случай теплоты, получающейся при электрическом токе.

**II. Химические действия тока.** Если полюсы батареев элементов (одного элемента для этого опыта недостаточно) соединить с платиновыми проволоками, погруженными в сосуд с раствором серной кислоты, то ток пойдет через жидкость, при чем на пластинках будут появляться пузырьки газов, собрав которые, можем убедиться, что это газы, соединение которых представляет собою вода: один из них кислород, другой — водород.

Это явление разложения воды на водород и кислород под влиянием тока может служить примером химического действия тока.

После мы ознакомимся с многочисленными случаями подобного химического разложения веществ под влиянием тока.

**III. Магнитные действия тока.** Если проводник, по которому идет ток, расположить по направлению меридиана и приблизить к этому проводнику магнитную стрелку, то можно заметить, что стрелка более или менее сильно отклоняется от направления меридиана, стремясь повернуться перпендикулярно к проводнику тока.

Если проволокой (изолированной) обмотать какую-нибудь железную палочку, например, простой гвоздь, и пустить по проволоке ток, то палочка делается более или менее сильным временным магнитом, будет притягивать железные предметы.

По прекращении тока палочка размагничивается.

Итак, мы видим, что ток может:

1. Нагревать проводник.
2. Производить химическое разложение проводящей жидкости.
3. Производить отклонение магнитной стрелки и намагничивать железо.

Каждым из этих свойств тока можно было бы воспользоваться, чтобы построить приборы для наблюдения и измерения тока. Очень

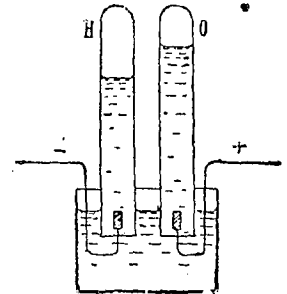


Рис. 342.

При пропускании тока через раствор кислоты на электродах выделяются кислород и водород.

удобно для этой цели воспользоваться способностью тока отклонять магнитную стрелку; в виду этого исследуем это свойство несколько подробнее.

**182. Явление Эрштеда. Правило Ампера.** Явление действия тока на магнитную стрелку носит название «явления Эрштеда» по имени датского физика, открывшего это замечательное явление, впервые ясно обнаружившее связь между электричеством и магнетизмом.

Помещая проводник различным образом относительно стрелки — то выше стрелки, то ниже — и пропуская по проводнику ток то в одну сторону, то в другую, нетрудно проследить повороты стрелки в различных случаях и убедиться в справедливости следующего правила:

Северный полюс стрелки поворачивается в сторону большого пальца правой руки, положенной на проводник пальцами по направлению тока, а ладонью обращенной к стрелке (правило Ампера).<sup>1</sup>



Рис. 343.

Эрштед (1777 — 1851), датский физик, открывший действие тока на магнитную стрелку.

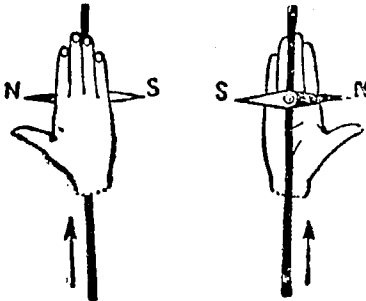


Рис. 344.

Отклонение стрелки по правилу Ампера.



Рис. 345.

Различные места тока, обтекающего стрелку, поворачивают ее в одну и ту же сторону.

? Соединивши полюсы элемента или батареи гибким проводником, помещайте его в разных положениях и на разных расстояниях от магнитной стрелки. Проследите справедливость правила Ампера.

<sup>1</sup> Это правило носит название правила Ампера (см. рис. 351) по имени французского математика и физика, который вскоре после открытия Эрштеда подробно исследовал описываемое явление.

Сам Ампер высказал приведенное правило несколько в иной форме. «Если мысленно поместить наблюдателя по направлению тока так, чтобы ток шел от

? На одинаковый ли угол отклоняется стрелка от меридиана при различных расстояниях от проводника? Как отклоняется стрелка, если ток проходит над ней (или под ней) перпендикулярно к меридиану?

? Докажите на основании правила Ампера и проследите на опыте, что ток, обходящий кольцом вокруг стрелки, всеми своими частями отклоняет стрелку в одну и ту же сторону (рис. 45). Для усиления действия тока на стрелку сверните проводник так, чтобы ток делал несколько оборотов вокруг стрелки в одном и том же направлении.

? Какой полюс стрелки отклоняется в ту сторону, откуда ток представляется идущим «по часовой стрелке»?

**183. Гальваноскопы и гальванометры.** Гальваноскопом называется прибор, состоящий из проводника, по которому проходит ток, и магнитной стрелки, которая

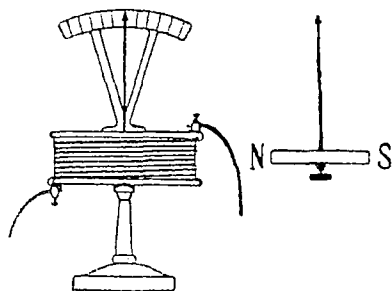


Рис. 346.

Гальванометр с горизонтальным магнитом.

более или менее сильно отклоняется в ту или другую сторону под действием тока. Виток, или несколько витков проволоки, поднесенной к магнитной стрелке, представляют собой схему гальваноскопа. На практике гальваноскопы устроятся весьма различных фасонов и различной «чувствительности».

Гальваноскопы с какими-нибудь приспособлениями для измерения угла отклонения магнита называются гальванометрами. Опишем один из видов гальванометра, очень удобный, хотя, сравнительно, мало чувствительный. Обмотка состоит (рис. 346) из продолговатых витков, составляющих спираль с вертикальной осью. Внутри обмотки поме-

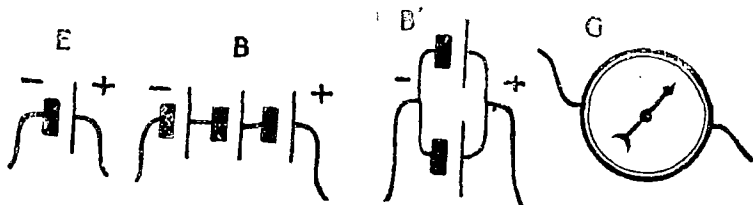


Рис. 347.

Условные обозначения частей электрической цепи. *E* — элемент, *B* — батарея элементов, соединенных последовательно. *B'* — батарея элементов, соединенных параллельно. *G* — гальванометр.

щен магнит, опирающийся на подставку, подобно коромыслу весов. При прохождении тока по обмотке магнит стремится стать вдоль оси обмотки, т. е. вертикально, и потому более или менее наклоняется

пего к голове и чтобы лицо наблюдателя было обращено к стрелке, то действие тока всегда отклоняет стрелку так, что конец ее, смотрящий на север, направляется влево от наблюдателя.

Нетрудно сообразить, что смысл правила тот же самый, так как при указанных условиях большой палец правой руки указывает как раз то же направление, что и левая рука воображаемого наблюдателя.

в ту или другую сторону согласно правилу Ампера. К магниту приделан легкий указатель, который при поворотах магнита передвигается по шкале с делениями.

Угол отклонения стрелки гальванометра не всегда пропорционален силе тока. Чтобы пользоваться гальванометром для измерения токов, надо предварительно градуировать гальванометр, т.-е. исследовать, какие отклонения стрелки соответствуют току двойной, тройной, четверной и т. д. силы.

**184. Градуирование гальванометра.** Чтобы показать, что градуирование гальванометра возможно и без знания законов электрического тока, представим себе такой возможный опыт.

Пусть имеется несколько совершенно одинаковых гальванометров. Составим цепь так, чтобы в одном месте цепь разделялась на два совершенно одинаковых разветвления. И в главную цепь и в оба разветвления введем гальванометры. Очевидно, ток, текущий в главной цепи, при этом ровно вдвое больше, чем токи

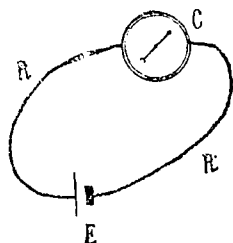


Рис. 348.

Схема гальванической цепи из элемента, проводов и гальванометра.

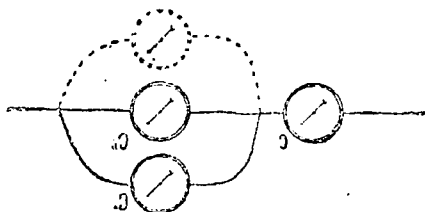


Рис. 349.

Схема расположения цепи для градуирования гальванометра.

в разветвлениях, так что если принять, что отклонение гальванометров в ответвлениях соответствует некоторой единице тока, то отклонение в главной цепи соответствует 2 единицам. Если теперь, усиливая ток, подобрать его так, чтобы гальванометры в ответвлениях давали такое отклонение, какое раньше получалось в главной цепи, то в главной цепи получится отклонение, соответствующее 4 единицам.

Разнообразя еще силы тока и вводя еще разветвления, можно получить таким образом целую шкалу делений на каждом из гальванометров.

**185. Зависимость силы тока от сопротивления цепи и от электродвижущей силы.** Соединим полюсы элемента так, чтобы ток проходил через какой-нибудь проводник (отрезок проволоки) и через градуированный гальванометр. Если менять проволоку, составляющую часть цепи, т.-е. брать проволоки различной длины, различной толщины и из различных материалов, то гальванометр показывает токи различной силы.

Взяв один раз короткий отрезок проволоки, другой раз длинный отрезок такой же проволоки, заметим, что при второй проволоке ток получается меньшей силы.

Более длинная проволока, как говорят, представляет собой большее электрическое сопротивление.



Сравнивая силы оков при проволоках одинаковой длины из одного и того же материала, но разной толщины, убедимся, что более толстая проволока представляет меньшее электрическое сопротивление.

Сравнивая силы токов при проволоках одинаковой длины и толщины из различных материалов, убеждаемся, что проволоки из различных материалов дают различные сопротивления. При медной проволоке, например, ток сильнее, чем при железной проволоке таких же размеров. Медная проволока представляет меньшее сопротивление, чем железная; медь обладает, как говорят, большей электропроводностью.<sup>1</sup>

Теперь, составляя цепь из каких-нибудь проводников (с значительным сопротивлением) и из гальванометра неизменной, будем менять источник тока, вводя в цепь батареи из 2-х, 3-х, 4-х и т. д. соединенных последовательно элементов. Сила тока будет получаться тем большая, чем больше введено элементов.

Сила тока увеличивается с увеличением электродвижущей силы.

Когда мы вводим в цепь лишний элемент, то, во-первых, увеличивается электродвижущая сила в цепи, во-вторых, увеличивается сопротивление цепи, так как элемент сам представляет собой часть цепи; от первой причины сила тока в цепи увеличивается, от второй — уменьшается. Чтобы получить возможно большее усиление тока от увеличения числа элементов, надо брать «внешнюю цепь» с значительным сопротивлением, а элементы, наоборот, с возможно малым «внутренним сопротивлением». Обычно внутреннее сопротивление элементов довольно значительно, у аккумуляторов же обычно внутреннее сопротивление очень мало. Поэтому для описываемого опыта особенно удобны аккумуляторы.

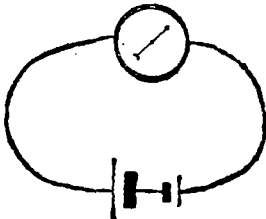


Рис. 350.

При введении в цепь двух одинаковых элементов различной величины навстречу друг другу ток не получается.

и введем их в цепь так, чтобы их электродвижущие силы действовали в противоположные стороны. Гальванометр, введенный в цепь, не обнаружит тока. Это значит, что силы элементов одинаковы.

Электродвижущие силы элементов не зависят ни от размеров, ни от формы их.

Будем вводить наши элементы по одному в одну и ту же цепь с небольшим сопротивлением. Силы тока получатся разные, так как у элементов разные внутренние сопротивления.

<sup>1</sup> Более электропроводными веществами оказываются вещества более теплостойкие (стр. 158).

<sup>2</sup> Имея элементы одинакового фазона, можно в один из них налить меньше жидкости, чем в другой, а в элементах Грэнэ можно на различную глубину погружать цинковые пластинки.

**186. Электродвижущая сила и внутреннее сопротивление элементов.** Возьмем два элемента какого-нибудь одного сорта, одинакового состава, но различной величины или различной формы,<sup>2</sup>

Сопротивление элемента тем меньше, чем больше поверхность электродов, и чем тоньше разделяющий их слой жидкости.

- ? Сравните электродвижущие силы различных элементов, вводя их попарно в цепь один навстречу другому и наблюдая направление тока.  
 ? Сравните внутренние сопротивления различных элементов.  
 ? Сравните электродвижущие силы работавшего и неработавшего элемента Лекланше.

187. Закон Ома. Пусть у нас имеются несколько одинаковых элементов с очень малым внутренним сопротивлением (аккумуляторы)

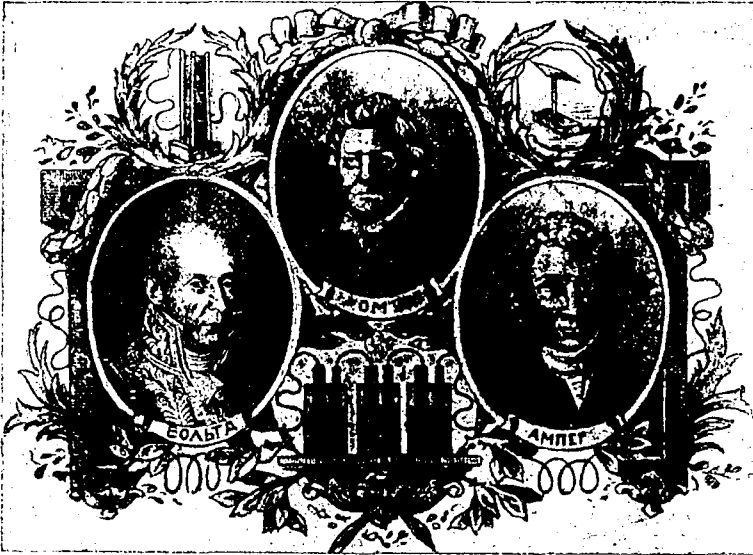


Рис. 351.

Георг-Симон О м (1787 — 1851), немецкий физик, основатель математической теории электрических токов.

Александр Вольт а (1745 — 1827), итальянский физик, сделавший ряд важнейших исследований в области электричества. Изобрел электрофор, электроскоп с конденсатором, гальванический элемент, вольтов столб и пр.

Андре-Мари Ам пер (1775 — 1836), французский математик и физик, основатель учения об электромагнитных явлениях.

и гальванометр, обмотка которого тоже имеет ничтожно малое сопротивление.

Составив внешнюю цепь из гальванометра и из проволоки с значительным сопротивлением, будем вставлять в цепь последовательно один, два, три и т. д. элемента.

При указанных условиях введение новых элементов не изменяет сопротивления цепи, но увеличивает электродвижущую силу вдвое, втрое и т. д. Наблюдаемые при этом силы токов оказываются возрастающими как-раз вдвое, втрое и т. д.

Сила тока прямо пропорциональна электродвижущей силе.

Теперь, составив некоторую батарею, будем составлять цепи из гальванометра и из проволоки с значительным сопротивлением некоторой длины, потом двойной, тройной и т. д. При этом электродвижущая сила батареи будет оставаться неизменной, а сопротивление будет возрастать вдвое, втрое и т. д. Наблюдаемые при этом силы токов оказываются уменьшающимися вдвое, втрое и т. д.

Сила тока обратно пропорциональна сопротивлению.

Итак, сила электрического тока прямо пропорциональна электродвижущей силе и обратно пропорциональна сопротивлению (**закон Ома**).

Этот важный закон, на котором основываются все расчеты электрических токов в науке и в технике, был установлен немецким физиком Омом в 1828 г.

**188. Практические единицы электрических величин.** Величины электродвижущих сил, электрических сопротивлений и сил токов могут быть измерены через сравнение с какими-либо единицами этих величин. На практике приняты единицы:

**вольт (V)** — единица электродвижущей силы (потенциала),  
**ом (Ω)** — единица электрического сопротивления,  
**ампер (A)** — единица силы электрического тока.<sup>1</sup>

Укажем размеры этих единиц и соотношения между ними, не рассматривая вопроса, почему именно такие размеры единиц являются наиболее логичными и удобными.

**I. Вольт.** Электродвижущая сила в один вольт немного менее (около 0,9) разности потенциалов на полюсах разомкнутого элемента Даниэля.

Электродвижущие силы разнообразных гальванических элементов имеют величины приблизительно между одним вольтom и двумя вольтами.

Электродвижущие силы употребительных элементов (приблизительно).	
1. Элемент Гренэ . . . . .	1,9 V
2. » Лекланше . . . . .	1,4 »
3. » Даниэля . . . . .	1,1 »
4. Аккумулятор . . . . .	2 »

Электродвижущая сила («напряжение»), даваемая динамо-машинами для электрического освещения, обычно бывает около 110 — 120 V (иногда 240 V).

<sup>1</sup> Единицы названы именами ученых, положивших начало учению об электрических токах.

Потенциалы электрических зарядов в электростатических явлениях (потертый сургуч, электрофор, машина с трением, электрофорная машина и т. п.) достигают сотен, тысяч и десятков тысяч вольт.

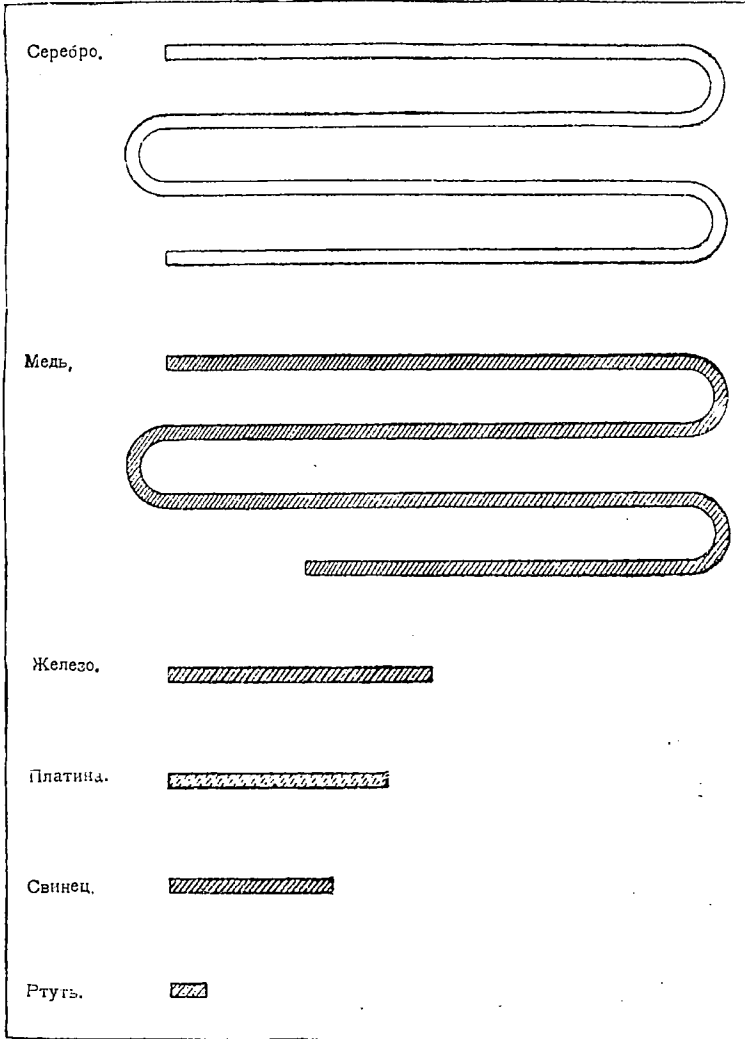


Рис. 352.

При одинаковой толщине изображенные столбики имеют одинаковые сопротивления. Длины обратно пропорциональны удельным сопротивлениям веществ.

II. Ом. Сопротивление в 1 ом равно сопротивлению ртутного столбика в 106 см (точнее, 106,3 см) длины и  $1 \text{ мм}^2$  поперечного сечения при  $0^\circ$ .

Чтобы получилось сопротивление в 1 ом, например, из медной проволоки с сечением в  $1 \text{ мм}^2$ , надо взять проволоку длиной около 60 метров.

Сопротивление цилиндрического провода прямо пропорционально площади поперечного сечения.

Вычислить сопротивление провода данной длины и данного сечения из какого-либо материала легко, если известно «удельное сопротивление» этого материала.

Удельным сопротивлением какого-нибудь вещества называют сопротивление проводника из этого вещества длиной в 1 единицу длины (1 см) и в 1 единицу площади сечения (1 см<sup>2</sup>).

Если проводник имеет  $L$  см длины,  $q$  см<sup>2</sup> сечения, а удельное сопротивление материала равно  $\rho$ , то нетрудно сообразить, что сопротивление проводника  $R$  выразится так:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{q}$$

#### Величины сопротивлений проводов

1 м длины и 1 мм<sup>2</sup> сечения из различных материалов  
(в омах).

Серебро . . . . .	0,016 $\Omega$
Медь . . . . .	0,017 »
Железо . . . . .	0,1 »
Платина . . . . .	0,11 »
Свинец . . . . .	0,2 »
Ртуть . . . . .	0,96 »
Нейзильбер (сплав меди, цинка и никкеля) . . . . .	0,25 »
Уголь (в калильных лампочках) . . . . .	40 »

Чтобы получить из этих чисел величины удельных сопротивлений, их следует разделить на 10 000.

Вычислим для примера сопротивление телеграфной проволоки в 4 мм диаметром и в 1 км длиной.

Удельное сопротивление железа . . . . .  $\rho = 0,00001 \Omega$ .  
 Поперечное сечение  $q = \pi \cdot 2^2 = 12,6 \text{ мм}^2$  . . . . .  $= 0,126 \text{ см}^2$   
 Длина  $L = 1 \text{ км}$  . . . . .  $= 100000 \text{ см}$ .

$$R = 0,00001 \cdot \frac{100000}{0,126} = \text{прибл. } 8 \Omega.$$

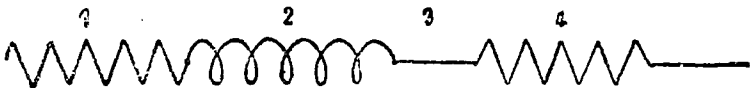


Рис. 353.

При последовательном соединении проводников общее сопротивление равно сумме сопротивлений отдельных частей.

**III. Ампер.** Сила тока в 1 ампер есть такая сила тока, какая получается при электродвижу-

щей силе в 1 вольт в проводнике с сопротивлением в 1 ом.

На практике приходится встречаться с токами самой разнообразной силы: при телеграфировании, например, пользуются токами едва в несколько миллиамперов, т.-е. тысячных долей ампера; сила тока, накаливающего нить калильной лампы средней яркости (в 16 свечей), равна примерно половине ампера, а в электрических печах для добытия алюминия силы токов доходят до десятков тысяч ампер.

Количество электричества, протекающее в 1 сек через поперечное сечение цепи при токе в 1 ампер, представляет собой единицу количества электричества (или электрического заряда), называемую **кулон**.<sup>1</sup>

В электростатических явлениях обычно приходится иметь дело с зарядами, величины которых измеряются малыми долями кулона. В явлениях электрического тока, наоборот, даже при слабых силах тока за значительный промежуток времени проходит много кулонов электричества.

Нетрудно, например, рассчитать, что через лампочку накаливания при токе в 0,5 ампера в течение часа протекает 1800 кулонов электричества.

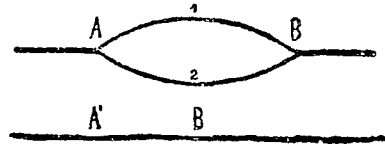


Рис. 354.

При параллельном соединении двух одинаковых проводников получается сопротивление, равное половине сопротивления одного проводника, т.-е. равно сопротивлению одного такого проводника вдвое меньшей длины.

Благодаря такому выбору единиц, что при 1 вольте и при 1 оме как-раз получается ток в 1 ампер на основании закона Ома: сила тока в амперах выражается числом вольт электродвижущей силы, деленным на число омов сопротивления.

$$J \text{ ампер} = \frac{E \text{ вольт}}{R \text{ омов}}$$

Этой формулой пользуются для расчетов сил токов как в целой замкнутой цепи, так и в любом отдельном участке цепи.

Если, например, электродвижущая сила батареи равна  $E = 12 \text{ V}$ , сопротивление внешней цепи  $R' = 2 \text{ }\Omega$ , а внутреннее сопротивление батареи  $R'' = 4 \text{ }\Omega$ , то сила тока:

$$J = \frac{E}{R' + R''} = \frac{12}{2 + 4} = 2 \text{ A.}$$

<sup>1</sup> Единица количества электричества получила название по имени французского физика Кулоиа (1736 — 1806), который исследовал силы притяжения и отталкивания магнитов и наэлектризованных тел и первый выяснил законы, количественно определяющие величины этих сил.

Если известно, что на концах какого-нибудь участка цепи с сопротивлением в  $0,5 \text{ }\Omega$  разность потенциалов равна  $3 \text{ V}$ , то сила тока:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{3}{0,5} = 6 \text{ A.}$$

- ? Вычислите сопротивление платиновой проволоки в  $0,5 \text{ мм}^2$  сечения и в  $10 \text{ см}$  длины.  
 ? Какого поперечного сечения надо взять медную проволоку, чтобы  $1 \text{ метр}$  такой проволоки представлял сопротивление в  $0,01 \text{ ома}$ ?

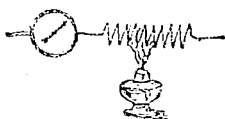


Рис. 355.

При нагревании металлического проводника ток ослабляется.

- ? Разность потенциалов на концах угольной нити вкалильной лампе равна  $100 \text{ V}$ , сила тока равна  $0,5 \text{ A}$ . Определите сопротивление нити.  
 ? Как велико сопротивление медной проволоки с диаметром сечения в  $1 \text{ мм}$ , весящей  $1 \text{ фунт}$ .  
 ? Следует заметить, что сопротивление металлических проводников при нагревании увеличивается. Чтобы проследить это явление, введите в цепь тонкую железную проволоку и гальванометр. При нагревании проволоки гальванометр покажет уменьшение тока.  
 ? Сравните ток, получаемый от электрофорной машины, с током от гальванической батареи. Где легче получается большая электродвижущая сила? Где легче получается большая сила тока, большое количество электричества? Какой батарее можно уподобить машину: с какой электродвижущей силой, с каким внутренним сопротивлением?

**189. Амперметры и вольтметры. Реостаты.** Для измерения электрического тока как для научных, так и для технических целей очень удобны градуированные гальванометры двух типов: амперметры — для измерения силы тока и вольтметры — для измерения разности потенциалов (электродвижущей силы).

Амперметр представляет собой гальванометр с очень малым сопротивлением; его вводят в цепь, при чем сила тока в цепи не изменяется, так как вводится ничтожное сопротивление. Амперметр градуируется так, что отклонение стрелки по шкале прямо указывает силу тока в амперах.

Вольтметр есть гальванометр с очень большим сопротивлением; его вводят параллельно цепи, при чем ток в цепи не изменяется, так как в большее сопротивление ответвляется лишь ничтожная часть тока. Вольтметры градуируются так, что отклонение стрелки указывает в вольтах разность потенциалов в точках, между которыми он введен.

Для введения в цепь различных сопротивлений определенной величины употребляются различных видов реостаты,<sup>1</sup> состоящие из набора проволок с определенными сопротивлениями, устроенного так, что в цепь легко может быть введено то одно, то другое число омов.

Для слабых токов наборы сопротивлений устраиваются в форме «ящичков» или «магазинов» сопротивления. На верхней крышке ящичка помещается толстая медная пластинка с перерывами, которые можно заполнять медными пробками — «штепселями». Если все «штепселя» плотно вставлены, ток может идти по пластине, сопротивление которой совершенно ничтожно; если же какой-нибудь из

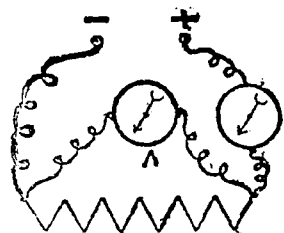


Рис. 356.

ЛЛ — внешняя цепь, А — амперметр, V — вольтметр.

<sup>1</sup> От греческого *ῥέος* (реос) — ток, поток.

штепселей вынуть, току придется проходить по проволочке, замыкающей образовавшийся перерыв. Вынимая различные штепселя, можно получать различные определенные сопротивления (рис. 357).

Имея вольтметр и амперметр подходящей чувствительности, можно очень легко и удобно проследить справедливость закона Ома в разных участках какой-либо цепи тока.

? Замкните полюсы батарей длинной однородной проволокой и измерьте при помощи вольтметра разность потенциалов между различными точками проволоки. Эта разность потенциалов получится прямо пропорциональной длине отрезка проволоки между точками.

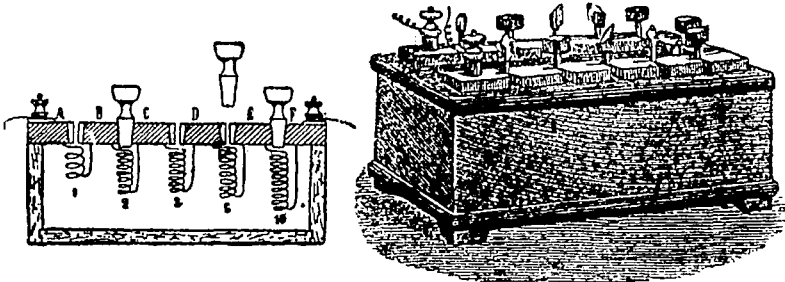


Рис. 357.

Схема и внешний вид магазина сопротивления.

Докажите, что это есть прямое следствие закона Ома.

? Составьте цепи из двух различных проводников, соединяя их один раз последовательно, другой раз параллельно, и измерьте амперметром силу тока в проводниках в обоих случаях.

**190. Тепловые действия тока. Закон Джоуля-Ленца.** Всякий проводник, по которому идет электрический ток, непременно при этом

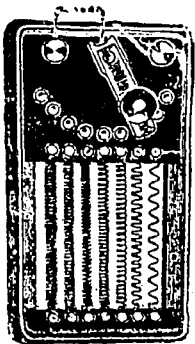


Рис. 358.

Внешний вид реостата для сильных токов.

более или менее нагревается. Количество теплоты, получающейся в проводнике, можно измерить, погружая, например, проводник в калориметр и наблюдая подъем температуры за какой-нибудь определенный промежуток времени. Измеряя при этом тот ток, который проходит по проводнику, можно проследить зависимость количества теплоты от свойств тока.

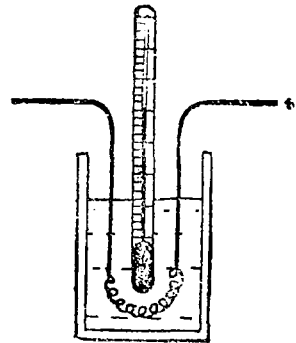


Рис. 359.

Нагревающийся током проводник передает свою теплоту калориметру.

Количество теплоты: 1) пропорционально квадрату силы тока; 2) пропорционально сопротивлению проводника; 3) пропорционально времени прохождения тока (закон Джоуля-Ленца).



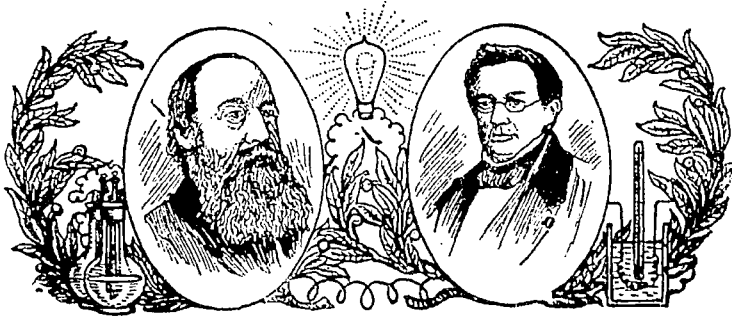
Измерено, что ток силой в 1 ампер в проводнике с сопротивлением в 1 ом в течение 1 секунды дает 0,24 малой калории теплоты.

На основании закона Джауля-Ленца получаем, что ток в  $J$  ампер в проводнике с сопротивлением в  $R$  омов в течение  $t$  секунд выделит количество теплоты:

$$Q = 0,24 J^2 R \cdot t \text{ малых калорий.}$$

Вычислим для примера количество теплоты, выделяемое в течение 1 минуты ( $t = 60$  сек) калильной лампочкой с сопротивлением  $R = 200$  омев при силе тока  $J = 0,5$  ампера.

$$Q = 0,24 \cdot 0,25 \cdot 200 \cdot 60 = 720 \text{ мал. калорий.}$$



1

2

Рис. 360.

1. Джеймс-Прескотт Джауль (1818 — 1889), английский физик, один из основателей современной теории тепловых явлений.
2. Эм.-Христ. Ленц (1804 — 1855), профессор физики Петербургского университета, сделал несколько важных исследований в области электричества.

Формулу, выражающую количество теплоты, выделяемой током можно видоизменить, заменяя в ней:

$$J \text{ или } R \text{ из формулы Ома: } J = \frac{E}{R}, \text{ или } R = \frac{E}{J}.$$

$$Q = 0,24 \frac{E^2}{R} \cdot t \text{ м. кал. или } Q = 0,24 J \cdot E \cdot t \text{ м. кал.}$$

- Ток, проходящий в калильной лампочке, сильно нагревает угольную нить, но не нагревает тех проволок, по которым подводится к лампе. Почему?
- При одинаковой силе тока сильнее нагреваются проводники с большим сопротивлением, а при одинаковой электродвижущей силе сильнее нагреваются проводники с меньшим сопротивлением. Почему?
- Заключите полюсы батареи тонкой железной проволокой, длину которой постепенно уменьшайте. Как при этом изменяется нагревание проволоки?
- Заключите полюсы батареи проводником, состоящим из участков медной и железной проволоки одинаковой толщины. Какие участки сильнее нагреваются? Почему?

### 191. Технические применения нагревания током.

1. Калильная лампочка. Калильные лампочки изготовляются самых разнообразных размеров и фасонов. Существенную часть калильной лам-

почки представляет нить (обыкновенно угольная или металлическая) с большим сопротивлением, помещенная внутри стеклянного баллончика, из которого удален воздух.

П. Разнообразные электрические печки, кофейники, паяльники, огнива и т. п. не получают широкого распространения, так как пользование электрическим током для таких целей является неэкономным.

III. Предохранители. При всех технических устройствах, где есть опасность, что ток может достигнуть силы разрушительной для проводов или каких-нибудь приборов, в цепь вводятся «предохранители». Предохранитель представляет собой просто небольшой проводничек из какого-нибудь легкоплавкого металла, часто из свинца; размеры проводничка рассчитываются так, чтобы ток известной силы способен был его расплавить и тем перервать цепь. Таким образом сила тока в цепи никак не может превзойти известного предела.

**192. Электрический ток в жидкостях. Явление электролиза.** По отношению к электрическому току жидкие вещества можно разделить на три группы.

I. Металлические жидкости, как ртуть или любой металл в жидком состоянии (расплавленный). Явление прохождения тока по такой металлической жидкости ничем существенным не отличается от явления прохождения тока по твердым проводникам.

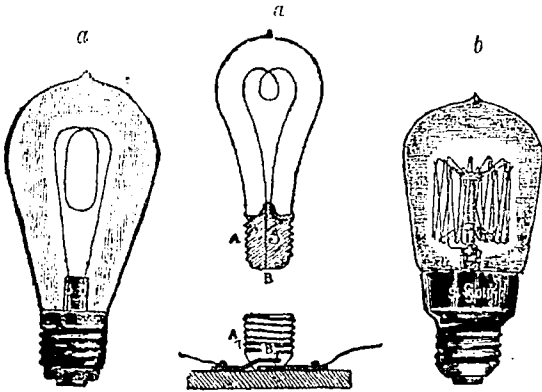


Рис. 361.

Калильные лампочки. *a* — с угольной нитью, *b* — с металлической нитью.

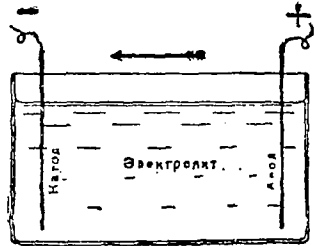


Рис. 362.

Схема вольтметра.

II. Электролиты. Электролитами называются некоторые расплавленные химические соединения, а также жидкие (обыкновенно водные) растворы, способные проводить электрический ток, при чем прохождение тока непременно сопровождается химическими изменениями в проводящем веществе.

Примером такого электролита может служить вода, содержащая примесь серной кислоты, при чем при прохождении тока на электродах выделяются водород и кислород (§ 180).

III. Изолирующие жидкости. Целый ряд жидкостей, как: масло, керосин, скипидар, водный раствор сахара и т. д. не проводят электричества в такой же степени, как газы или твердые изоляторы. К числу непроводников следует отнести и химически чистую воду.

Здесь мы остановимся исключительно на явлении тока в жидкостях II рода, т.е. в электролитах. Самое явление называют явлением **электролиза**; сосуд, содержащий электролит, называют **вольтметром**; <sup>1</sup> подводящие ток металлические электроды называют **анодом** (соединенный с положительным полюсом) и **катодом** (соединенный с отрицательным полюсом); вещества, выделяющиеся при электролизе на электродах, называют **ионами**:<sup>2</sup> **анион** — на аноде, **катион** — на катоде. Химические изменения при электролизе наблюдаются только в непосредственной близости к электродам; внутри электролиза изменений не замечается.

? Составьте цепь из нескольких элементов, гальванометра и из большого сосуда с дистиллированной водой с большими металлическими электродами. Устройте эту цепь так, чтобы гальванометр давал самое небольшое отклонение. Наблюдайте изменение тока от прибавления к воде ничтожного количества серной кислоты.

**193. Примеры электролиза.** I. **Раствор соляной кислоты.** Пропуская ток через вольтметр с угольными электродами, содержащий раствор соляной кислоты, заметим, что на катоде выделяется водород, а на аноде — хлор. Чтобы заметить присутствие хлора, который около анода растворяется в воде, можно окружить анод какой-нибудь окрашенной материей или подкрасить раствор чем-нибудь, что теряет окраску под влиянием хлора.



Итак, соляная кислота распадается на водород и хлор, при чем водород идет по направлению тока к катоду, а хлор — к аноду.

Здесь мы имеем один из сравнительно редких случаев, когда продукты распада электролита непосредственно получаются на электродах (хлор, впрочем, не выделяется, а растворяется в воде).

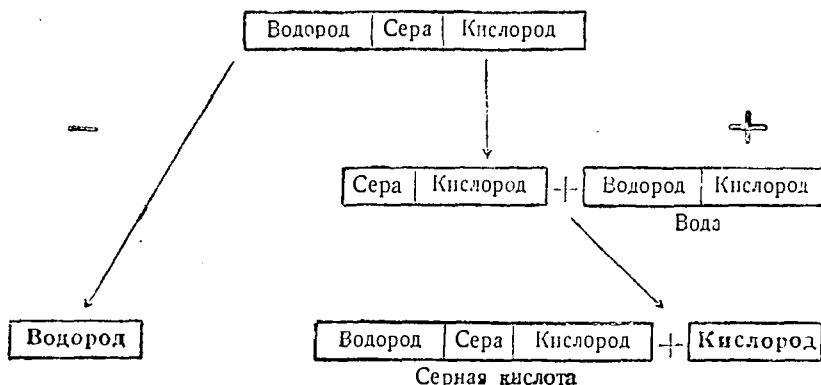
II. **Раствор серной кислоты.** Наблюдая при прохождении тока через раствор серной кислоты (§ 181) выделение водорода и кислорода как-раз в тех пропорциях, в каких они входят в состав воды, можно счесть, что ток разлагает воду, но в виду того, что совершенно чистая вода не разлагается током, а также сравнивая явление с явлением разложения соляной кислоты, правильнее считать здесь процесс несколько более сложным: на ионы распадается серная кислота,

<sup>1</sup> Не следует смешивать со словом **вольтметр** — гальванометр для измерения электродвижущих сил (стр. 250).

<sup>2</sup> Греческое *ἰόν* (ион) значит идущий, движущийся.

при чем **водород** идет к катоду, а кислотный остаток **сера | кислород**, к аноду, где выделяет кислород, и, соединяясь с водой, снова образует серную кислоту.

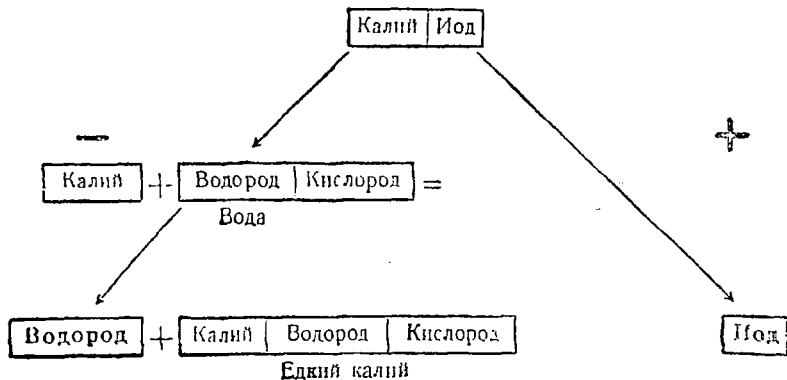
**Серная кислота.**



Здесь около анода происходит, как говорят, вторичная реакция.

III. Раствор иодистого калия. Из раствора иодистого калия у катода получается калий, который вступает во вторичную реакцию с водой и образует едкий калий, а у анода — иод, сообщающий раствору желтоватую окраску.<sup>1</sup>

**Иодистый калий**



В этом случае, следовательно, вторичная реакция получается у катода.

IV. Раствор глауберовой соли (сернокислый натрий). При электролитическом разложении глауберовой соли вторичная реакция наблюдается и на аноде, и на катоде.

<sup>1</sup> Если примешать к раствору фенолфталеина, то от присутствия едкого калия у катода получается ярко-красная окраска.

На катод е получается натрий, который вступает в соедине- ние с водой, при чем образуется едкий натр и выделяется водород. На а н о д е получается кислотный остаток, который выделяет кисло- род и, соединяясь с водой, дает серную кислоту.



Образование едкого натра у катода и серной кислоты у анода ясно заметно, если к раствору примешать сок красной капусты, который от едкого натра приобретает яркую зеленую окраску, а от кислоты — красную.

Во всех случаях электролитического разложения растворенных кислот и солей водород (из кислот) или металл (из солей) выделяются на к а т о д е, а кислотный остаток — на а н о д е. Самый процесс прохождения тока в электролите следует представлять себе так: молекулы растворенного вещества распадаются на и о н ы, т.-е. на две части, заряженные противоположными электричествами; части молекул, заряженные положительно (водород, металл), перемещаются к катоду, а части, заряженные отрицательно, — к аноду; достигнув электродов, ионы передают им свои заряды.



? Пропуская ток через раствор медного купороса в вольтамetre с платиновыми электродами, заметим, что на катоде получается налет меди, а на аноде выделяется кислород. Если же вместо платиновых электродов взять медные, выделения кислорода не происходит, но наблюдается растворение анода.

? Пропустите ток через раствор уксусно-кислого свинца (свинцовый сахар); на катоде получается осаждение металлического свинца в форме «сатурнова дерева», а на аноде выделяется кислород.

Переменив направление тока, получим нарастание «сатурнова дерева» на одном электроде и растворение его на другом.

? Смочите пропускную бумажку раствором поваренной соли (хлористый натрий) с прибавком фенолфталеина. Если к такой бумажке прикоснуться концами проводов, соединенных с полюсами батареи, то около конца, соединенного с отрицательным полюсом, получается красная окраска (см. стр. 253, 111).

Этим явлением пользуются иногда в электротехнике для определения направления тока («полюсная бумага»).

**194. Законы Фарадея.** Фарадей первый в 1834 г. подробно исследовал явление электролиза, точно измеряя количество веществ, выделяющихся на электродах; при этом обнаружилось замечательные закономерности, получившие название законов Фарадея.

I. Количество вещества, выделяющегося при электролизе, пропорционально силе тока и времени и не зависит ни от каких других условий (**первый закон Фарадея**).

Если, например, при электролизе раствора серной кислоты 1 ампер в течение 1 секунды выделяет некоторое количество водорода, то такое же точно количество выделит ток в 0,1 амп. в течение 10 сек. или ток в 100 амп. в течение 0,01 сек.; при чем количество выделяющегося водорода не зависит ни от крепости раствора кислоты, ни от формы сосуда, ни от формы и величины электродов и т. д.

Если количество выделяющегося вещества пропорционально силе тока и времени, то количество вещества пропорционально количеству электричества, протекающего через электролит.

Следовательно, смысл первого закона Фарадея тот, что при электролизе равные количества данного вещества приносят с собой к электродам равные количества электричества.

II. Один и тот же ток, проходя в течение одного и того же промежутка времени через разные электролиты, выделяет разные вещества в эквивалентных количествах, т.-е. в таких количествах, в каких вещества способны заменять друг друга в химических соединениях (**второй закон Фарадея**).

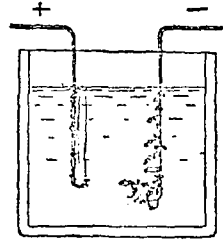


Рис. 363.

„Сатурново дерево“ из кристалликов свинца на катоде.



Рис. 364.

Михаил Фарадей (1791—1867), английский физик и химик. Один из величайших ученых XIX века в области электрических и магнитных явлений, открыл основные законы электролиза, открыл и исследовал явление диамагнетизма, явление индукции токов и многое другое.

Если, например, один и тот же ток проходит последовательно через несколько вольтметров, выделяя в одном — водород, в другом — серебро, в третьем — медь и т. д., то количества этих веществ будут как-раз такие, в каких эти вещества способны заменять друг друга в химических соединениях.

Если представить себе, что при электролизе каждая молекула электролита распадается на два иона, заряженные противоположными электричествами, то сущность законов Фарадея сводится к следующему: электрические заряды всех ионов во всех электролитах одинаковы по величине.

Законы Фарадея, между прочим, дают указание на то, что электричество способно дробиться па отдельные одинаковые частички.

**195. Электрохимический эквивалент.** Количество какого-нибудь вещества, выделяемое током в 1 А. в 1 sec (несущее с собой 1 кулон электричества), называется электрохимическим эквивалентом этого вещества.

**Электрохимические эквиваленты некоторых веществ.**

Водород . . . . .	0,0104 mg	Нпккель . . . . .	0,304 mg
Серебро . . . . .	1,118 »	Цинк . . . . .	0,34 »
Медь . . . . .	0,33 »	Гремучий газ . . . . .	1,174 cm <sup>3</sup>

Зная электрохимический эквивалент какого-нибудь вещества, нетрудно вычислить количество этого вещества, выделяемое любым током и в любое время.

Например: сколько меди выделит ток в 5 А. в течение одной минуты?

1. А. в 1 сек. выделяет	0,33 mg
5. А. в 1 сек. »	5.0,33 mg
5. А. в 60 сек. »	60.5.0,33 mg
$60.5.0,33 = 99 \text{ mg.}$	

Важно заметить, что химические явления внутри гальванических элементов происходят согласно тем же законам Фарадея, как и в вольтметрах.

? Во сколько времени ток в 0,5 А. выделит 25 g серебра? Какой нужен ток, чтобы в течение 5 минут разложить 1 g воды? Известно, что водород составляет по весу  $\frac{1}{8}$  часть веса воды.

? Вычислите электрохимический эквивалент кислорода.

**196. Поляризация электродов.** Пропустите некоторое время ток через вольтметр с раствором серной кислоты и, разъединив затем этот вольтметр от источника тока, соедините электроды вольтметра с гальванометром.

Некоторое время вольтметр будет действовать, как элемент; гальванометр обнаружит присутствие тока, направление которого внутри вольтметра оказывается обратным направлению того тока, который пропустился предварительно.

Электроды вольтметра, как говорят, «поляризуются», на электродах возникает «обратная электродвижущая сила».

В случае электролиза раствора серной кислоты обратная электродвижущая сила достигает величины около 2 вольт, поэтому, если электродвижущая сила источника тока меньше 2 вольт (один элемент), такой источник не может производить такого электролиза (разложение воды).

Обратная электродвижущая сила возникает во всех тех случаях электролиза, когда прохождение тока создает какую-нибудь разность в химическом составе электролиза у электродов, в нашем случае у катода выделяется водород, у анода — кислород.

Если взять вольтметр с раствором медного купороса и с медными электродами, то химической разности у электродов не возникает, один электрод нарастает, другой — убывает, но оба остаются медными, и электроды «не поляризуются».

Если взять вольтметр с раствором серной кислоты и с свинцовыми и электродами, то после продолжительного пропускания тока можно довольно долго пользоваться обратной электродвижущей силой как источником тока.

Такой вольтметр представляет собой простейший аккумулятор (у му л я т о р. Предварительное пропускание тока «заряжает» аккумулятор (поляризует электроды): «заряженный» же аккумулятор, действуя подобно элементу, может как

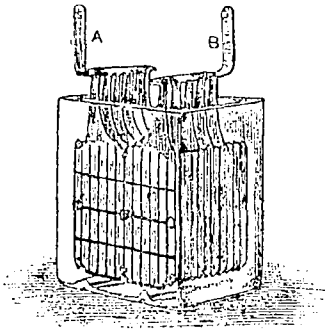


Рис. 365.

Внешний вид аккумулятора. Каждый из электродов *A* и *B* состоит из нескольких свинцовых пластин.

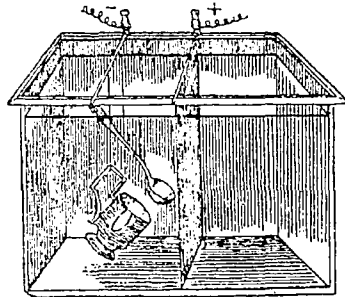


Рис. 366.

Ванна для гальванического серебрения. Предметы, покрываемые серебром, служат катодом, серебряная пластинка — анодом, жидкость — раствор азотно-кислого серебра.

бы отдать обратно тот ток, которым он заряжался. При «разряде» внутри аккумулятора происходят химические реакции, обратные тем, которые происходят при «зарядке».

**197. Технические применения электролиза.** I. Гальваностегия. Гальваностегией называют электролитическое покрытие предмета слоем какого-нибудь металла: серебрение, золочение, никелирование и т. п. Предмет, который желают покрыть слоем металла, погружается в ванну с раствором электролита, в состав которого входит нужный металл. Покрываемый предмет служит к а т о д о м, а анодом обыкновенно берется пластинка из металла, которым покрывают. При пропускании тока металл, выделяющийся из раствора, осаждается на предмете, а анодная пластинка постепенно переходит в раствор.

II. Гальванопластика. Гальванопластикой называют получение при помощи электролиза рельефных оттисков. С рельефного предмета (монета, медаль, клише, скульптурный рельеф и т. п.) делается слепок из воска или гуттаперчи; чтобы сделать поверхность слепка проводящей, его покрывают тончайшим слоем графита. Погрузив такой слепок в электролитическую ванну в качестве катода, на него наращивают более или менее толстый слой металла, который заполняет собой все подробности слепка и может быть без труда от него отделен.

III. Рафинировка металлов. Если в электролитической ванне растворяющийся анод состоит из металла, содержащего примеси, то при электролизе на катоде осаждается чистый металл. На этом основано применение электролиза для очищения металлов от примесей («рафинировка»). В очень широких размерах таким способом очищаются медь и свинец,



? Соедините последовательно два вольтметра, в первом раствор медного купороса анод — медь, катод — никкель, во втором раствор сернистой кислоты анод — никкель, катод — медь. Что будет происходить с электродами при пропускании тока?

? При никкелировании сила тока берется в 0,4 А. на каждый кв. дециметр поверхности никкелируемого предмета. Во сколько времени наносится слой никкеля в 0,2 мм толщиной? Уд. вес никкеля  $9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ .

**198. Электрический ток в газах.** При изучении электростатических явлений нам уже встречалось явление электрического разряда через воздух в форме искры.

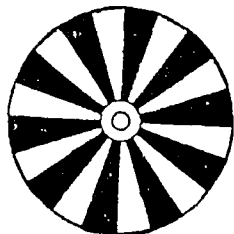


Рис. 367.

Диск для измерения продолжительности электрической искры.

Получая искры значительной величины от электрофорной машины,<sup>1</sup> можно исследовать некоторые важные свойства искры.

Чтобы получить искровой разряд более значительного количества электричества, можно пользоваться разрядом лейденской банки или вообще какого-нибудь конденсатора.

1. **Продолжительность разряда.** Вращая в темноте диск с белыми и черными секторами (рис. 367) и освещая его искрой, заметим, что в момент разряда диск представляется как бы совершенно неподвижным. Следовательно, продолжительность искрового разряда так мала, что за это время диск не успевает даже при быстром вращении сколько-нибудь заметно передвинуться. Ночью колеса движущегося экипажа при освещении молнией представляются неподвижными: видно каждую спицу.

Измерения показывают, что продолжительность искрового разряда измеряется десятитысячными и стотысячными долями секунды.

2. **Длина искры.** Длина искры зависит от разности потенциалов на электродах, от формы и величины электродов, а также от свойств того газа, чрез который происходит разряд.

При одинаковых остальных условиях искры тем больше, чем больше разность потенциалов. С возрастанием разности потенциалов длина искры возрастает более, чем пропорционально, так что, например, от двойной разности потенциалов искра получается более, чем двойная.

Точные измерения дают приблизительно такие величины для искр в воздухе при атмосферном давлении между шариками диаметром в 1 см.

Длина искры.	Разность потенциалов.
0,1 см	4800 V.
1 »	25000 »
10 »	56000 »

<sup>1</sup> Другой удобный источник искровых разрядов, так называемая «спираль Румкорфа», описан ниже (§ 214).

3. Различие искры у положительного и отрицательного полюса. При сильных искровых разрядах легко подметить разницу в форме искры со стороны положительного и отрицательного полюса. Если, например, один из полюсов имеет форму пластинки, а другой форму острия, то длинная искра получается только тогда, когда острое заряжается положительно. Иногда искра

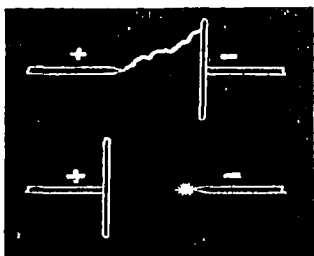


Рис. 368.

Длинная искра получается от положительно заряженного острия.

принимает ветвистую форму, причем разветвления всегда направлены от положительного полюса к отрицательному.

4. Химические явления в искре. Образование



Рис. 369.

Разветвления искры у положительного электрода.

искры в воздухе сопровождается преобразованием кислорода в озон (видоизменение кислорода), который дает характерный запах «свежести».

Если смочить пропускную бумажку раствором иодистого калия с крахмалом и, высушивши, пропускать разряд сквозь бумажку, то под действием озона выделяется иод, который в соединении с крахмалом дает синеватую окраску бумаги.

**199. Вольтова дуга.** Непосредственные опыты обнаруживают, что газы в сильно нагретом состоянии, например, пламя, способны проводить электричество<sup>1</sup>.

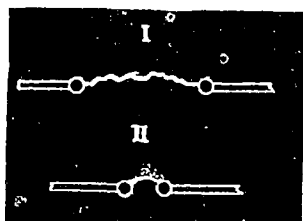


Рис. 370.

Видоизменение искры при сближении электродов, когда разряды делаются чаще.

Если сильные разрядные искры между электродами следуют очень быстро одна за другой, то искра значительно изменяет свой вид: вместо белой тонкой линии получается более широкое красноватое пламя. Прогретый искрами воздух становится лучшим проводником и образует как бы мост между электродами.

Если полюсы источника постоянного тока 30 — 40 V соединить с двумя угольными стержнями, то, пока угли не соединены, между ними не получается никакой искры; но если угли свести до соприкосновения и после раздвинуть, то между ними образуется непрерывная искра, длину которой можно увеличить до сантиметра и больше. Концы углей очень

<sup>1</sup> Имея чувствительный гальванометр и достаточно сильный источник тока, нетрудно обнаружить проводимость газового пламени.

сильно накаляются, испуская ослепительно яркий свет; уголь при этом переходит в парообразное состояние и угольный пар заполняет промежуток между углями. Это явление носит название «вольтовой дуги», так как впервые получилось при помощи «вольтова столба», и так как при горизонтальном расположении углей пламя «дугой» выгибается кверху <sup>1</sup> (рис. 371, а).

После некоторого времени горения вольтовой дуги делается заметной разница между положительным и отрицательным углем.

В положительном угле образуется углубление, «кратер», который представляет собой наиболее ярко светящее и наиболее горячее место дуги. Температура в кратере сильной дуги достигает  $3500^{\circ}\text{C}$ .<sup>2</sup> При такой температуре плавятся и обращаются в пар самые



Рис. 371.

Вольтова дуга. Положительный уголь сверху.

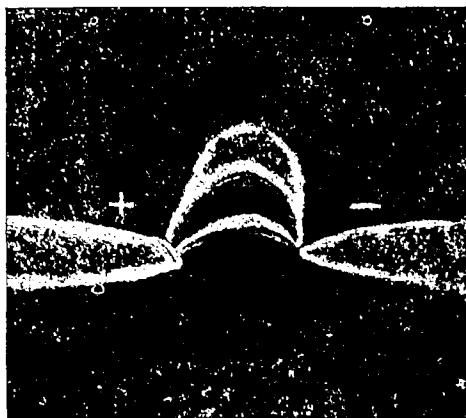


Рис. 371-а.

Вольтова дуга. Положительный уголь слева.

тугоплавкие вещества (железо, платина); уголь постепенно обращается в пар.

На отрицательном угле образуется конический нарост, так как вещество угля через дугу отчасти переносится по направлению тока. По мере горения расстояние между концами углей увеличивается, и потому для равномерного горения дуги угли необходимо снова сближать.

**200. Технические применения вольтовой дуги.** I. Дуговые лампы. Вольтова дуга в форме очень разнообразных «дуговых ламп» и «фонарей» представляет собой один из удобнейших и наиболее распространенных источников яркого освещения.

<sup>1</sup> Вольтова дуга была открыта в самом начале XIX века одновременно знаменитым английским химиком Дэви и профессором В. Петровым в Петербурге.

<sup>2</sup> Получая вольтову дугу под значительным давлением (около 25 атмосфер), удавалось достигнуть температуры около  $5800^{\circ}\text{C}$ , близкой к вероятной температуре поверхности Солнца.

Во всех таких фонарях имеются разнообразные приспособления («регуляторы»), автоматически производящие сведение и разведение углей при зажигании дуги и поддерживающие нужное расстояние между углями во время горения.

Впервые вольтова дуга в качестве технически удобного источника освещения получила распространение в форме очень просто и остроумно устроенной «свечи Яблочкова», состоящей из двух вертикальных углей, склеенных непроводящим веществом, постепенно сгорающим в пламени дуги. При «переменном» токе, идущем то в ту, то в другую сторону, оба угля сгорают равномерно, и потому расстояние между их концами остается неизменным.

В дуговых фонарях, служащих для освещения, обыкновенно разность потенциалов между углями поддерживается около 40 — 50 В, а сила тока бывает около 10 — 20 А.

В очень сильных фонарях (маяки, прожекторы) употребляются токи в сотни ампер.

П. Электрические печи. Для исследования физических и химических явлений при наиболее высоких температурах употребляется электрическая печь Муассана,<sup>1</sup> в которой сильная вольтова дуга в сотни ампер получается внутри огнеупорной камеры.

Подобного устройства печи колоссальной величины с токами

во много тысяч ампер применяются в технике для добывания: металлического алюминия, магнезия, кальция карбида (вещество, дающее при соединении с водой горючий газ ацетилен), карборунда (отличающегося крайней твердостью) и пр.

В этих производствах играет роль как огромная температура вольтовой дуги, так и химическое действие тока.

III. Электрическая спайка. Жаром вольтовой дуги пользуются в технике для спаивания железа и стали. Для этого токи значительной силы пропускаются так, чтобы вольтова дуга образовалась либо между двумя спаиваемыми частями, либо между углем и спаиваемыми частями, приведенными в соприкосновение.

IV. Добывание азотной кислоты. При горении вольтовой дуги в соприкасающемся атмосферном воздухе образуются химические соединения азота с кислородом. Это явление легко проследить, подержав над вольтовой дугой с горизонтальными углями опрокинутый стакан, в котором быстро делается заметным появление бурых паров азотных окислов.

Этим явлением пользуются в технике для добывания азотной кислоты из атмосферного воздуха.



Рис. 372.

„Свеча“ Яблочкова.



Рис. 373.

Пав. Ник. Яблочков (1847 — 1894).

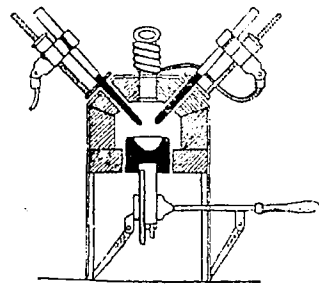


Рис. 374.

Разрез электрической печи Муассана.

<sup>1</sup> Муассан (1852 — 1907) — французский химик, произвел ряд замечательных исследований в области высоких температур, между прочим, первый достиг получения из угля искусственных алмазов.

**201. Электрический разряд в разреженных газах. Трубки Гейслера и Крукса.**<sup>1</sup> Для наблюдения разнообразнейших весьма интересных явлений разряда в газах при уменьшенном давлении употребляются разных форм стеклянные трубки с впаянными металлическими (алюминиевыми) электродами, которые соединяются с источниками значительного потенциала (электрофорная машина, спираль Румкорфа). Такие трубки принято называть «трубками Гейслера» при не очень сильном разрежении газа и «трубками Крукса» при крайне сильном разрежении.

В зависимости от того, какой газ заключен в трубке, какова степень его разрежения, какой формы и как расположены электроды, каково стекло трубки и т. д., явление разряда получается в самых разнообразных, иногда удивительно красивых формах, благодаря разноцветному свечению и газа, и стенок трубки, и различных веществ, вводимых внутрь трубки.

Опишем наиболее типичные виды разряда в цилиндрической трубке с электродами па концах: анод в форме палочки, катод в форме пластинки.

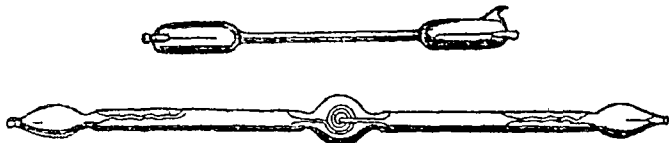


Рис. 375.  
Трубки Гейслера.

По мере разрежения воздуха получают следующие наиболее характерные видоизменения разряда:

I. При постоянном уменьшении давления уменьшается и разность потенциалов, дающая искру; при давлении около 50 мм (т.-е. несколько менее одной десятой атмосферы) искра образуется не в виде белой молнии, а имеет вид бесшумного, колеблющегося сияния, соединяющего электроды. Если уменьшить давление еще больше, напр., до 6 мм (рис. 376, I), то сияние переходит в небольшой пучок около катода, тогда как на аноде получается светлое пятно.

II. Давление около 4 мм (рис. 376, II). Свечение между электродами расширяется.

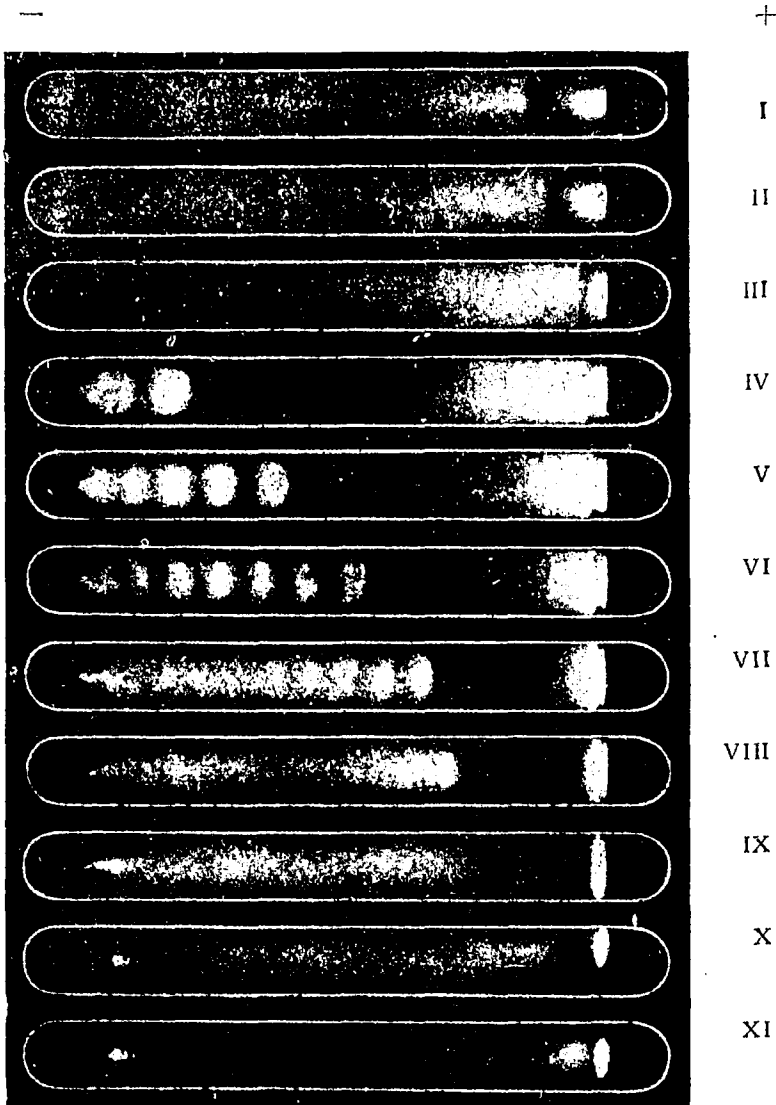
III. Давление 2 мм (рис. 376, III). Сияние у анода имеет красноватый оттенок и отделено от катода темным пространством. Около катода появляется синеватое «катодное свечение», служащее признаком зарождения «катодных лучей», которые представляют собою одну из важнейших подробностей в явлении разряда.

IV. Давление около 0,6 мм (рис. 376, IV). Катодное сияние расширяется, анодное же несколько отступает.

<sup>1</sup> Гейслер (1814 — 1879) — немецкий физик, первый исследователь опываемых здесь явлений.

Вильям Крукс (1832 — 1919) — английский физик и химик, сделавший несколько замечательных исследований в области явлений электричества и света.

V. Давление около 0,4 mm (рис. 376, V). У анода сияние становится более ярким, мутно белым и распадается на светлые слои, разделенные темными промежутками. Катодное голубое сияние разрастается.



— Катод

Рис. 376.

Анод +

VI. Давление около 0,3 mm (рис. 376, VI). Темный промежуток расширяется, слои отступают друг от друга.

VII. Давление 0,2 mm (рис. 376, VII). Катодное сияние все расширяется. Слои еще более отступают и расширяются.

VIII. Давление 0,15 мм (рис. 376, VIII). Катодное сияние стало еще шире; у анода остается лишь небольшое количество слоев.

IX. Давление 0,10 мм (рис. 376, IX). Катодное сияние занимает большую часть трубки; свечение у анода исчезает.

X. Давление 0,05 мм (рис. 367, X). Катодное сияние свободно распространяется по всей трубке.

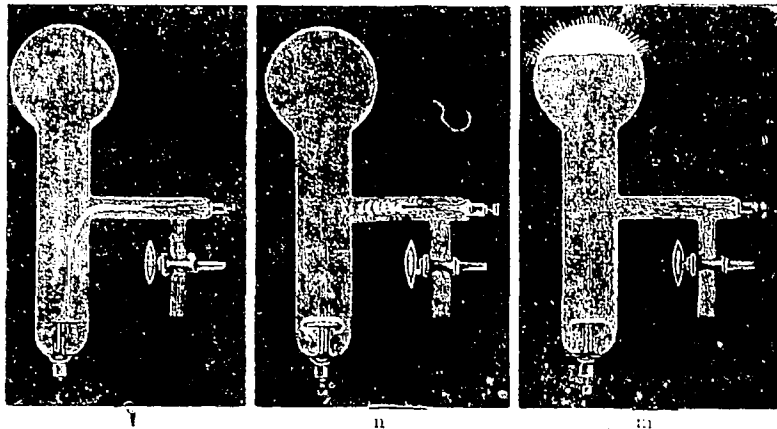


Рис. 377.

Виды электрического разряда в разреженном газе. При очень большом разрежении (III) катодные лучи свободно распространяются от катода, вдоль всей трубки, и вызывают свечение стекла в противоположной части трубки.

XI. Давление 0,03 мм (рис. 376, XI). Катодное сияние заполняет всю трубку, и те места стекла, на которые попадает сияние, светятся ярким желто-зеленым светом.

Самые главные типы разряда удобно также проследить в трубке, имеющей форму, изображенную на рис. 377. При такой форме ясно заметно удивительное свойство катодных лучей: они распространяются не от катода к аноду, а прямолинейно по направлению, перпендикулярному к поверхности катода.

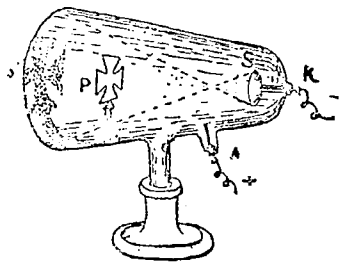


Рис. 378.

Катодные лучи, не проникающие сквозь металл, образуют «тень» креста.

## 202. Катодные лучи. Электроны.

Как указано выше, при разряде в очень разреженном газе от отрицательного электрода в трубке распространяются «катодные лучи». Эти лучи обладают следующими свойствами:

1. Они невидимы сами по себе.
2. Несмотря на их невидимость, нетрудно проследить их путь, благодаря тому, что они способны возбуждать свечение («флуоресценцию») очень многих веществ. Мы уже говорили, например, что те места стекла, на которые падают катодные лучи, ярко светятся. Чрезвычайно красивые явления разряда получаются в трубках, где

действию катодных лучей подвергаются разнообразные минералы, испускающие при этом яркий свет различных цветов.

3. Катодные лучи распространяются прямолинейно по направлению, перпендикулярному к поверхности катода. Придав катоду вогнутую форму (рис. 378), можно заставить катодные лучи сойтись в одну точку. Поставив за этой точкой металлический предмет (крест), получим на противоположной стенке трубки на светлом фоне как бы тень от этого предмета, так как сквозь него лучи не проходят.

4. Катодные лучи способны распространяться только в очень разреженных газах; через слой твердого вещества катодные лучи способны пройти лишь при самой ничтожной толщине такого слоя.

5. Катодные лучи, падающие на какой-нибудь проводник, сообщают ему заряд отрицательного электричества.

6. Катодные лучи отклоняются магнитом в таком направлении, в каком отклоняется гибкий проводник, по которому течет ток, при чем ток следует взять такой, чтобы направление движения отрицательного электричества соответствовало направлению катодных лучей.

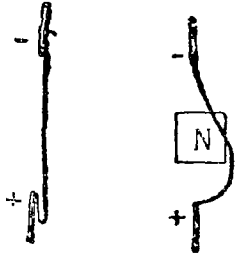


Рис. 379.

Гибкий проводник, по которому ток идет снизу вверх (отрицательное электричество движется сверху вниз), отклоняется вправо, если сзади подносится северный полюс магнита.

Если к гибкому проводнику (рис. 379), по которому отрицательное электричество течет сверху вниз, поднести сзади северный полюс магнита, проводник отклоняется вправо. Если к зарядной трубке (рис. 380), в которой катодные лучи идут сверху вниз,

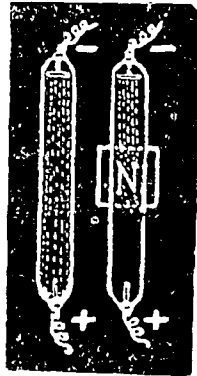


Рис. 380.

Катодные лучи (потoki отрицательного электричества), распространяющиеся сверху вниз, отклоняются вправо, если сзади подносится северный полюс магнита.

поднести сзади северный полюс магнита, катодные лучи отклоняются вправо.

Многочисленные подробные исследования, описывать которых здесь не будем, привели к заключению, что катодные лучи представляют собой летящие с огромной скоростью чрезвычайно мелкие частицы, несущие с собой заряды отрицательного электричества. Измерения обнаружили, что масса каждой такой частицы меньше массы одного атома водорода (самого легкого вещества) приблизительно в 2000 раз; а электрический заряд каждой частицы оказался равным тем зарядкам, какие для объяснений явлений электролиза следует предполагать на каждой отрицательно заряженной части молекулы электролита.

Эти катодные частицы называют «электронами»: они представляют собой как бы атомы отрицательного электричества.

**203. Лучи положительного электричества. Закатодные и анодные лучи.** За последние годы явления электрического разряда



в газах тщательно изучались весьма многими исследователями, при чем выяснилось, что кроме катодных лучей, представляющих собой поток отрицательно заряженных частичек, при некоторых условиях получают подобные же лучи, состоящие из потока частичек, заряженных положительно.

Если катод поместить посредине трубки и сделать его в форме пластинки с отверстиями (каналами), то при разряде кроме катодных лучей, идущих в сторону анода, наблюдаются еще лучи от отверстий в противоположную сторону (рис. 381). Эти так называемые «закатодные» (или «каналовые») лучи во многом сходны с катодными, но отклоняются магнитом в противоположную сторону сравнительно с катодными лучами. Такое отклонение лучей указывает на то, что закатодные лучи представляют собой поток положительного электричества.

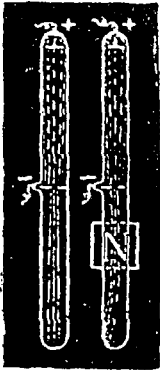


Рис. 381.

От катода вверх идут катодные лучи, вниз «закатодные», которые отклоняются влево с в. полюсом магнита.

Подобный поток положительного электричества удалось получить и в форме лучей, непосредственно исходящих от анода.

Для получения таких «аниодных» лучей оказалось нужным в качестве анода брать неметаллический электрод, а электрод из какой-нибудь соли (напр., хлористого натра) с примесью угля или графита (чтобы сделать электрод проводником).

Закатодные и анодные лучи слабее отклоняются магнитом, чем катодные.

Исследования закатодных и анодных лучей показали, что эти лучи представляют собой поток положительных электронов, при чем масса каждого электрона оказалась равной массе атома того вещества, при помощи которого переносится электрический заряд. В случае закатодных лучей это — атомы того газа, который наполняет трубку, а в случае анодных лучей это — атомы того металла, который входит в состав анода.

Получение и исследование лучей положительного электричества, благодаря различным побочным обстоятельствам, оказывается значительно сложнее и труднее получения катодных лучей.

Получение и исследование лучей положительного электричества, благодаря различным побочным обстоятельствам, оказывается значительно сложнее и труднее получения катодных лучей.

**204. Ионизация газов.** Явления электролиза растворов убеждают нас в том, что молекула растворенного вещества может распадаться на ионы, т.-е. на две части, заряженные противоположными электричествами (§ 194). Явления электрического разряда в газах показывают, что атом газа, да и всякого вообще вещества, также может распадаться на ионы: на отрицательно заряженный электрон, почти не имеющий массы, и на положительно заряженную остальную часть атома.

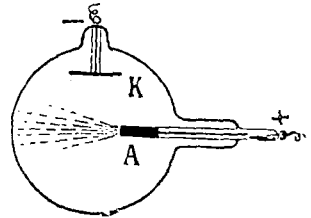


Рис. 382.

Анодные лучи распространяются прямолинейно по направлению, перпендикулярному к поверхности анода.

Прохождение электричества через газ возможно только при условии, что некоторая часть атомов газа распалась на ионы, что газ, как говорится, и о н и з и р о в а н.

Газы могут ионизироваться под влиянием весьма различных причин: сильное нагревание, действие лучей света, действие катодных и анодных лучей (а также действие икс-лучей Рентгена и лучей радия, о которых мы будем говорить несколько дальше), — все эти физические воздействия способны ионизировать газы и тем делать их проводниками электричества.

**205. Икс-лучи Рентгена.** Немецкий физик Рентген открыл, что стекло, на которое падают катодные лучи (например, в 3-й трубке на рис. 377), кроме видимых желто-зеленых лучей, испускает еще особые невидимые лучи. Эти лучи, обладающие удивительными, тогда совершенно загадочными свойствами, Рентген назвал **Х-лучами**.

Эти лучи невидимы сами по себе, но могут быть обнаружены потому, что, подобно катодным лучам, способны вызывать свечение многих веществ, а также могут действовать подобно свету на светочувствительные фотографические пластинки.

В отличие от катодных лучей Х-лучи обладают способностью проникать в большей или меньшей степени чрез всевозможные вещества, и, кроме того, они не о т к л о н я ю т с я магнитом.

Для получения рентгеновых Х-лучей употребляются особые трубки, существенную подробность которых составляет то, что внутри трубки против катода помещается п л а т и н о в а я или и р и д и е в а я п л а с т и н к а («антикатод»;  $A'$  рис. 384), так как эти металлы, когда на них падают катодные лучи, представляют собой особенно сильные источники Х-лучей.

При действии разряда от антикатада исходят Х-лучи, которые легко проникают через стекло трубки и выходят наружу. Если на пути этих лучей (рис. 385) поставить какой-нибудь предмет, например, кошелек с монетами, а за ними пластинку, покрытую веществом, способным светиться от Х-лучей, то на этой пластинке обрисуются силуэты тех частей, которые более сильно задерживают лучи (рис. 386). Кожа кошелька легко пропускает лучи и потому почти не дает тени, но металлическая оправка и монеты сильно задерживают лучи



Рис. 383.

Вильгельм Рентген (1845 — 1923). Один из крупнейших германских физиков последнего времени. Открыл Х-лучи в 1895 г. Последние годы жизни был профессором физики в Мюнхене.

и дают темную тень. Если на пути лучей поставить руку, то на пластинке ясно вырисовываются кости скелета.

Вместо светящейся пластинки можно взять фотографическую пластинку, на которой получится отпечаток с очертаниями менее прозрачных предметов.

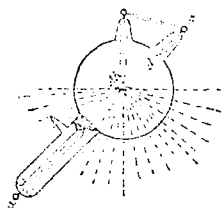


Рис. 384.

Трубка для получения X-лучей. Идущие от катода *K* катодные лучи падают на платиновую пластинку (антикатода) *A*, и вызывают испускание X-лучей. *A* — Анод.

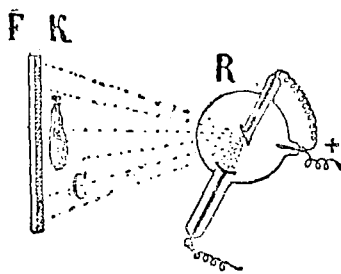


Рис. 385.

Расположение приборов для исследования непрозрачных предметов при помощи X-лучей. Лучи из трубки *R*, пронизывая *C* и картон *K*, вызывают свечение слоя *F*.



Рис. 386.

Силуэт кошелька на светящемся экране. Темная тень получается только от монет и металлической оправы.

Понятно, что возможность при помощи X-лучей видеть очертание костей и внутренних органов человека является крайне полезной в медицине, особенно в хирургии.



Рис. 387.

Снимок, сделанный при помощи лучей Рентгена. Грудь солдата, раненого осколками артиллерийского снаряда.

**206. Радиоактивные вещества.** В 1896 г., вскоре после открытия X-лучей Рентгена, французский физик Беккерель <sup>1</sup> открыл, что металл уран,

<sup>1</sup> Анри Беккерель (1852 — 1908) — французский физик, сын Александра и внук Антуана Беккерелей, тоже крупных физиков.

а также урановая руда обладают способностью постоянно, неослабно испускать лучи, проникающие сквозь непрозрачные тела и действующие на фотографическую пластинку. Несколько позднее было обнаружено, что подобное излучение дают также соединения редко встречающегося металла тория.

Явление этого непрерывного лучеспускания, присущего некоторым веществам, названо явлением радиоактивности, а вещества, обладающие этим свойством, называются радиоактивными.

Имея хоть маленький кусочек металлического урана или урановой руды («урановой смолки»), легко воспроизвести явление, открытое Беккерелем. Если в темном помещении (чтобы ручаться за устранение действия света) положить кусочек урана на фотографическую пластинку, завернутую в черную бумагу, то через некоторое время (через несколько дней) лучи, исходящие от урана и легко пронизывающие бумагу, дадут на пластинке отпеча-

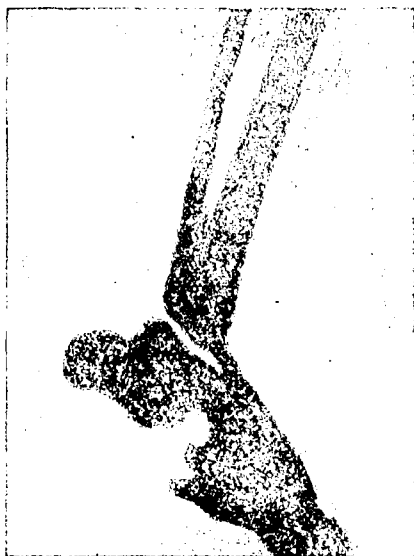


Рис. 388.

Снимок, сделанный при помощи лучей Рентгена. Нога солдата, раненного пулей.

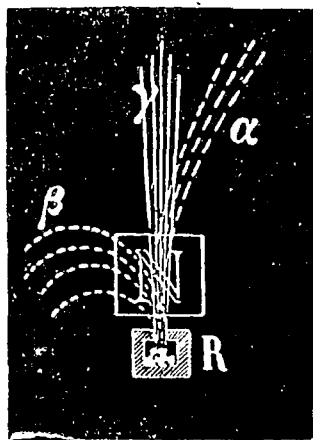


Рис. 389.

Схема лучей радия. От радия  $\text{R}$  сквозь отверстие в свинцовой коробочке выходит пучок лучей, который магнитом разделяется на три части:  $\alpha$ -лучи слабо отклоняются, вправо,  $\beta$ -лучи сильно отклоняются влево,  $\gamma$ -лучи не отклоняются.

ток, который ясно обнаруживается после того, как пластинка обыкновенным способом проявится.

Тяжелые металлы (напр., свинец) в значительной степени задерживают лучи, испускаемые ураном, поэтому, если между фотографической пластинкой и куском урана поместить металлическую пластинку с прорезами, то сильное действие лучей получится только под прорезами (см. рис. на таблице II).

Обыкновенно «аэуровекпе» сетки, употребляющиеся для газо-калильных и керосино-калильных ламп, обладают заметной радиоактивностью, так как в их состав входят соединения тория.

Если такую сетку (обожженную) положить на фотографическую пластинку, то можно получить отчетливый отпечаток сетки даже сквозь тонкий лист алюминия (см. рис. на таблице II).

Исследуя радиоактивность разных сортов урановой руды, супруги Кюри<sup>1</sup> обратили внимание на то, что некоторые сорта более радиоактивны, чем чистый

<sup>1</sup> Пьер Кюри (1859 — 1906), — французский физик, сделал ряд замечательных исследований и открытий в области явлений радиоактивности совместно со своей супругой Марией Кюри, рожденной Склодовской.

уран. Предполагая, что это явление зависит от присутствия в руде какого-нибудь особого, еще неизвестного сильно радиоактивного вещества, Кюри предприняли работу выделения из руды более радиоактивной составной части. В результате оказалось возможным из огромной массы руды выделить ничтожное количество вещества, несравненно (в сотни тысяч раз) более радиоактивного, чем уран. Выделенное вещество оказалось содержащим новый химический элемент, который был назван радием (лучистым).

Обыкновенно препараты радия представляют собой более или менее чистую хлористую или бромистую соль радия, но удается также получать и чистый металлический радий.

Ничтожного количества радиевой соли (1 мг) достаточно, чтобы наблюдать проявления ее радиоактивности.

Отпечатки на фотографических пластинках получаются даже на значительном расстоянии более или менее быстро, смотря по количеству и по чистоте соли (см. рис. на таблице II).

Некоторые вещества, как, например, сернистый цинк, светятся, когда на них попадают лучи радия.

Если соль радия приблизить к заряженному электроскопу, то, благодаря тому, что лучи

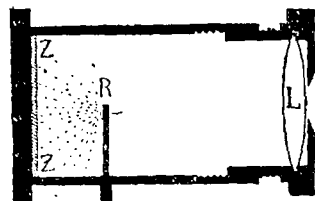


Рис. 390.

Схема спинтерископа. R — радий, ZZ — слой сернистого цинка, L — лупа.

радия ионизируют окружающий воздух, электроскоп начинает терять свой заряд.

Огромная радиоактивность соединений радия дала возможность более подробно исследовать свойства испускаемых лучей. Исследования показали, что радий испускает три различных сорта лучей; эти сорта принято обозначать греческими буквами ( $\alpha$ ) альфа-лучи, ( $\beta$ ) бета-лучи, ( $\gamma$ ) гамма-лучи.

$\alpha$ -лучи и  $\beta$ -лучи отклоняются магнитом в противоположные стороны: эти лучи вообще совершенно сходны с анодными ( $\alpha$ ) и катодными ( $\beta$ ) лучами, получающимися при электрических разрядах;  $\gamma$ -лучи не отклоняются магнитом и по своим свойствам похожи на X-лучи Рентгена.

В том, что  $\alpha$ -лучи состоят из летящих отдельных частиц, можно наглядно убедиться, наблюдая излучение радия в так называемом спинтерископе <sup>1</sup> Крукса, который представляет собой небольшую трубку, спереди которой помещена лупа, а задняя стенка изнутри покрыта слоем сернистого цинка, евящегося под действием  $\alpha$ -лучей (рис. 390).

На некотором расстоянии от задней стенки помещается стрелка, на кончике которой прикреплен ничтожно маленький кусочек соли радия.

Наблюдая свечение стенки через лупу, можно легко различить, что свечение распадается на множество внезапно вспыхивающих и сейчас же гаснущих светлых звездочек (рис. 391).

Каждая звездочка вспыхивает от удара в стенку одной  $\alpha$ -частицы, одного атома. Здесь, следовательно, можно убедиться в существовании отдельных атомов вещества.

Удалось обнаружить, что эти  $\alpha$ -частицы, отрывающиеся от атомов радия, представляют собой атомы газа гелия. Таким образом здесь наблюдается получение одного химического элемента из другого, чего ни при каких условиях не удавалось наблюдать раньше.

Дальнейшие исследования дали указания на то, что по мере излучения атомы радия испытали целый ряд постепенных превращений, при чем лученоскательная способность радия убывает, хотя и очень медленно, так что требуется более тысячи лет для уменьшения лученоскательности наполовину.

Одним из удивительных свойств радия является то, что он всегда несколько теплее окружающей среды: в нем, следовательно, непрерывно вырабатывается

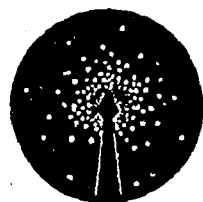
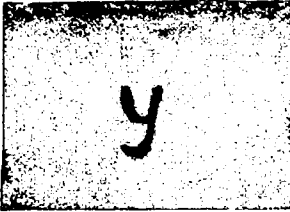


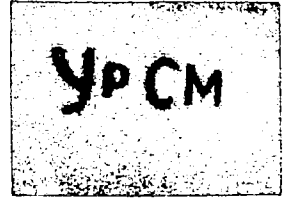
Рис. 391.

Свечение сернистого цинка, видимое в спинтерископе.

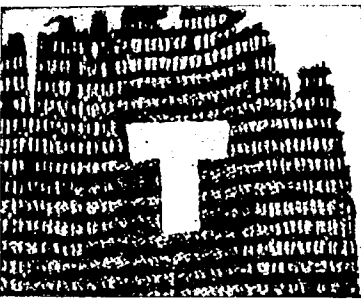
<sup>1</sup> От греческого *σπιντήρ* (спинтер) — искра.



А. Отпечаток, сделанный лучами металлического урана сквозь прорез в свинцовой пластинке через черную бумагу. (Экспозиция 21 день.)



В. Отпечаток, сделанный лучами урановой смолки сквозь прорез в свинцовой пластинке через черную бумагу. (Экспозиция 21 день.)



С. Отпечаток ауэрвогской сетки (торий) сквозь тонкий лист алюминия. Лучи не прошли сквозь букву Т из свинца. (Экспозиция 24 дня.)



Д. Снимок кошелька с монетами и ключом, сделанный при помощи 3 mgr. бромистого радия, помещенных на расстоянии 15 см. от пластинки. (Экспозиция 3 дня.)



тепловая энергия, которая непрерывно рассеивается в окружающем пространстве. За сколько-нибудь значительный промежуток времени радий создает и теряет огромное количество тепловой энергии, но и здесь, как везде, энергия не создается «из ничего», а получается из того запаса энергии, который представляет собою атом радия, постепенно распадающийся и теряющий энергию.



Рис. 392.

Фотографический снимок с молний, попадающих в вершину башни Эйфеля. В течение экспозиции (ночью, 20 мин.) произошло три удара.

**207. Электрические разряды в атмосфере. Молния.** Всякий, кто видел хоть сколько-нибудь значительный искровой электрический разряд, легко подмечает сходство этого явления с грандиозным явлением грозовой молнии.

Еще Франклин доказал непосредственным опытом присутствие электрического заряда на облаках. Франклин пускал в грозовую тучу змея, снабженного металлическим острием, а бечевку, на которой держался змей, он привязывал к стеклянной палке, чтобы электричество не уходило в землю. Когда веревка намокала от дождя и делалась проводящей, от ее нижнего конца можно было получать искры.

Дальнейшие опыты обнаружили, что и помимо грозы поверхность земли и атмосферный воздух постоянно более или менее сильно наэлектризованы. Относительно причин этой электризации можно сделать несколько разных предположений; наиболее важной причиной, вероятно, является действие солнечных лучей, которые ионизируют воздух атмосферы.

Искровой разряд в виде молнии (иногда колоссальной длины, в несколько километров) получается либо между двумя облаками, либо между облаком и землей.

Разряд происходит по направлению наименьшего сопротивления, при чем образующаяся искра имеет извилистую форму, иногда разветвленную (подобно изображению реки на географической карте). При разряде в землю молния в большинстве случаев попадает в высокие деревья, здания и т. п.

А. Цингер. Нач. физ.

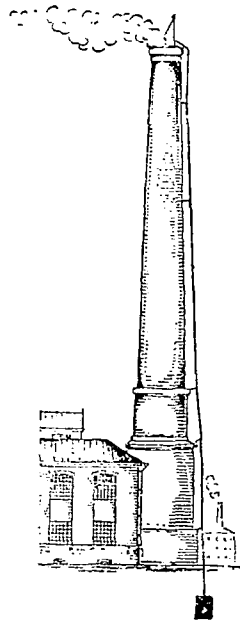


Рис. 393.

Громоотвод, предохраняющий фабричную трубу. Нижний конец проводника соединен с металлическим листом, зарытым в землю.



Чтобы предохранить здания от разрушительного действия молнии, устраиваются «громоотводы», состоящие из металлических проводников с острыми концами, укрепленных вверху здания и соединенных проводящей металлической полосой с землей.

Сила тока, получающаяся при чрезвычайно кратковременном разряде молнии, оценивается в десятки и сотни тысяч ампер.

Треск отдаленной молнии слышен несколько позднее в форме довольно продолжительных «раскатов» грома. Запоздание грома зависит от сравнительной медленности распространения звука (330 метров в секунду). Зная скорость распространения звука по промежутку времени между молнией и громом, можно оценить расстояние до места разряда. Продолжительные раскаты грома получаются вследствие

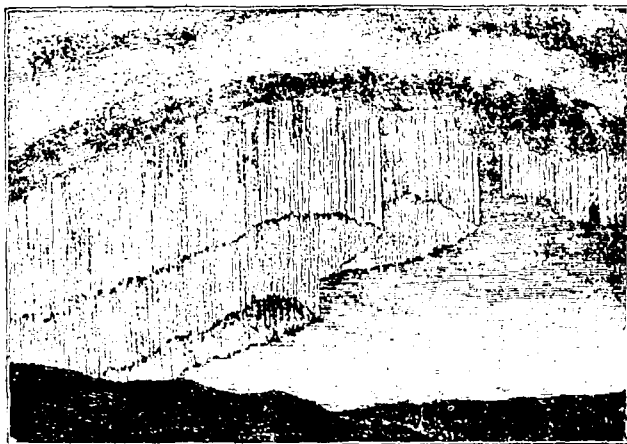


Рис. 394.

Полярное (северное) сияние в виде так называемой «завесы».

того, что звук от разных мест молнии приходит в различные моменты, а также вследствие многократного эхо.

Особенный, загадочный вид электрического разряда при грозе представляет собой так называемая «шаровая молния». Это сравнительно редкое явление описывают так: во время грозы появляется небольшой огненный шар, который некоторое время сравнительно медленно, бесшумно движется в воздухе и затем разрывается с разрушительной силой и с громовым треском.

В областях, близких к полюсам земли, наблюдается особое явление электрических разрядов в верхних слоях атмосферы, так называемые «полярные сияния» (на народном языке «позори»). Эти электрические явления в атмосфере, как упомянуто в главе о магнетизме (§ 159), находятся в связи с явлениями земного магнетизма и солнечных пятен.

Наиболее вероятная гипотеза относительно сущности явления полярных сияний заключается в предположении, что сияния эти

представляют собой проявления катодных лучей, в некоторые периоды (периоды появления пятен) особенно сильно испускаемых солнцем и достигающих земной атмосферы.

### III. Электромagnetизм.

**208. Магнитное поле вокруг тока.** Мы уже знаем, что проводник, по которому течет ток, оказывает действие на магнитную стрелку (§ 181). Точные опыты обнаружили, что подобное магнитное действие получается при всяком движении и электричества в форме тока, в форме искрового разряда, или же в форме движения заряженного тела.

Чтобы исследовать расположение магнитных сил вокруг тока, воспользуемся способом «магнитных спектров» (§ 152). Пропустим проводник перпендикулярно сквозь лист картона, на который насыплем железных опилок.

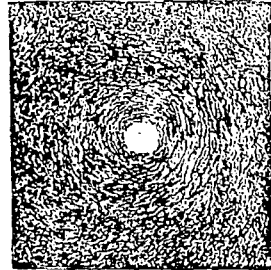
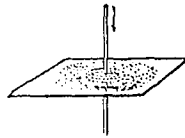


Рис. 395.  
Расположение магнитных силовых линий вокруг прямолинейного тока.

При пропускании достаточно сильного тока заметим, что опилки располагаются по концентрическим кругам (рис. 395).

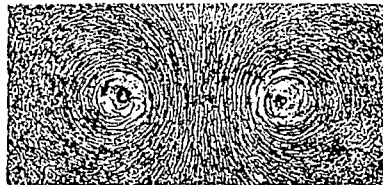
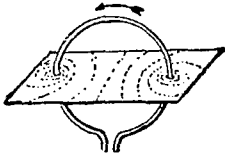


Рис. 396.  
Расположение магнитных силовых линий вокруг кольцевого тока

Исследуя подобным образом направление магнитных силовых линий вокруг тока, описывающего круговую петлю, получим фигуру, изображенную на рис. 396.

Наглядное представление о расположении магнитных сил около такого кругового тока дает следующее правило: круговой ток представляет собой как бы «магнитный листок», заполняющий площадь описываемого круга, покрытый с одной стороны северным магнетизмом (с той стороны, откуда ток представляется идущим против часовой стрелки), с другой сто-

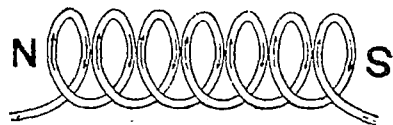


Рис. 397.  
Спираль, по которой идет ток, равносильна магниту.

роны — ю ж н ы м (см. таблицу III, стр. 289), на которой направление тока указано стрелками, а северный и южный магнетизм обозначены красным и зеленым цветом).

Если вместо одного кругового контура пустить ток по спиральной проволоке (рис. 397), то магнитные свойства такой спирали будут равносильны «стопе сложенных магнитных листков», т.-е. некоторому

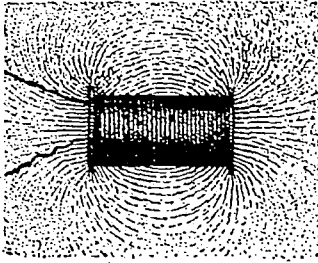


Рис. 398.

Расположение магнитных силовых линий около катушки, по которой идет ток.

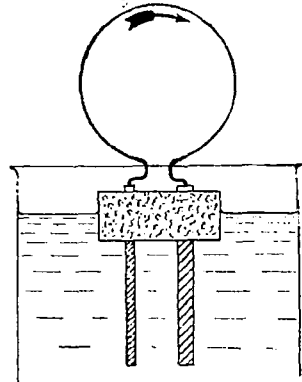


Рис. 399.

Плавающий элемент, заменяющий компас.

магнитному стержню, у которого полюсы расположены по тому же правилу, что и для одного контура; с е в е р н ы й полюс — с той стороны, откуда ток представляется идущим против часовой стрелки.

? Воткните в пробочку кусочек меди и амальгмированного цинка, замкните их кольцеобразным проводником и пустите плавать в просторном сосуде с раствором серной кислоты (399). Получается элемент Вольты, который дает ток по кольцу.

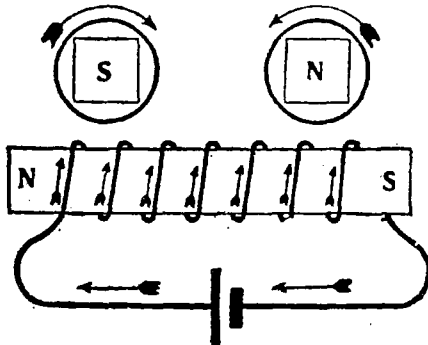


Рис. 400.

Схема электромагнита. Ток элемента проходит по спирали вокруг железного стержня, который под влиянием тока намагничивается, при чем южный полюс получается с той стороны, откуда ток представляется идущим по часовой стрелке.

Проследите, как располагается такой плавающий элемент относительно стран света.

Проследите действие на него полюсов магнита.

? Докажите, что два кольцеобразные проводника, по которым идут токи, должны вследствие взаимодействия магнитных сил притягиваться друг к другу, если токи идут в одинаковом направлении, и отталкиваться, если токи идут в противоположных направлениях.

**209. Электромагнит.** Если внутрь спирального проводника вложить железный стержень («сердечнику»), то при прохождении тока по проводнику (не по железу!) стержень намагничивается, при чем в случае

мягкого железа по прекращении тока магнетизм почти исчезает, в случае же стали стержень сохраняет значительное количество «остаточного» магнетизма.

Железный сердечник с обмоткой, по которой пускается ток, называется **электромагнитом**.

Расположение полюсов электромагнита определяется тем же

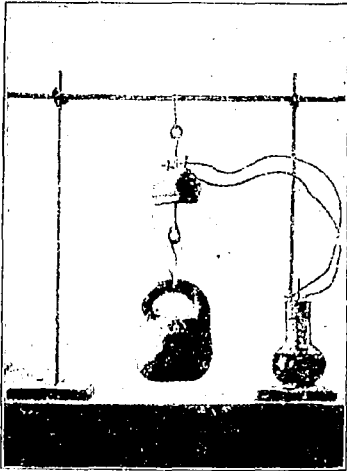


Рис. 401.

Небольшой электромагнит при токе от одного элемента выдерживает тяжесть пудовой гири.

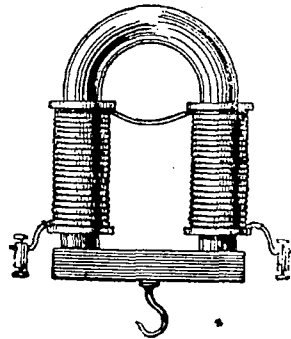


Рис. 402.

Подковообразный электромагнит с якорем.

правилом, что и для спиральной проволоки: с е в е р н ы й полюс с той стороны, откуда ток представляется идущим п р о т и в часовой стрелки (рис. 400).

Магнитная сила электромагнита складывается из небольшой силы обмотки и из силы промагнитченного железа.

При достаточной силе тока электромагниты несравненно сильнее постоянных сильных магнитов таких же размеров.

Электромагниты для различных целей изготавливаются самых различных величин и фасонов; во многих случаях им придают «подковообразную» форму.

? Согласно гипотезе молекулярного магнетизма (стр. 202), намагничение железа заключается в расположении молекул одноименными полюсами в одну сторону. При намагничении железа током поворачиваются ли молекулярные магниты согласно правилу Ампера § 182?

? Если по катушке из проводящей изолированной проволоки пропускать достаточной силы ток, то железные стержни втягиваются внутрь катушки. Почему?

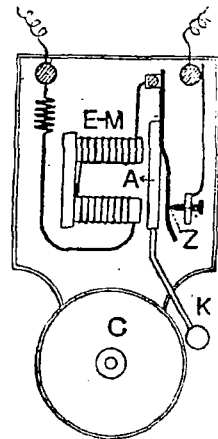


Рис. 403.

Схема электрического звонка. E — M — электромагнит, A — якорь. В точке Z — ток прерывается.

**210. Электрический звонок.** Одно из распространеннейших технических применений электромагнита представляет собой «электрический звонок». Когда нажимают кнопку звонка, этим замыкают цепь тока от элементов (обыкновенно элементы Лекланше или сухие); ток, проходя по обмотке маленького электромагнита (рис. 403), намагничивает

его, и к электромагниту притягивается железный якорь, соединенный с молоточком, ударяющим при этом по звонку. Соединение устроено так, что движение якоря и молоточка размыкает цепь; когда цепь разомкнулась, электромагнит размагничивается, и маленькая пружинка оттягивает якорь назад, при чем ток снова замыкается, якорь снова притягивается и т. д. Пока в кнопке цепь замкнута, якорь движется взад и вперед, и молоточек стучит по звонку.



Рис. 404.  
Самуил Морзе (1791 — 1872), изобретатель телеграфа.

21. Электромагнитный телеграф Морзе. Мы знаем, что электромагнит с сердечником из мягкого железа намагничивается при пропускании тока и размагничивается при прекращении тока. Зная это, не трудно понять основную идею устройства электромагнитного телеграфа. Пусть у вас в одном

? Сделайте соединение проподпиков в звонке так, чтобы при замыкании тока молоточек давал только один удар по звонку.

? На плане какой-нибудь квартиры составьте цепь для сигнализации одним звонком из нескольких комнат в одно место так, чтобы па соединение пошло возможно меньше проволоки.

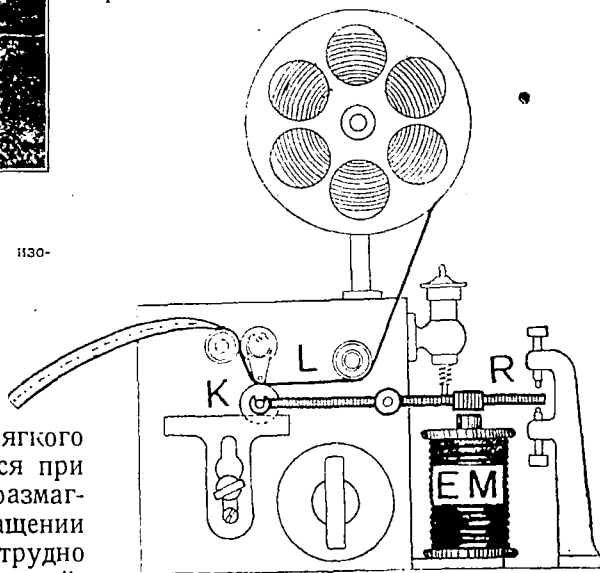


Рис. 405.

Схема аппарата Морзе. При замыкании тока электромагнит *EM* притягивает рычаг *R* и колесико *K* ударяет по ленте, делая на ней значок.

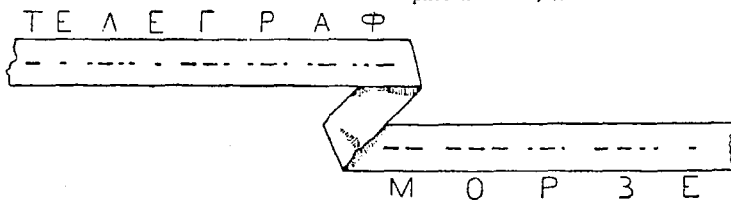


Рис. 406.

Образец записи по системе Морзе.

месте имеется гальваническая батарея, от которой идут длинные провода к электромагниту, находящемуся в другом месте. Находясь

ТЕЛЕГРАФНЫЕ ЗНАКИ.  
Буквы.

Русский алфавит.	Телеграфный знак.	Международный алфавит.	Русский алфавит.	Телеграфный знак.	Международный алфавит.
А	• —	А	Р	• — •	R
Б	— • • •	В	С	• • •	S
В	• — —	W	Т	— —	T
Г	— — •	G	У	• • —	U
Д	— • •	D	Ф	• • — •	F
Е, Э	•	E	Х	• • • •	H
Ж	• • • —	V	Ц	— • — •	C
З	— — • •	Z	Ч	— — — •	Öe, ö
И	• •	I	Ш	— — — —	Ch
Й	• — — —	J	Щ	— — • —	Q
К	— • —	K	Ъ, ь	— • • —	X
Л	• — • •	L	Ы	— • — —	Y
М	— —	M	Ю	• • — —	Ue, ü
Н	— •	N	Я	• — • —	Ae, ä
О	— — —	O		• • — • •	È
П	• — — •	P			

Цифры.

1	• — — — —	6	— • • • •
2	• • — — —	7	— — • • •
3	• • • — —	8	— — — • •
4	• • • • —	9	— — — — •
5	• • • • •	0	— — — — —

около батареи («станция отправления»), вы можете замыкать и размыкать ток; при этом электромагнит («станция получения») будет то намагничиваться, то размагничиваться. Понятно, что вы таким путем

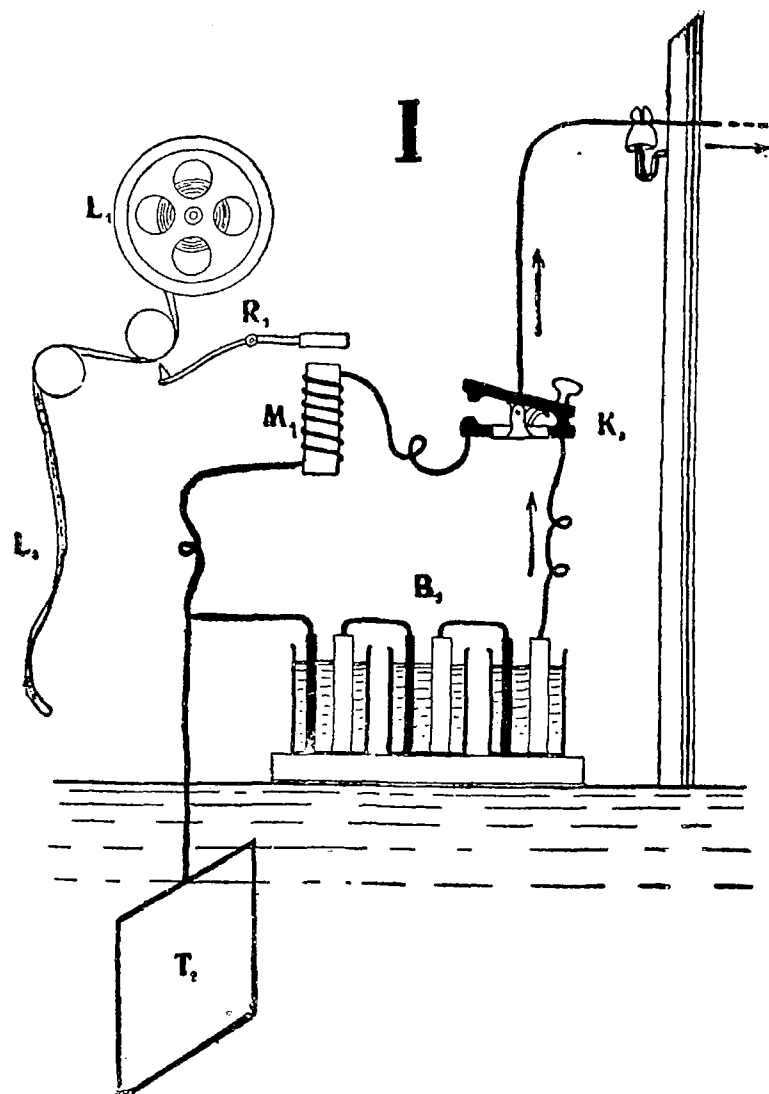
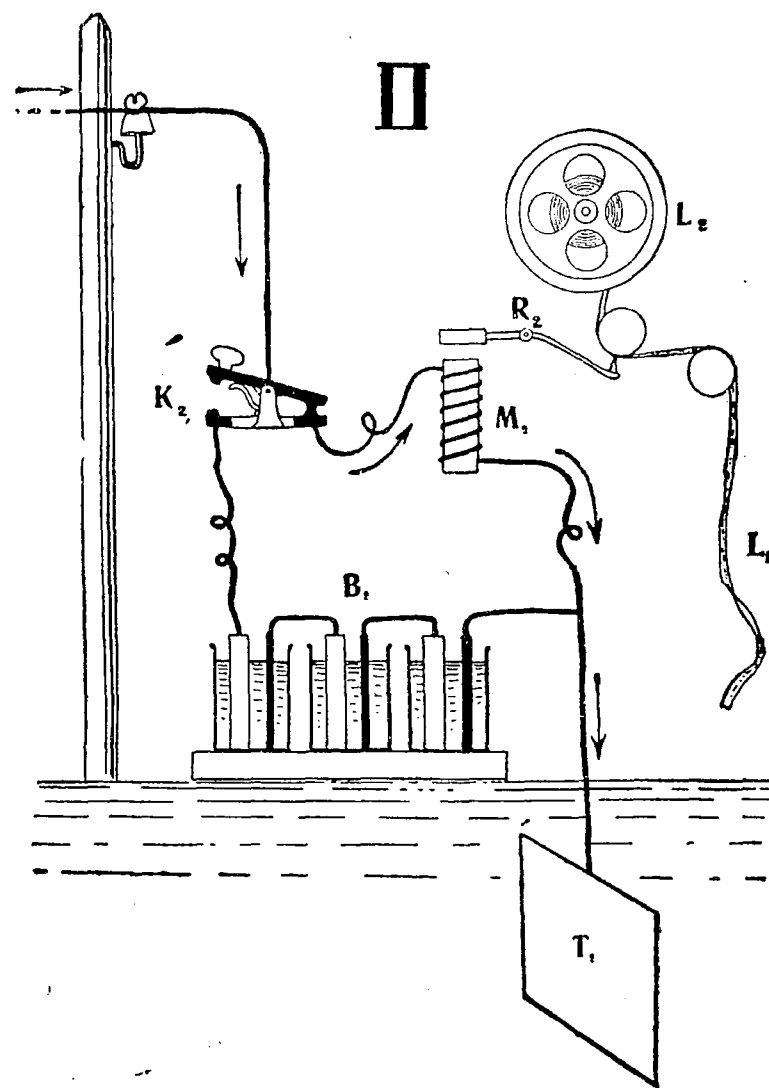


Рис. 407. Схема соединения станций телеграфом Морзе.  $B$  — батареи,  $M$  — электромагниты,  $K$  — клавиши,  $T$  — соединения проводов с землей,  $R$  — пишущие рычажки,  $L$  — ленты. Соединение изображено в момент

можете из одного места в другое передавать условные сигналы. Такая установка представляет собой упрощенную модель электромагнитного телеграфа.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> τήλε (тэле) — далеко, γράφο (графо) — пишу.

В настоящих телеграфах системы Морзе на станции получения электромагнит соединяется с «пишущим аппаратом» (рис. 405). В моменты прохождения тока, когда якорь притягивается к электромагниту, соединенный с якорем рычажок делает краской отметку на ленте, которая пружинным механизмом непрерывно



магниты,  $K$  — клавиши,  $T$  — соединения проводов с землей,  $R$  — пишущие рычажки,  $L$  — ленты. Соединение изображено в момент

протягивается мимо пишущего рычажка. При очень коротком замыкании тока на ленте получается «точка», при более продолжительном — «черточка». Различными комбинациями точек и черточек обозначаются буквы алфавита, цифры и условные знаки (см. таблицу на стр. 279).

На рис. 407 изображено обычное телеграфное соединение двух станций. На каждой станции имеются: пишущий аппарат, «ключ» для замыкания тока и батареи.

Провод между станциями только один, второй провод заменяется соединением с землей: один из полюсов каждой батареи соединен с металлическим листом, зарытым в землю. На чертеже нетрудно проследить, что во время телеграфирования работает батарея «станции отправления», при чем один ее полюс, непосредственно соединен с землей, а от другого полюса ток идет в землю через линию и через аппарат «станции получения».

Со времени Морзе телеграфная техника сделала огромные успехи: изобретены способы посылать по одному проводу одновременно несколько депеш в обе стороны, изобретены приборы, печатающие депеши прямо буквами, особые приборы для телеграфирования по подводным «кабелям», приборы для телеграфной передачи рисунков, наконец, телеграфирование «без проволоки». Однако, аппарат Морзе до сих пор широко распространен по всему миру, так как для не слишком спешной передачи он и доньше является самым удобным.

Заметим, что при расчете времени для передачи депеши, времени распространения тока можно не считать, так как для всех земных расстояний это время совершенно ничтожно.

**212. Электромагнитная индукция токов. Правило Ленца.**  
Мы знаем, что если в катушку из проводящей проволоки вложено железо и по катушке проходит ток, то железо намагничивается: электрический ток порождает магнетизм.

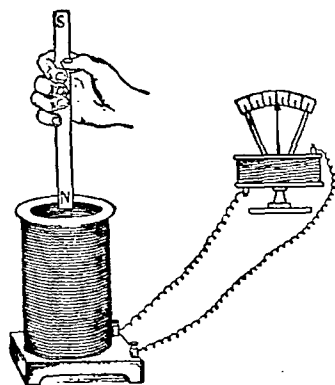


Рис. 408.

При вдвигании или выдвигании магнита в катушке возникает ток.

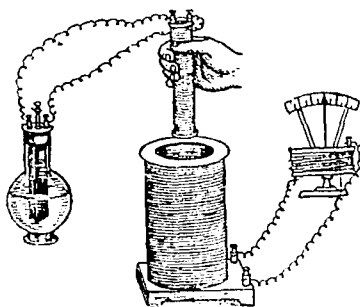


Рис. 409.

При вдвигании или выдвигании катушки с током во второй катушке возникает ток.

Попробуем получить обратное явление — при помощи магнитной силы создать электрический ток. Возьмем катушку, вложим в нее готовый стальной магнит и замкнем концы катушки без всякого источника тока на гальванометр. Не получится ли ток в катушке, благодаря тому, что в нее вложен магнит?

Опыт показывает, что в катушке при таких условиях тока не получается.

Однако, при этом расположении приборов нетрудно подметить, что ток возникает в катушке в те моменты, когда магнит вдвигается в катушку или выдвигается из нее.

Ток возникает и в том случае, если вместо магнита вдвигать и вынимать из катушки другую катушку, по которой пущен ток.

Возникновение токов получается и в том случае, если передвигается не магнит или катушка с током, а та катушка, в которой ток получается.



Это явление возникновения токов от приближения или удаления магнитов или других токов называется явлением **индукции** (наведения) **токов**. Самый возникающий ток называют **индуктивным**, наведенным, или **вторичным** током, а тот ток, который производит индукцию, называют **индуцирующим**, наводящим или **первичным** током.

Если проследить за расположением полюсов в магните и за направлением как первичного, так и вторичного тока, то нетрудно вывести следующие правила:

Если к концу вторичной катушки приближается какой-нибудь полюс магнита (или первичной катушки), то во вторичной катушке возникает индуктивный ток такого направления, что в этом конце получается полюс **однородный** с тем, который приближается. Следовательно, **сближаемые** концы магнита и катушки (или первичной и вторичной катушек) **отталкиваются друг от друга**.

Если от конца вторичной катушки удаляется какой-нибудь полюс магнита или первичной катушки, то во вторичной катушке возникает ток такого направления, что в этом конце катушки получается полюс **разноименный** с тем, который удаляется. Следовательно, **удаляемые друг от друга** магнит и катушка (или первичная и вторичная катушки) **притягиваются** между собой.

**Индуктивный ток**, возникающий вследствие относительного движения катушек (или магнита и катушки), всегда имеет такое направление, что получается сила, **противодействующая** производимому движению (**правило Ленца**).

? Проверьте правило Ленца на всех комбинациях относительного движения магнита и катушки, передвигая то магнит, то катушку, то сближая их, то удаляя.

? Пусть имеются два кольцевые проводника, по одному из которых идет ток. При приближении или удалении проводников друг от друга во втором проводнике возникает индуктивный ток. Докажите на основании правила Ленца, что при **приближении** проводников возникает ток, **обратный** току в первом проводнике, а при **удалении** — ток **того же** направления.

**213. Индуктивный ток при замыкании и размыкании первичной цепи.** Можно получать индуктивные токи и без перемещения катушек.

Возьмите две такие катушки, чтобы одну можно было вставить в другую (самое выгодное расположение); одну катушку (безразлично которую) соедините с источником тока, а другую замкните на гальванометр. Если в первой катушке вы будете ток то замыкать, то прерывать (что равносильно введению и выниманию магнита), то во второй катушке будет возникать индуктивный ток то в одном, то в другом направлении.

При **замыкании** первой катушки во второй катушке получается ток **противоположного** направления, а при **раз-**

мыкании — ток одинакового направления с током первой катушки.

Если внутрь катушек ввести железный стержень, который будет намагничиваться при замыкании первичной катушки, то индуктивный ток будет получаться несравненно более сильный.

Вместо замыкания и размыкания первичного тока можно только усиливать и ослаблять его; изменения силы первичного тока тоже вызывают вторичные токи.

Все разнообразные условия возникновения индуктивных токов можно свести к правилу, что индуктивный ток возникает в проводнике тогда, когда вокруг проводника происходят какие-нибудь изменения магнитных сил, когда как-нибудь изменяется «магнитное поле».

**24. Спираль Румкорфа.** «Спираль» или «катушка» Румкорфа<sup>1</sup> представляет собой прибор, в котором при помощи явления индукции

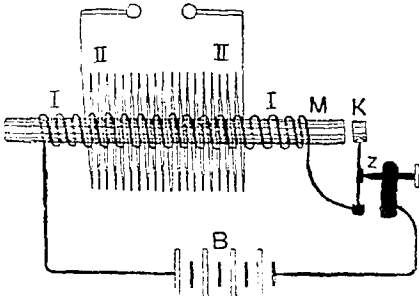


Схема спирали Румкорфа. I — первичная обмотка, M — железный сердечник, K — прерыватель, II — вторичная обмотка.

токи малой электродвижущей силы (например, от батареи элементов) преобразуются в токи большой электродвижущей силы («высокого напряжения»).

Существенные части спирали Румкорфа составляют:

1. Первичная обмотка из небольшого числа витков толстой проволоки. Внутри первичной обмотки вставлен железный сердечник (лучше в форме пучка железных проволок). В первичную обмотку пускается первичный ток, кото-

рый для получения индуктивных токов должен как-нибудь изменяться или прерываться.

2. Вторичная обмотка, намотанная поверх первичной, состоящая из большого числа витков тонкой проволоки. Чем больше витков, тем больше электродвижущая сила вторичного тока. Концы вторичной обмотки соединяются с электродами, между которыми получаются разряды вторичного тока.

3. Прерыватель. Если первичная обмотка соединена с источником постоянного тока, то для получения индуктивных токов его надо то замыкать, то размыкать. Это делается при помощи автоматических «прерывателей». Часто прерыватель спирали устраивается подобно прерывателю тока в электрическом звонке: при прохождении тока к намагнитившемуся сердечнику притягивается железный якорь с пружинкой, передвижение якоря размыкает ток, якорь оттяги-

<sup>1</sup> Прибор изобретен Генрихом Румкорфом (1803 — 1877), ученым конструктором физических приборов.

вается пружинкой назад и снова замыкает ток и т. д. (такой прерыватель изображен на схеме спирали Румкорфа на рис. 410).

В момент замыкания первичного тока во вторичной обмотке возникает ток обратного направления, в момент размыкания — прямого направления сравнительно с первичным током.

Вторичные токи при замыкании и при размыкании различны: при размыкании получается большая электродвижущая сила. Поэтому ток, имеющий направление, одинаковое с направлением первичного тока, преобладает. Это легко заметить по форме искры или разряда в гейслеровой трубке, введенной во вторичную цепь.

Явление разряда спирали Румкорфа имеет характер разрядов электростатических машин (большая разность потенциалов при малом количестве электричества).

Спираль Румкорфа изготовляются самых различных размеров, которые обыкновенно характеризуются размерами получающихся искр: от искры едва в миллиметр до искры в целый метр и больше.

Прерывистый ток от небольшой спирали можно пропустить через себя или через «цепь» людей. Очень слабые токи дают ощущение сотрясения, более сильные производят болезненную судорогу.

Токами от небольших спиралей пользуются для лечения некоторых болезней.

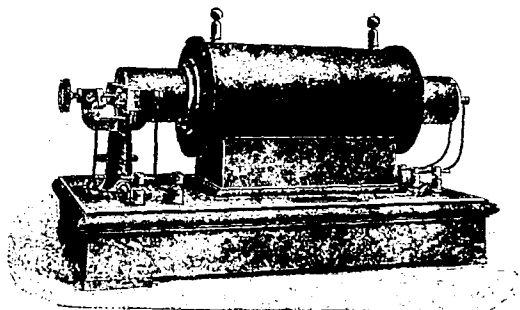


Рис. 411.

Внешний вид спирали Румкорфа.

? Попробуйте зарядить электроскоп, соединив его с одним из полюсов спирали.

? Зарядите лейденскую банку, соединив полюсы спирали с ее внутренней и внешней обкладкой.

Можно ли получить такие заряды непосредственно от той батареи, которая введена в первичную обмотку спирали?

? При близком расстоянии между электродами спирали искры получаются и при замыкании, и при размыкании, а при далеком расстоянии — только при размыкании. Почему?

**215. Телефон и микрофон.**<sup>1</sup> Явление индукции токов лежит в основе одного из замечательнейших применений электричества в технике, именно — телефона.

Помня, что всякое изменение окружающего магнитного поля вызывает индуктивные токи в проводниках, нетрудно проследить явления, происходящие при передаче звука телефоном.

Пусть имеются два магнита  $M$ , около которых сделаны обмотки  $K$ , соединенные проводами (рис. 412). Около каждого магнита помещается железная пластинка  $A$ . Если одна из пластинок колеблется, то приближаясь, то удаляясь

<sup>1</sup> τῆλε (тэле) — далеко, φωνή (фонэ) — звук, μικρός (микрос) — малый.

от магнита, то в моменты этих колебаний магнитное поле вокруг первой обмотки периодически изменяется; вследствие этого в обмотке возникают периодические

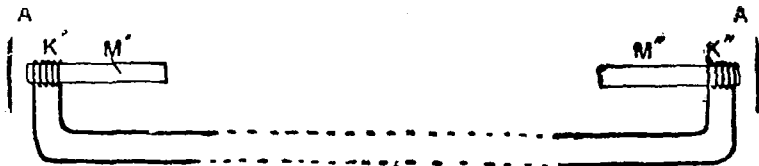


Рис. 412.

Схема телефона.

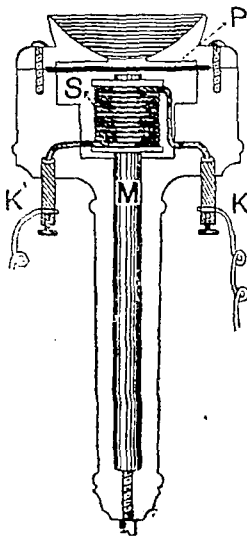


Рис. 413.

Разрез телефона. *P* — железная пластинка, *S* — катушка, *M* — магнит.

индуктивные токи, которые по проводам моментально передаются во вторую обмотку. Вследствие периодических токов во второй обмотке магнитная сила второго магнита то усиливается, то ослабляется, и вторая пластинка, притягиваясь к магниту то сильнее, то слабей, повторяет, хотя ослабленные, колебания первой пластинки.

Если железные пластинки легки и подвижны, то достаточно говорить перед первой пластинкой, чтобы звуковые колебания сотрясали ее, а вторая пластинка повторила бы эти сотрясения настолько подробно, что их можно было бы слышать, приложивши ухо.

Телефон в описанном виде пригоден для передачи лишь на небольшие расстояния.

Значительно лучше достигается передача звука при применении микрофона, построенного на весьма простом принципе, который легко уяснить себе при помощи модели, изображенной на рис. 414.

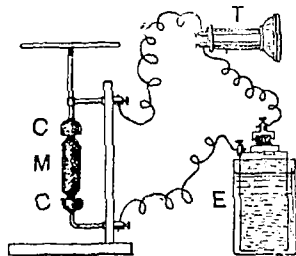


Рис. 414.

Схема микрофона.

Угольная палочка *M* с заостренными концами удерживается в вертикальном положении между угольными чашечками *C*, из которых верхняя соединена с пластинкой *P*. Палочка

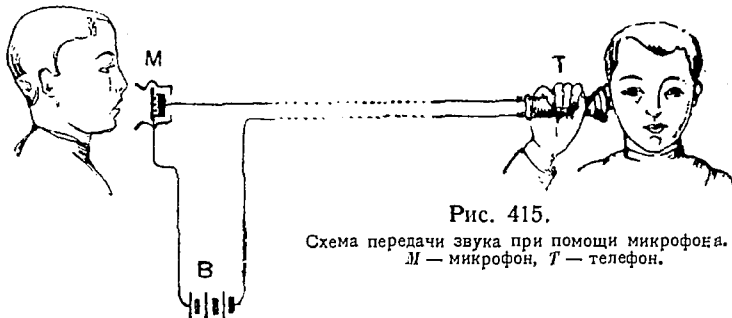


Рис. 415.

Схема передачи звука при помощи микрофона. *M* — микрофон, *T* — телефон.

с чашечками составляет часть цепи, в которую введен элемент *E* и телефон *T*. При малейшем сотрясении пластинки *P* сотрясается палочка *M*, вследствие чего сила тока в цепи изменяется, и в телефоне *T* получается звук значительной силы.

При чувствительной установке достаточно мухе пробежать по пластинке *P*, чтобы в телефоне был слышен громкий шорох. Резкие изменения силы тока получаются потому, что место соприкосновения углей составляет главную часть сопротивления цепи.

Описанный прибор представляет собой модель употребляющегося на практике соединения телефона с микрофоном. Говоря по телефону, вы звуком голоса сотрясаете соприкасающиеся кусочки угля, чрез которые проходит ток от батареи; получающиеся изменения тока производят сотрясения пластинки телефона там, где вас слушают.<sup>1</sup>

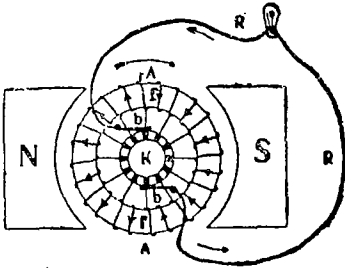


Рис. 416.

Схема динамомашины. При вращении якоря *A* получается ток, от щеток *b*, идущий по цепи *R*.

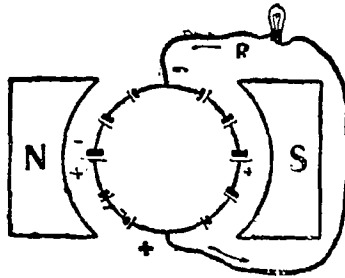


Рис. 417.

Вращающийся якорь динамомашины равносителен изображенной двойной батарее элементов.

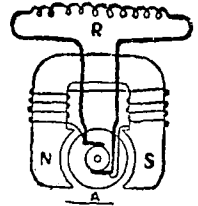


Рис. 418.

Схема динамомашины, от которой часть тока проходит в ее электромагнит. *R*—внешняя цепь.

**216. Понятие о динамомашине и моторе.** Явление индукции токов лежит в основе устройства тех могучих источников электричества, которыми широко пользуются для электрического освещения, передачи силы на расстояние и проч. Такими источниками являются так называемые динамо-электрические машины или просто динамо-машины.

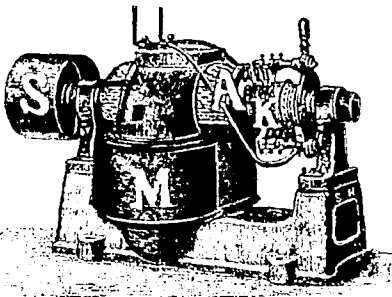


Рис. 419.

Внешний вид одного из типов динамомашин. *M* — электромагнит, *A* — якорь, *S* — шкив для ремня.

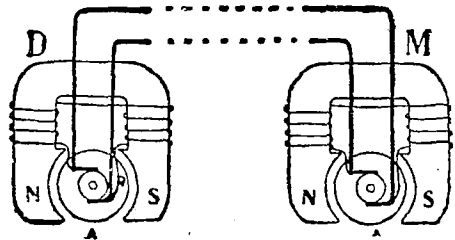


Рис. 420.

Схема электрической передачи силы. При вращении динамомашин *D* получается ток, приводящий в движение мотор *M*.

Ограничимся только поверхностным указанием на сущность устройства и действия динамомашин.

Главнейшие части динамомашин суть:

1. Магнит (электромагнит), создающий сильное магнитное поле.
2. Якорь, вращающийся в магнитном поле.

Якорь представляет собой витки проволоки, намотанной на железный сердечник. Эти витки наматываются с таким расчетом, чтобы при вращении якоря

<sup>1</sup> Телефон изобретен американцем Бэллем (в 70-х годах XIX века). Микрофон изобретен англичанином Юзом (1831 — 1900), которым изобретен также один из самых совершенных телеграфов.

в магнитном поле в витках получались возможно сильные индуктивные токи, которые собираются от отдельных витков вместе и посылаются во внешнюю цепь.

В больших динамомашинах часть тока, получаемого от динамомашинны, проходит в обмотку ее электромагнита, создающего магнитное поле (рис. 418).

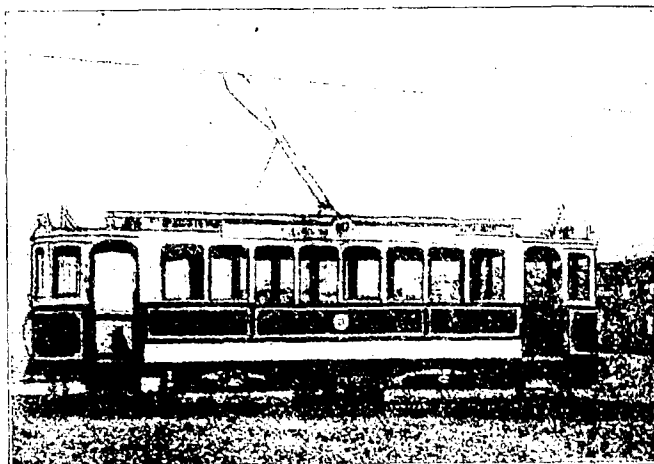


Рис. 421.

Внешний вид моторного вагона московского трамвая.

В динамомашине ток создается за счет того усилия, которое затрачивается при вращении якоря (правило Ленца). Вращение якорей больших динамомашин производится обыкновенно паровыми или водяными двигателями.

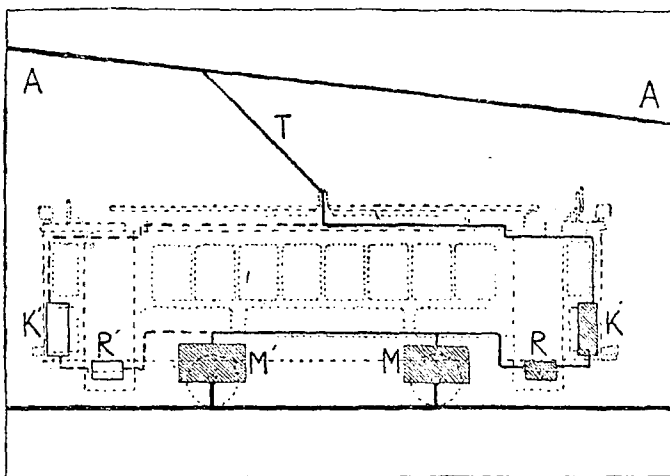
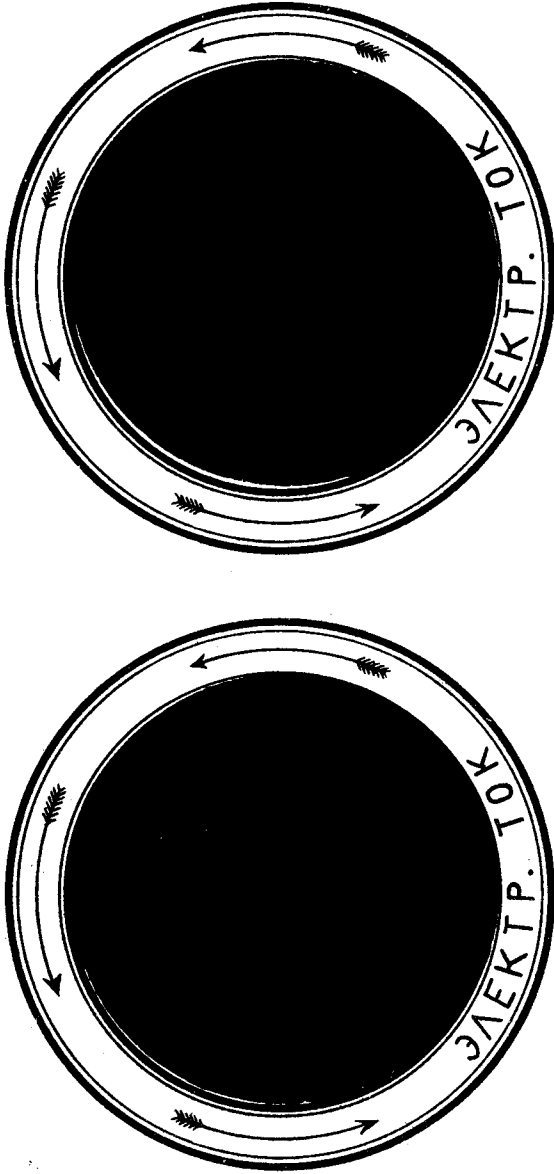


Рис. 422.

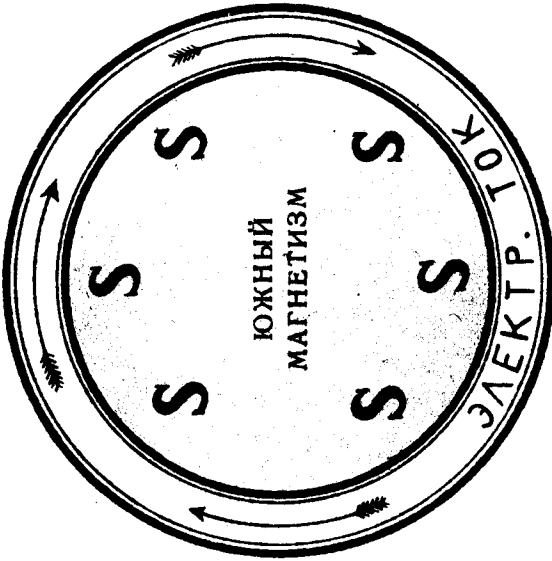
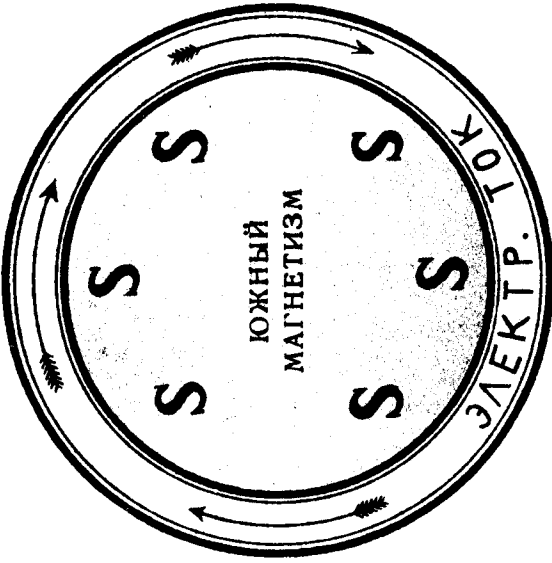
Схема моторного вагона. Ток от воздушного провода  $A$  идет по токопроводу  $T$ , через контроллер  $K$  (прибор для управления), через реостат  $R$  и через моторы  $M$  и  $M'$  в рельс (в землю).

Всякая динамомашина может служить и электромотором, т.е. двигателем, так как, если в якорь динамомашинны пустить ток из какого-нибудь постороннего источника, то, вследствие взаимодействия электромагнита

Диаграмма магнитных сил тока.



При изучении магнитных действий тока и электромагнитной индукции удобно пользоваться прилагаемыми кружками, которые следует вырезать из этого листа.





и токов в якоре, якорь будет вращаться и может приводить в движение какую угодно машину. Таким образом, посылая по проводам ток, можно удобно передавать силу (точнее, энергию) на большие расстояния.

Такая передача энергии особенно выгодна тогда, когда она позволяет на значительном расстоянии пользоваться каким-либо природным источником энергии (река, водопад, ветер). У водопада устраиваются динамомашины, приводимые в движение даровой силой падающей воды; ток, вырабатываемый динамомашинами, посылается по проводам на значительное расстояние (иногда на десятки, в некоторых случаях на сотни километров) и там может приводить в движение моторы.

В электрических «трамваях» ток, вырабатываемый динамомашинами на центральной станции, передается по проводам в моторы, находящиеся под вагоном, и вращающие колеса (рис. 421 и 422).

#### IV. Электрическая энергия.

**217. Закон сохранения энергии.** В конце главы V, посвященной изложению тепловых явлений (стр. 194), мы упоминали о замечательном законе, которому подчиняются все физические явления, именно — о законе сохранения энергии.

Сущность этого закона заключается в том, что при всех явлениях энергия тел, т.-е. их способность производить какое-нибудь действие, какую-нибудь работу, никогда не получается «из ничего» и никогда не исчезает «в ничто»: все явления суть «превращения» одних видов энергии в другие, при чем количество энергии остается неизменным.

Попробуем проследить справедливость этого закона для тех электрических явлений, с которыми мы ознакомились. Мы, правда, не сумеем обнаружить, что количество энергии в точности остается неизменным, так как не ознакомились здесь с точными измерениями электрической энергии, но мы, по крайней мере, можем проследить, что для получения электрической энергии всегда требуется затрата энергии какого-нибудь другого вида и, наоборот, исчезновение электрической энергии всегда создает какой-нибудь другой вид энергии.

#### 218. Энергия электрических зарядов.

Наэлектризованное тело или заряженный конденсатор представляют собой некоторый запас энергии; мы знаем, что эта энергия может превратиться в энергию движения (при электрических притяжениях и отталкиваниях) или в теплоту (при искровых разрядах).

Для того, чтобы наэлектризовать тело, непременно нужно затратить какую-нибудь энергию. Натирая кусок каучука или вертя электрическую машину, мы затрачиваем усилие, часть которого идет на зарядение тел электричеством (другая значительная часть усилия в этих случаях уходит на нагревание трущихся поверхностей).

При добывании электрических зарядов при помощи электрофора можно, пожалуй, подумать, что усилие тратится только при первоначальном заряде пластины; однако, всмотревшись внимательнее, нетрудно сообразить, что некоторое усилие затрачивается и при получении каждого наведенного заряда на крышке. Действительно, поднимая крышку, мы преодолеваем не только ее тяжесть, но,

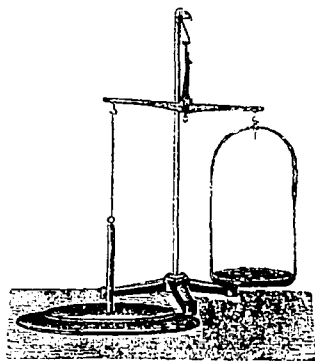


Рис. 423.

При помощи весов измеряется сила, потребная для поднятия крышки электрофора.

когда крышка заряжена, преодолеваем еще и силу притяжения противоположных зарядов на крышке и на круге.

Это ясно обнаруживается на следующем опыте. Подвесим крышку электрофора к весам и уравновесим ее грузом чуть-чуть большим ее веса. Тогда гири будут перетягивать крышку, если она не заряжается (отрицательный заряд не отведен к земле), но гири не перетягивают крышки, когда она заряжается (отрицательный заряд отведен к земле).

**219. Энергия гальванического элемента.** Всякий гальванический элемент представляет собой источник энергии, в котором химическая энергия превращается в энергию электрического тока. Подобно тому как в паровой машине затрачивается энергия сгорающего топлива, в гальваническом элементе затрачивается химическая энергия окисляющегося цинка.

Мы знаем, что энергия электрического тока может обратно превращаться в химическую энергию при явлении электролиза.

Реакция, производимая электрическим током, может иногда проходить в обратном направлении, при чем снова можно получить превращение химической энергии в электрическую. Такие превращения энергии электрической в химическую и обратно происходят при «зарядке» и «разрядке» аккумуляторов (стр. 259).

**220. Превращение энергии тока в теплоту.** Явление электрического тока представляет собой непрерывную затрату электрической энергии, которая при этом может обращаться в химическую энергию (электролиз), в магнитную (например, в момент намагничивания железа), в энергию механического движения (электромотор) и, наконец, в тепловую энергию (нагревание проводников).

Если вся электрическая энергия целиком превращается в теплоту, если никаких других видов энергии при этом не получается, то количество получающейся теплоты определяется законом Джоуля-Ленца (§ 190), который представляет собой частный случай закона сохранения энергии и дает возможность выражать электрическую энергию в единицах тепловой энергии — в калориях.<sup>1</sup>

**221. Термоэлектричество.** Электрический ток всегда более или менее нагревает проводник, по которому он идет: энергия тока непременно, хотя отчасти, обращается в теплоту. Обратное превращение — превращение теплоты непосредственно в электрический ток — наблюдается в явлении так называемых «термоэлектрических» токов.

Представьте себе замкнутое кольцо, составленное из двух различных металлов, спаянных в двух местах. Если места этих «спаев» имеют различные

<sup>1</sup> Единицей энергии (работы) электрического тока служит энергия, затрачиваемая в 1 секунду током в 1 ампер при электродвижущей силе в 1 вольт. Эта единица энергии называется джоулем.

На основании закона Джоуля-Ленца

$$1 \text{ джоуль} = 1 \text{ вольт} \cdot 1 \text{ ампер} \cdot 1 \text{ секунда} = 0,24 \text{ мал. калория}.$$

Припоминая, что 1 бол. калория соответствует механической работе в 425 килограмметров (см. примечание на стр. 195), мы можем теперь установить соотношения между тремя единицами, служащими для измерения энергии различных видов: джоуль, калория, килограмметр:

$$\begin{aligned} 1 \text{ джоуль} &= 0,24 \text{ м. калор.} = 0,102 \text{ kg-m.} \\ 4,17 \text{ джоуля} &= 1 \text{ мал. калор.} = 0,424 \text{ kg-m.} \\ 9,8 \text{ джоуля} &= 2,25 \text{ м. калор.} = 1 \text{ kg-m.} \end{aligned}$$

Мощность, или работоспособность машин определяется количеством килограмметров работы в каждую секунду. Употребительной единицей мощности служит лошадиная сила, равная  $75 \frac{\text{kg-m}}{\text{sec}}$  (§ 73).

температуры, то в кольце возникает ток, называемый термоэлектрическим током.

Явление термоэлектрического тока нагляднее всего наблюдать на так называемом термоэлементе Зеебека.<sup>1</sup> Элемент этот состоит из пластинки сурьмы, на которую припаяна изогнутая пластинка меди (рис. 424); в промежутке между пластинками помещается магнитная стрелка. При нагревании одного из спаев стрелка отклоняется, обнаруживая присутствие тока, направление которого в нагреваемом спае получается от меди к сурьме. Таким образом, элемент Зеебека представляет собой вместе и источник тока, и цепь, и гальванометр.

Если спаять концы двух проводов из различных металлов, а другие их концы соединить с чувствительным гальванометром, то при нагревании или при охлаждении спая гальванометр обнаруживает ток в ту или другую сторону. Такой термоэлемент может служить термометром, так как по отклонению гальванометра можно судить о температуре спая (рис. 425).

Такие термоэлектрические термометры («термоэлектрические иглы») применяются во многих таких случаях, где ртутные термометры непригодны; напри-

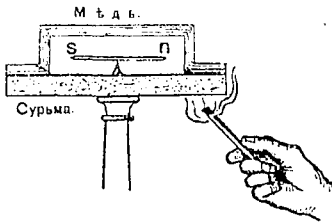


Рис. 424.

Термоэлектрический элемент Зеебека. При нагревании одного спая получается ток.

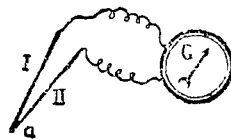


Рис. 425.

Схема термоэлектрического термометра («иглы»). I и II — разнородные металлы, спаянные в точке a. G — гальванометр, обнаруживающий токи при нагревании спая a.

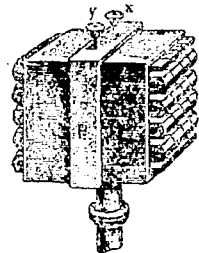


Рис. 426.

Термоэлектрический «стобик» из звеньев вискута и сурьмы.

мер, для измерения очень высоких и очень низких температур, для измерения температур очень небольших тел, которые не изменяют заметно своей температуры, обмениваясь теплотой с маленьким спаем тонких проволок, но сильно изменили бы при соприкосновении с шариком ртутного термометра.

Электродвижущие силы термоэлементов очень малы (сотые и тысячные доли вольта). Наибольшую электродвижущую силу дает элемент из висмута и сурьмы.

Для увеличения электродвижущей силы несколько термоэлементов соединяются в батарею, которая составляется из спаянных звеньев двух различных

Мощность электрического тока определяется числом джоулей энергии, затрачиваемым каждую секунду. Мощность в 1 джоуль в секунду служит единицей мощности и называется мощностью в 1 уатт.

Для определения мощности тока в уаттах надо число вольт помножить на число ампер. Например, мощность тока вкалильной лампе 0,5 А при 120 В равна 0,5 А · 120 В = 60 уатт.

В технике чаще употребляются более крупные единицы мощности гектоуатт = 100 уатт и килоуатт = 1000 уатт.

Зная соотношение между килограммометром и джоулем, нетрудно установить соотношение между лошадиной силой и уаттом:

$$1 \text{ лошад. сила} = 75 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{sec}} = 735 \frac{\text{джоуль}}{\text{sec}} = 735 \text{ уатт.}$$

$$1 \text{ килоуатт} = 1000 \text{ уатт} = 1000 \frac{\text{джоуль}}{\text{sec}} = 1,36 \text{ лош. силы.}$$

<sup>1</sup> Зеебек (1770 — 1821) — немецкий физик, открывший термоэлектрические явления.

металлов, следующих друг за другом попеременно. Если нагреть спан через один, то в каждом спане получается электродвижущая сила одного направления.

Такую батарею представляет собой «термоэлектрический столбик», состоящий из звеньев висмута и сурьмы, сложенных стопочкой так, что в одну сторону обращены все четные спаны, а в другую нечетные. Если концы столбика соединить с чувствительным гальванометром, то достаточно ничтожной разности температуры между четными и нечетными спаями, чтобы получить заметный ток. Термоэлектрическими столбиками в некоторых случаях весьма удобно пользоваться в качестве чувствительных термометров.

Большие термоэлектрические батареи, дающие сравнительно сильные токи, мало употребительны, так как представляют собой слишком незначительный источник тока. Лишь ничтожная часть затрачиваемой в них тепловой энергии превращается в энергию тока, остальная же энергия рассеивается, оставаясь в форме теплоты.

**222. Электромагнитные явления.** Возьмем для примера такой простой случай возбуждения индуктивного тока: пусть магнит приближается к катушке; по катушке возникает индуктивный ток. Согласно с правилом Ленца (§ 212), при этом взаимодействие возникшего тока и магнита таково, что получается противодействие производимому перемещению, т. е. магнит и катушка отталкиваются друг от друга. Энергия индуктивного тока получается за счет той механической энергии, которая затрачивается на преодоление отталкивания при сближении магнита и катушки. В этом явлении, следовательно, получается преобразование энергии движения в энергию тока.

Если в катушку пустить ток от постороннего источника, то вследствие взаимодействия катушки и магнита будет отталкивание и придет в движение.

В этом случае часть энергии тока превратится в энергию движения магнита.

В несколько более сложной форме подобное превращение энергии движения в энергию тока происходит в динамомашинках, а обратное превращение энергии тока в движение — в электромоторах.

**223 Рассеяние энергии.** Для примера рассмотрим следующий ряд превращений энергии: паровая машина центральной станции приводит в действие динамомашину, ток от которой потребляется для освещения.

В топке парового котла химическая энергия топлива и кислорода превращается в теплоту; в паровой машине теплота превращается в энергию движения машины; в динамомашине энергия движения превращается в энергию тока, который идет вкалильные лампы, где энергия тока превращается в теплоту и свет, рассеивающиеся в окружающем пространстве.

Если считать количество теплоты, вырабатываемое в топке парового котла, и все количество энергии, получающееся в калильных лампах, то окажется, что в лампах получается несравненно меньше энергии, чем было затрачено при горении топлива.

По мере превращений значительная часть энергии «рассеялась», затратившись бесполезно.

Из парового котла часть теплоты рассеялась, не достигнув машины; в машине только небольшая часть теплоты обратилась в энергию движения, а остальная теплота бесполезно рассеялась, оставшись в виде теплоты (это самая большая потеря при рассматриваемых превращениях); движение машины только частью пошло на образование электрического тока, другая часть энергии движения ушла на преодоление неизбежных «вредных сопротивлений» (трение, сопротивление воздуха и пр.); наконец, часть энергии тока ушла на бесполезное нагревание проводов, ведущих от динамомашинки к лампочкам.

На этом примере превращений энергии мы проследили то, что наблюдается при всевозможных явлениях: часть энергии, превращаясь в теплоту, рассеивается в окружающем пространстве, еще не дав нам той формы энергии, которая была нам нужна.

Невозможно построить такую машину, которая отдавала бы всю ту энергию, которая затрачивается на ее действие: часть энергии, не пропадая, все же непременно бесполезно рассеивается.

**224. «Вечный двигатель» невозможен.** С давних времен изобретатели увлекались заманчивой мыслью построить «вечный двигатель» (perpetuum mobile), т. е. такой двигатель, который мог бы двигаться и приводить в движение машины «сам собой».

Изобретатели пытались, например, устроить такое соединение колес, рычагов, магнитов и т. д., которое бы без конца вертелось действием силы тяжести.

Несмотря на все ухищрения, все такие попытки всегда оставались безуспешными.

В настоящее время только очень мало сведущие люди еще верят в возможность разрешить задачу построения «вечного двигателя».

Совершенно невозможность «вечного двигателя» сделалась очевидной с тех пор, как был выяснен «закон сохранения энергии», проверенный на бесчисленном множестве разнообразнейших явлений и оправдавшийся везде без исключения.

«Вечный двигатель» невозможен потому, что представлял бы собой невозможное создание энергии «из ничего».

Различные простые и сложные проекты «вечных двигателей» иногда представляют собой интересные задачи для решения вопроса, почему такой двигатель не может быть «вечным».

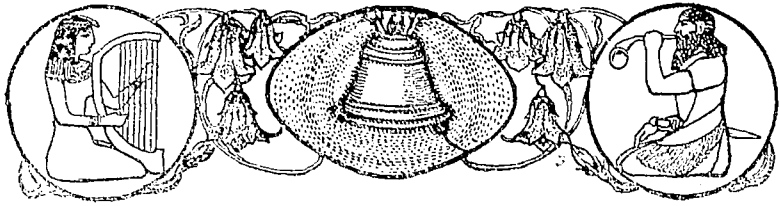
В природе мы видим немало двигателей «вечных», с точки зрения человека: реки, водопады, ветры и т. п.; однако, нетрудно сообразить, что на поддержание их движения непрестанно затрачивается энергия, приносимая лучами солнца.

**Закон сохранения энергии.** охватывающий все известные явления природы, впервые был во всей полноте выяснен в 1846 г. немецким ученым Гельмгольцем.



Рис. 427.

Герман фон-Гельмгольц (1822 — 1894), немецкий физик и физиолог; один из величайших естествоиспытателей XIX века. В элементарной учебной книге можно только упомянуть об его обширных глубоких исследованиях в различных областях физики, главным образом в области явления звука, света и электричества. Одной из важнейших его научных заслуг является полное выяснение закона сохранения энергии.



## ГЛАВА ВОСЬМАЯ.

### ЗВУК.

(Акустика <sup>1</sup>).

**225. Различные звуки.** Все, что мы слышим своими ушами, мы вообще называем звуками. Бесчисленно разнообразные звуки можно разделить на два разряда:

I. Музыкальные, правильные звуки или тоны, как: звук скрипки, рояля, камертона, голос певца и т. п., в которых ясно улавливается более или менее продолжительная определенная нота, звук определенной высоты.

II. Неправильные звуки, или шумы, как: треск, удар, говор, шелест и т. п., в которых не слышится никакой определенной ноты.

Мы, главным образом, будем рассматривать свойства музыкальных звуков.

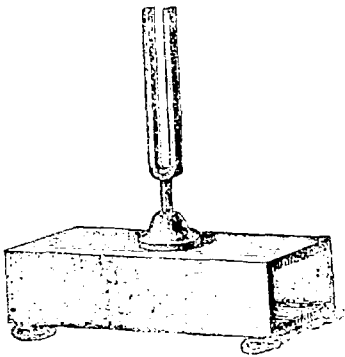


Рис. 428.

Внешний вид камертона с резонирующим ящиком.

В разнообразных музыкальных звуках мы различаем: 1) силу звука (звуки громкие и тихие), 2) высоту

звука (звуки высокие и низкие, например, дискант и бас), 3) тембр звука, т. е. ту окраску, ту особенность звука, благодаря которой при одинаковой силе и при одинаковой высоте ноты мы различаем звуки скрипки, рояля, трубы, человеческого голоса и т. д.

Между музыкальными тонами и шумами нет совершенно определенного, резкого различия: во многих шумах можно все же улавливать ноты различной высоты. Например, складывая ладони различным образом, можно хлопать так, что ясно заметна разница в высоте звука.

Возьмите несколько одинаковых стаканов и налейте в них воду до различной высоты так, чтобы при ударах получалась музыкальная гамма.

<sup>1</sup> Греческое *ἀκουή* (акуэ) — слышу.

В учении о звуке приходится делать некоторые указания, касающиеся теории музыки. Читатели, совершенно знакомые с музыкальными терминами и не интересующиеся музыкой, могут пропускать эти указания.

Можно подобрать деревянные брусочки, которые при ударах о стол дают настолько ясные ноты, что ими можно наигрывать мотивы.

**226. Камертон.** При изучении звука очень удобными источниками музыкальных тонов являются камертоны, к которым для усиления звука присоединяются иногда резонирующие ящики, или резонаторы.<sup>1</sup>

Если по камертону провести смычком или ударить мягким молоточком, камертон издает ясный продолжительный звук, постепенно ослабляющийся, но неизменно сохраняющий свою высоту, свою ноту.

**227. Колебания звучащих тел.** Наблюдая звучащий камертон, легко проследить, что во время звука «ножки» камертона колеблются, дрожат. При сильном звуке эти колебания заметны глазом, так как видно, что концы ножек приобретают неясные очертания. При слабом звуке колебания камертона можно обнаружить, поднося, например, к ножке маленький шарик на нитке; коснувшись звучащего камертона, шарик сильно отбрасывается. Если камертон зажать рукой, звук совершенно прекращается.

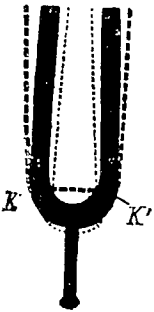


Рис. 429.

Схема колебаний ножек звучащего камертона.

Нетрудно подобными же способами проследить колебания звучащей струны, колокольчика и т. п.

В свистке, во флейте, в различных трубах, во всех так называемых «духовых» инструментах звук порождается колебаниями столба воздуха внутри стенок инструмента.

? Попробуйте насыпать мелкого песку на ножки звучащего и незвучащего камертона. Какая получается разница? Опустите концы ножек звучащего камертона в воду. Чем проявляются при этом колебания?

? Как изменяется звон колокольчика, если его зажимать рукой?

? Попробуйте надеть согнутый кусочек бумаги («гусарчика») на звучащую струну. Как изменяется вид струны, когда она звучит?

**228. Колебательное движение.** Чтобы ознакомиться с некоторыми новыми терминами, относящимися к колебаниям, рассмотрим легко наблюдаемые медленные колебания маятника, т.-е. тяжелого шарика, подвешенного на нитке (рис. 430).

Если шарик отклонить от положения равновесия и пустить, он будет колебаться от точки  $A'$  до  $A''$ . При небольших колебаниях и при длинной нити дугу  $A'A''$  можно считать за прямую. Прохождение пути  $AA'A''A$  (от  $A$  в  $A'$ , затем опять через  $A$  в  $A''$  и снова в  $A$ ) будем называть полным колебанием шарика.

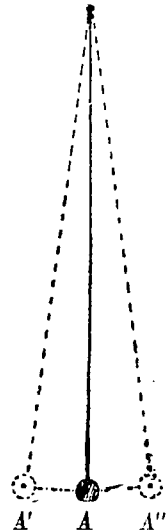


Рис. 430.

Маятник.  
 $AA'$  — амплитуда колебаний.  
 $A'A''$  — размах колебаний.

<sup>1</sup> Действие резонаторов выясним несколько ниже (стр. 309).

Половину полного колебания (например, по пути  $AA'A$  или по пути  $A'AA''$ ) будем называть половинным или простым колебанием.

Расстояние  $AA'$  (или  $AA''$ ), т.-е. то наибольшее расстояние, на которое шарик удаляется от положения равновесия, называется амплитудой колебания, а расстояние  $A'A''$ , т.-е. расстояние между двумя крайними положениями шарика, называется размахом колебания.

Быстроту колебаний можно определять или частотой колебаний, т.-е. числом колебаний (полных) в одну секунду ( $N$ ), или периодом колебаний, т.-е. продолжительностью одного (полного) колебания ( $T$ ).

Например, можно сказать, что маятник делает 3 колебания в секунду ( $N=3$ ), или что период колебания маятника равен  $\frac{1}{3}$  секунды ( $T = \frac{1}{3} \text{ sec}$ ).

Нетрудно сообразить, что для одного и того же колебания всегда

$$T = \frac{1}{N} \text{ или } N = \frac{1}{T}.$$

Колебания, подобные колебаниям нашего шарика, но гораздо более быстрые, совершает каждая точка ножки звучащего камертона.

**229. Сила и высота звука.** Чтобы проследить колебания камертона, прикрепим (можно приклеить воском) к концу ножки тонкую иглоку.

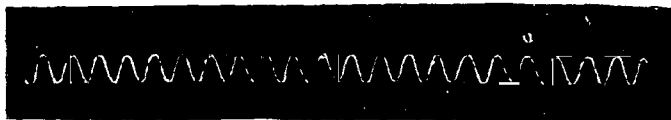


Рис. 431.

Елннстая кривая, которая вычерчивается звучащим камертоном на лакопченной пластинке.

Если при звучании камертона провести концом этой иглоки по лакопченной пластинке, то на пластинке остается след в виде волнистой линии (рис. 431).

По глубине изгибов этой линии мы можем судить об амплитуде или (размахе) колебаний, а по числу изгибов можем составить себе приблизительное представление о частоте колебаний.

Получая такие извилистые кривые от камертона, звук которого постепенно замирает, заметим, что по мере ослабления звука извилины получаются все менее и менее глубокие (рис. 432).

Звук тем сильнее, чем больше амплитуда колебаний звучащего тела.

Из того, что при замирании звука высота его остается неизменной (камертон дает одну и ту же ноту), заключаем, что высота звука не зависит от амплитуды колебания.



Получая кривые от разных камертонов, дающих разные ноты, заметим, что чем выше нота, тем больше изгибов получается на одной и той же длине (предполагается, что игла проводится по пластинке во всех случаях одинаково быстро).

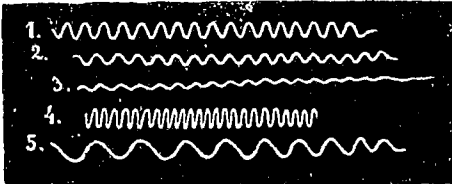


Рис. 432.

1, 2 и 3 — кривые от камертона, звук которого замирает; 4 — кривая от камертона, дающего более высокий звук (в октаву); 5 — кривая от камертона, дающего более низкий звук (в октаву ниже первого).

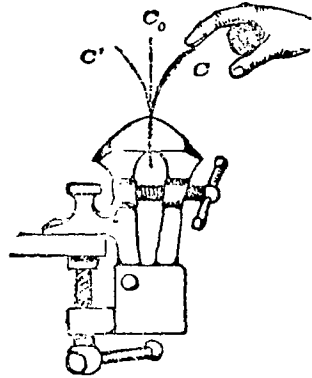


Рис. 433.

Колебания упругой пластинки.

Чем чаще колебания (чем больше число колебаний в секунду), тем звук выше.

? Зажмите в тиски стальную пластинку, сначала настолько длинную, чтобы она давала медленные колебания, за которыми можно следить глазами. Если пластинку укорачивать, колебания убудутся. При достаточном укорачивании пластинка издает звук. Как изменяется высота звука при дальнейшем укорачивании? При каких условиях пластинка дает более сильные и более слабые звуки?

? Если на центробежной машине вертеть колесо с мелкими зубчиками и приложить к зубцам картонную пластинку, то пластинка, быстро соскакивая с зубца на зубец, издает звук. Как изменяется высота звука, если колесо вертеть быстрее и медленнее?

? Как велики амплитуды различных точек колеблющейся пластинки или струны?

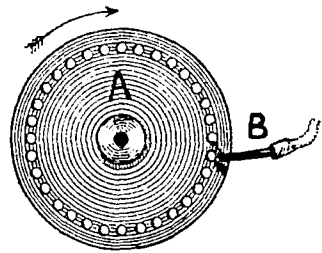


Рис. 434.

Сирена. Струя воздуха из трубки В попадает в отверстия вертящегося круга А.

**230. Измерение числа колебаний.**  
**Сирена.** Если бы, чертя кривые при помощи камертона, мы измеряли промежутки времени, в течение которых чертились кривые, то по числу изгибов мы могли бы вычислить число колебаний камертона в секунду.

Такое измерение легко сделать, если камертон заставить чертить по закомоченному валику, равномерно вращающемуся с известной скоростью.

Проще можно сосчитать число колебаний, получая звуки при помощи «сирены». Сирена в простейшей форме представляет собой диск с маленькими отверстиями, расположенными по кругу (часто на одном диске делается несколько рядов отверстий).

Если, зреть такой диск, пустить против отверстий сильную тонкую струю воздуха, то вследствие частых перерывов струи получается звук, число колебаний которого нетрудно вычислить,

В самом деле, нетрудно сообразить, что число перерывов струн воздуха в одну секунду равно числу отверстий в круге, помноженному на число оборотов диска в секунду.

При помощи такой сирены можно сосчитать число колебаний любого звука. Для этого скорость вращения сирены подбирают так, чтобы она звучала в ноту одинаковой высоты с измеряемым звуком. Тогда измеренное число колебаний в сирене равно числу колебаний исследуемого звука.

Звуки средней высоты соответствуют сотням колебаний в секунду.

Существуют более удобные, но зато и более сложные сирены, в которых самое вдвухвание воздуха производит вращение диска с отверстиями и, кроме того, вращает «счетчик», т.-е., прибор, показывающий число оборотов диска.

**231. Музыкальные интервалы.** При помощи сирены не только легко убедиться, что звук тем выше, чем чаще колебания, но можно также сосчитать, во сколько раз увеличивается число колебаний при определенном повышении звука.

Так, например, если в сирене имеется два ряда отверстий, в одном ряду отверстий вдвое больше, чем в другом, то легко убедиться, что при увеличении числа колебаний вдвое получается та же нота октавой выше.

Отношение чисел колебаний двух музыкальных тонов называется интервалом этих тонов. В нашем примере октава соответствует интервалу  $2 : 1 = 2$ .

При помощи сирен могут быть определены интервалы для различных тонов. При этом выясняется замечательный закон, чем проще интервал (чем проще дробь, выражающая отношение чисел колебания), тем благозвучнее сочетание тонов.

В пределах одной октавы наиболее благозвучно мажорное трезвучие do-mi-sol, соответствующее интервалам:

$$1 : \frac{5}{4} : \frac{3}{2}$$

(т.-е. число колебаний mi составляет  $\frac{5}{4}$ , а число колебаний sol составляет  $\frac{3}{2}$  от числа колебаний do).

Приведем, не вдаваясь в подробности, интервалы гаммы, лежащей в основе современной европейской музыки.



sol <sub>1</sub>	la <sub>1</sub>	si <sub>1</sub>	do <sub>2</sub>	re <sub>2</sub>	mi <sub>2</sub>	fa <sub>2</sub>	sol <sub>2</sub>	la <sub>2</sub>	si <sub>2</sub>	si <sub>1</sub>	do <sub>1</sub>	re <sub>1</sub>	mi <sub>1</sub>	fa <sub>1</sub>
			1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2				
			261	294	326	348	392	435	489	522				

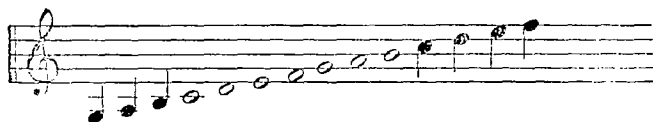


Рис. 435.

Числа колебаний и нотные обозначения, соответствующие средней (перво) октаве рояля.

do	: do, прима	. . . . .	1 : 1
re	: do, секунда	. . . . .	$\frac{9}{8} : 1$
mi	: do, большая терция	. . . . .	$\frac{5}{4} : 1$
fa	: do, кварта	. . . . .	$\frac{4}{3} : 1$
sol	: do, квинта	. . . . .	$\frac{3}{2} : 1$
la	: do, секста	. . . . .	$\frac{6}{5} : 1$
si	: do, септима	. . . . .	$\frac{7}{4} : 1$
do'	: do, октава	. . . . .	2 : 1

Интервалы  $re' : do$ ,  $mi' : do$  и т. д. для следующей октавы в два раза больше чем для соответствующих нот в первой октаве. <sup>1</sup>

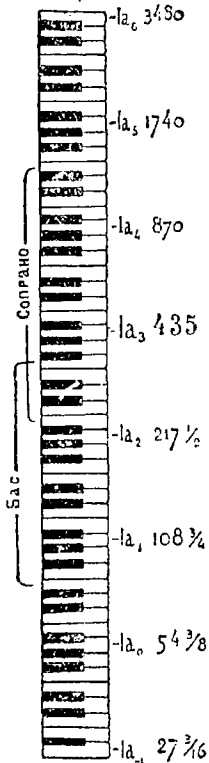


Рис. 436.

Числа колебаний, соответствующие различным нотам  $la$  на рояле.

? Если сирена имеет четыре ряда отверстий, в которых числа отверстий равны 8, 10, 12 и 16, то, переводя струю воздуха с одного ряда на другой при равномерном вращении диска, мы получим благозвучную последовательность звуков (как do-mi-sol-do').

Почему должны получиться такие интервалы?

? Во сколько раз должно увеличиться число колебаний (в секунду), чтобы получилась нота на две октавы выше?

? Какую ноту дают колебания, число которых втрое больше числа колебаний do?

? Какую ноту дают колебания, число которых втрое меньше числа колебаний do?



Рис. 437.

Нотные обозначения различных  $la$ .

### 232. Числа колебаний различных звуков.

При помощи сирен и других приборов, позволяющих определять числа звуковых колебаний, найдено, что человеческое ухо воспринимает впечатление звука только тогда, когда число колебаний не меньше 16 и не больше 40 000 (приблизительно) в секунду.

Если число колебаний меньше 16 или больше 40 000, то впечатления звука не получается.

<sup>1</sup> Чтобы можно было от каждой из нот гаммы получить свою гамму с той же последовательностью интервалов, необходимо дополнить ряд тонов д и э з а м и (♯) и б е м о л я м и (♭). Диэз какой-нибудь ноты соответствует числу колебаний этой ноты, помноженному на  $\frac{25}{24}$ , а бемоль — числу колебаний ноты, разделенному на  $\frac{25}{24}$ .

В рояле одна и та же промежуточная нота (черная клавиша) служит диэзом предыдущей ноты и бемолем последующей.

Вообще в рояле только приблизительно соблюдена указанная выше последовательность интервалов. В точности верны только октавы, все же остальные интервалы слегка расстроены, чтобы получить равные интервалы между всеми полутонами в хроматической гамме.

Числа колебаний тех тонов, которые производятся музыкальными инструментами, заключаются круглым числом между 30 колебаниями и 4000 колебаний.

Семь октав рояльной клавиатуры (рис. 436) охватывают почти все эти тоны.<sup>1</sup>

Числа колебаний тонов, воспроизводимых человеческими голосами, заключаются приблизительно в пределах от 80 колебаний (низкая басовая нота) до 1300 колебаний (высокая нота сопрано).

Единообразная настройка музыкальных инструментов производится по «н о р м а л ь н о м у» камертону, дающему ноту  $1a_3$  (средняя, «первая» октава рояля), соответствующую 435 колебаниям в секунду.

**233. Тембр звука.** Мы уже упоминали, что кроме силы и высоты тонов наше ухо различает звуки по их тембру.

Действительно, одна и та же нота, взятая на рояле, на скрипке, человеческим голосом и т. д., звучит совершенно различно, хотя бы она была взята с одинаковой силой. Мы не только хорошо различаем оттенки звука различных инструментов и различных певцов, но, кроме того, различаем у одного и того же певца на одной и той же ноте звуки на различные гласные. Звуки А, О или Е звучат различно при одинаковом голосе, при одинаковой ноте и при одинаковой силе.

Эти разнообразные оттенки («окраски») музыкальных звуков мы называем тембрами.

Подробные исследования, которых мы здесь излагать не будем, привели к следующему объяснению различия звуков по тембру.

Всякий звук, кроме главной «основной» ноты, по которой мы оцениваем его высоту, содержит в себе несколько более слабых и более высоких «дополнительных» нот («бертонов»).

Различие в тембрах получается вследствие того, что дополнительные тоны, примешивающиеся к основному тону, в различных звуках различны по своему составу и по своей силе.

Так, например, если на скрипке и на флейте берется одна и та же нота, то основные тоны этих двух звуков одинаковы, но дополнительные тоны в звуке скрипки и в звуке флейты различны; мы слышим звуки одинаковой высоты, но различного тембра.

Наиболее простым, не содержащим никаких дополнительных тонов, оказывается звук камертона с резонирующим ящиком.

**234. Распространение колебаний. Волны.** Возьмите возможно более длинную веревку и, закрепив один ее конец, быстро встряхните другой ее конец вверх и вниз. Колебание от вашей руки будет распространяться по веревке, по ней побежит волна; состоящая из выгиба кверху и книзу (рис. 438). Эта волна скоро прибежит к месту прикрепления веревки и оттуда, отразившись, побежит обратно к руке. Но представьте себе, что веревка тянется

<sup>1</sup> Наши цифровые значки при нотах различных октав соответствуют следующим названиям октав, принятым в музыке:

— 1	0	1	2	3	4	5	6
Суб-контр-октава.	Контр-октава	Большая октава	Малая октава	Первая октава	Вторая октава	Третья октава	Четвертая октава

без конца. Тогда, если непрерывно колебать ее свободный конец, волны побегут по веревке одна за другой (рис. 439), при чем в секунду будет получаться столько волн, сколько колебаний делает рука ( $N$ ).

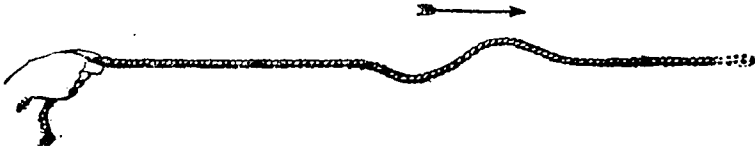


Рис. 438.

Одна волна (поперечная), бегущая по веревке.

То расстояние, на которое распространяются волны в 1 сек., будем называть **скоростью** распространения колебаний ( $V$ ). Ясно, что на этом расстоянии должно укладываться столько волн,

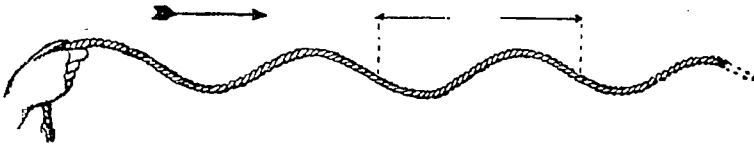


Рис. 439.

Поперечные волны, бегущие по веревке.  $l$  — длина одной волны.

сколько их образуется в 1 сек. (рис. 440). Обозначая длину каждой волны через  $l$ , получаем равенство:

$$V = N \cdot l.$$

Скорость распространения колебаний равна длине волны, помноженной на число колебаний.

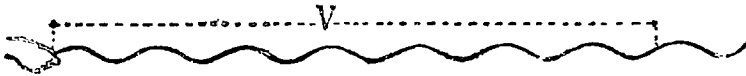


Рис. 440.

Если в течение секунды колебание распространяется на расстояние  $V$ , то на этом расстоянии получается столько волн, сколько раз в секунду колеблется рука.

Такие волны, какие получаются на веревке, называются **поперечными** волнами: каждая точка веревки колеблется **поперек** того направления, по которому бегут волны.

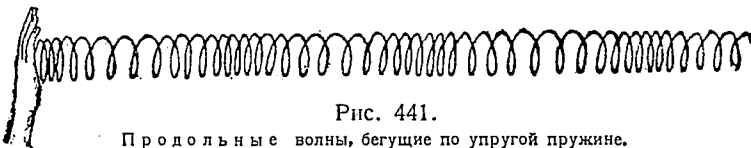


Рис. 441.

Продольные волны, бегущие по упругой пружине.

Представьте теперь, что вместо веревки имеется длинная подвешенная горизонтально пружина, и что вы рукой толкаете один ее конец вперед и назад. По пружине тоже побегут волны, состоящие из сгу-

щений и разрежений завитков пружины. Такие волны называются **продольными волнами**: каждый завиток колеблется в **доль** того направления, по которому бегут волны.

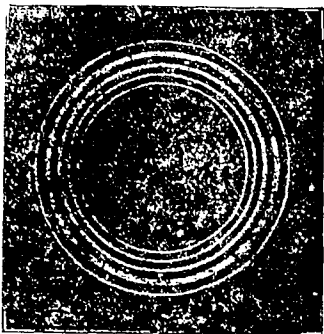


Рис. 442.

Волны (поперечные), расходящиеся по поверхности воды.

Если всколыхнуть в каком-нибудь месте спокойную поверхность воды, то по воде волны (поперечные) кругами расходятся во все стороны (рис. 442).

Колебания **звучащего** тела порождают в воздухе продольные волны, состоящие из последовательных сгущений и разрежений воздуха. Волны эти распространяются по всему окружающему воздуху во все стороны.

В пустом пространстве звуковые волны распространяться не могут. Если поместить колокольчик под колоколом воздушного насоса и выкачать воздух, то звук перестает быть слышимым. Надо только при этом поместить колокольчик на что-нибудь мягкое, иначе звук хорошо передается через твердые части насоса.

По жидким и твердым веществам звуковые колебания передаются **лучше**, чем по воздуху. В этом можно убедиться таким опытом. Отвинтите камертон от резонирующего ящика и поставьте на ящик мензурку с водой. Если нижний стержень

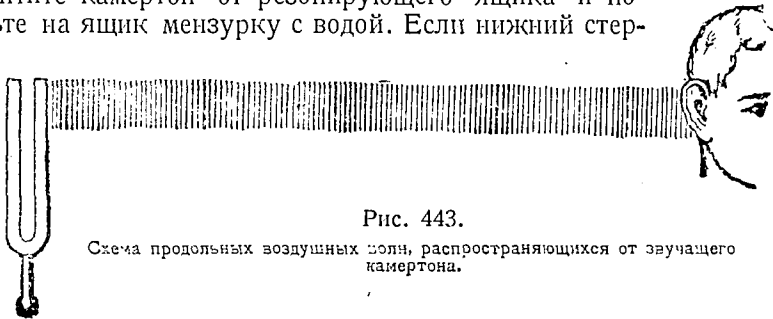


Рис. 443.

Схема продольных воздушных волн, распространяющихся от звучащего камертона.

звучащего камертона опускать в воду, то колебания передаются ящику и звук усиливается. Усиление звука получается еще лучше, если камертон соединять с ящиком через какую-нибудь твердую палочку.

• Привяжите карманные часы к одному концу длинной деревянной палки, а к другому концу приложите ухо. Как лучше передается звук — через воздух или через дерево?

? Повесьте на двух нитках какой-нибудь металлический предмет (серебряную ложку); концы ниток держите вложенными в уши. При самых легких ударах по предмету вы будете слышать оглушительный звон. Почему?

? В старинной сказке Иван-Царевич слушает топот погони, приложивши ухо к земле. Слышнее ли так отдаленный топот?

**235. Скорость распространения звука.** Если нам издали виден момент зарождения какого-нибудь звука (выстрел, удар топора,

свисток паровоза и т. п.), то мы ясно замечаем, что звук достигает до нас лишь через некоторый промежуток времени.

Смиривши этот промежуток времени и зная расстояние от источника звука до нас, мы легко можем вычислить скорость распространения звука по воздуху.

Точные измерения показывают, что эта скорость при  $0^{\circ}\text{C}$  равна 332 метрам в секунду.

При повышении температуры воздуха скорость звука возрастает; так, при  $16^{\circ}\text{C}$  скорость равна  $340 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .

В других газах звук распространяется с иной скоростью, чем в воздухе. Чем легче газ, тем скорость звука больше. В водороде скорость равна  $1266 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .

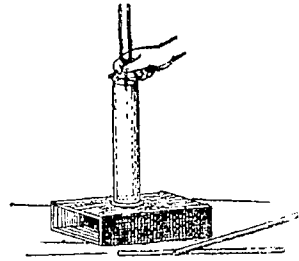


Рис. 444.

Передача звука от камертона к резонатору через различные вещества.

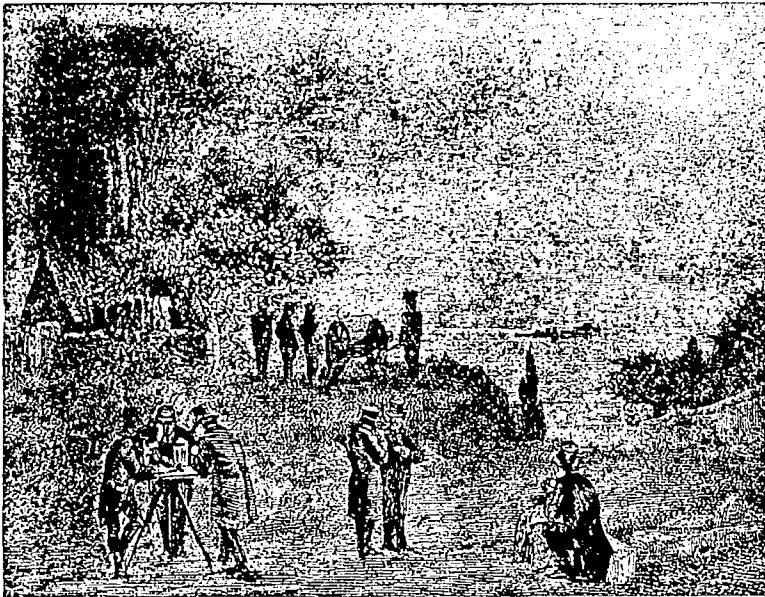


Рис. 445.

Измерение скорости распространения звука в воздухе, произведенное в 1822 году близ Парижа. На двух пунктах, расстояние между которыми измерено, производятся выстрелы из пушек. На обоих пунктах измеряются промежутки времени между появлением огня и моментом, когда слышен звук выстрела. Среди наблюдателей: Араго, Гэ-Люсак и Гумбольдт.

В воде скорость звука в  $4\frac{1}{2}$  раза больше, чем в воздухе, т.-е.  $1435 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ .

Первые точные измерения скорости звука в воде были произведены в 1827 г. Колладоном и Штурмом на Женевском озере. Один из наблюдателей помещался на одной лодке и производил удары по опущенному в воду колоколу, одновременно с этим производя вспышку пороха, другой наблюдатель, находясь на значительном, точно измеренном расстоянии, измерял хронометром время между появлением вспышки и ударом колокола, который он слышал через опущенную в воду трубу (рис. 446).

Скорости распространения звука в различных веществах.

Воздух (при 0°)	332 m/sec
Водород (при 0°)	1268 »
Вода	1435 »
Медь	3500 »
Железо	5000 »
Стекло	5000 »

Скорость звука в твердом теле была впервые определена французским физиком Био, <sup>1</sup> который воспользовался для своих измерений

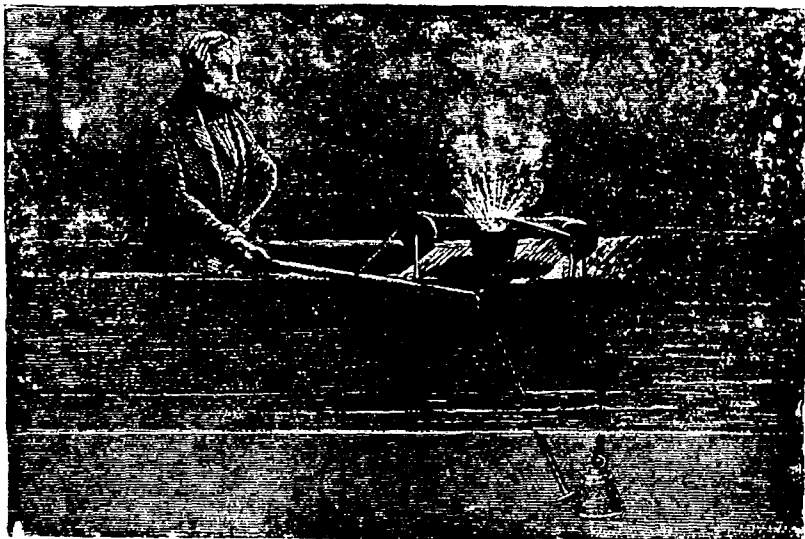


Рис. 446. Измерение скорости распространения звука в воде. прозвон

чугунной трубой парижского водопровода (951 м длины). Когда у одного конца этой трубы производился сильный удар, то у другого конца удар слышен был вдвойне. Сперва приходил звук по чугуну, а позднее — звук по воздуху. По промежутку времени между двумя

<sup>1</sup> Жан-Батист Био (1774 — 1862) — французский ученый, работавший в различных областях физики, химии, математики и астрономии.

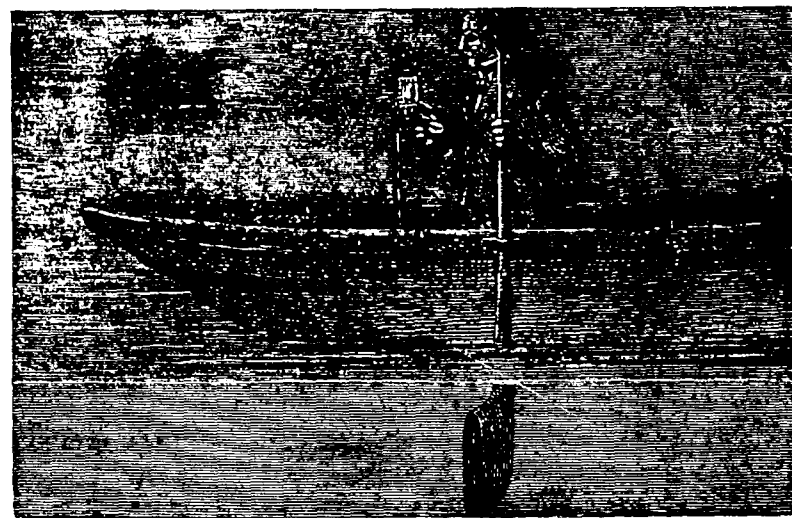
этим звуками, зная скорость звука в воздухе, можно вычислить скорость звука в чугуне. По расчетам Био, скорость в чугуне оказалась приблизительно в  $10\frac{1}{2}$  раз больше, чем в воздухе.

Ниже мы ознакомимся со способом измерять скорость звука в твердом веществе, имея лишь небольшой стержень этого вещества (§ 239).

? Наблюдая издали выстрел, вы заметили, что между моментом выстрела и моментом, когда вы услышали звук, ваш пульс сделал четыре удара. На каком приблизительно расстоянии от вас произведен выстрел?

? На сколько секунд в опыте Био звук, идущий по чугуну, обогнал звук, идущий по воздуху?

**236. Длина звуковых волн в воздухе.** Зная скорость распространения звуковых волн в воздухе и число колебаний для какого-нибудь звука, нетрудно вычислить длину звуковой волны (продольной), порождаемой этим звуком. Если, например, звучащее тело делает 100 колебаний в секунду, то оно, следовательно, порождает в секунду 100 волн, состоящих из сгущения и разрежения воздуха. В течение секунды эти 100 волн расположатся на протяжении 340 метров (при 16° С). Следовательно, каждая волна (сгущение и разрежение) будет иметь длину  $\frac{340}{100} = 3,4$  метра.



денное Колладоном и Штурмом в 1827 г. на Женевском озере.

В алгебраической форме: если скорость звука  $V$ , число колебаний  $N$ , длина волны  $l$ , то

$$l = \frac{V}{N}.$$

Нетрудно видеть, что это есть та же формула, что была выведена нами для волн, распространяющихся по веревке (§ 234).



Звуковые волны в водороде, в воде и т. д. имеют длины во столько раз большие, чем в воздухе, во сколько раз скорее в этих веществах распространяется звук.

? Определите длины воздушных звуковых волн: для самого низкого слышимого звука, для самого высокого звука, для звука нормального камертона (435 колеб.).

? Какой длины образуются звуковые волны в воде при тех же числах колебаний, что в предыдущей задаче?

? При скольких колебаниях получается воздушная звуковая волна длиной в 1 м? Какая это приблизительно нота?

**237. Отражение звука. Эхо.** Встряхивая конец веревки, закрепленной с другого конца, легко видеть, как волна пробегает от руки

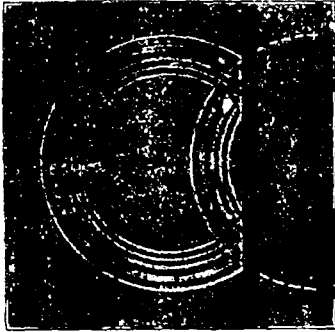


Рис. 447.

Отражение волны на поверхности воды. Отраженные волны идут как бы от источника  $A'$ .

к закреплению и затем, отразившись, бежит назад к руке. Наблюдая волны, бегущие по поверхности воды, нетрудно заметить, как эти волны, встретившись с каким-нибудь препятствием, отражаются от него и движутся в обратном направлении (рис. 447). Подобным образом могут отражаться от различных преград (стена, гора, ряд деревьев и т. п.) и звуковые волны, распространяющиеся в воздухе.

Это явление **отражения** звуковых волн производит всякому знакомое **эхо**.

Нетрудно сообразить, что в течение промежутка времени между звуком и его повторением в виде эхо звук проходит двойное расстояние от нас до отражающей преграды.

Если преграда близка (например, стены комнаты), то отраженный звук сливается с первоначальным, и вместо эхо получается усиление звука, называемое **резонансом**.<sup>1</sup> Это усиление особенно заметно в комнатах без мягкой мебели, без занавесей и проч., что ослабляет отраженный звук.

? На каком расстоянии от стены надо встать, чтобы эхо повторяло звук через одну секунду?

При каких условиях может получиться многократное эхо?

**238. Ослабление распространяющегося звука.** Чем дальше мы находимся от источника звука, тем звук вообще слышен слабее.

Если звук свободно распространяется во все стороны, то сила звука должна быть обратно пропорциональна квадрату расстояния, т. е. с увеличением расстояния в 2, в 3, в 4 и т. д. раза, звук должен ослабляться в 4, в 9, в 16 и т. д. раз.

<sup>1</sup> Слово «резонанс» имеет два значения. Кроме описываемого здесь явления «комнатного» резонанса, есть еще иное явление так называемого «акустического» резонанса, о котором речь будет ниже (§ 241).

В тех случаях, когда звук усиливается отражением от окружающих стен, ослабления звука по вышеприведенному закону не наблюдается. В узких, длинных коридорах, а также в «говорных трубах» звук с расстоянием ослабляется очень мало.

**239. Стоячие волны.** Если колебать рукой конец веревки, другой конец которой закреплен, то волны, бегущие от руки, соединяясь

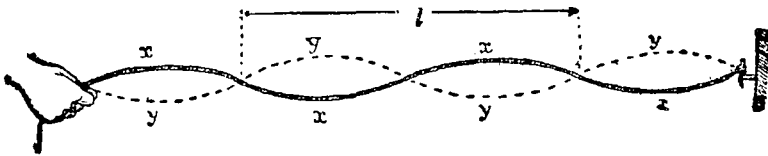


Рис. 448.

Стоячие поперечные волны на веревке.  $l$  — длина одной волны.

с отраженными волнами, бегущими навстречу, образуют так называемые **стоячие волны**. Веревка разбивается на несколько колеблющихся участков (чем чаще колебания, тем больше участков), разделенных неподвижными точками — «узлами» (рис. 448).

Точки между узлами колеблются с различными амплитудами. Места посредине между узлами, где амплитуда колебания наибольшая, называются «пучностями».

Так как мы называем волной совокупность выгиба кверху и выгиба книзу, то расстояние между двумя соседними узлами (или пучностями) надо считать равным **половине волны**.

Продольные звуковые волны в воздухе также могут при отражении образовать стоячие волны. Возьмем стеклянную трубку, закрытую

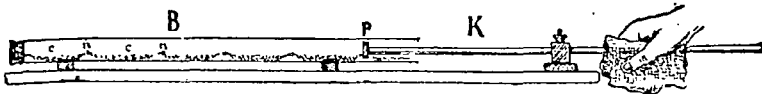


Рис. 450.

Измерение скорости звука в твердых веществах по способу Кундта. Продольные колебания стержня  $K$  образуют стоячие волны в трубке  $B$ . Места узлов ( $п$ ) и пучностей ( $с$ ) наблюдаются по «пыльным фигурам».

с одного конца, и всыпем в нее легкого порошка (ликоподиума или пробочных опилок). Если теперь около открытого конца издать сильный звук (свист), то внутри трубки образуются стоячие волны (рис. 449), и порошок, стряхиваемый в пучностях, образует «пыльные фигуры», по которым нетрудно смерить длину волны; а по длине волны можно определить число колебаний породившего ее звука.

**240. Определение скорости звука в твердых телах по способу Кундта.**<sup>1</sup> Если твердый стержень (рис. 450) закрепить посредине и натирать суконкой, смоченной водой или покрытой канифолью, то стержень издает резкий

<sup>1</sup> Август Кундт (1839 — 1894) — немецкий физик.

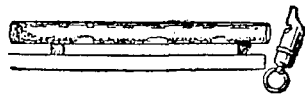


Рис. 449.

Звук свиста образует стоячие волны в трубке.

звук. Звук получается оттого, что в стержне получаются продольные колебания; стержень быстро то сокращается, то вытягивается в длину. Весь стержень при этом образует половину стоячей волны; посредине узел, в концах пучности. Если к концу стержня поднести шарик на нитке, шарик отталкивается, как от звучащего камертона.

Введя конец такого стержня в широкую трубку, закрытую с другого конца, получим в трубке стоячие воздушные волны, соответствующие числу колебаний стержня. Насыпав в трубку легкого порошка, легко видеть по «пыльным фигурам» места узлов этих волн и смерить их длину.

Скорость звука в материале стержня ( $V'$ ) во столько раз больше скорости звука в воздухе ( $V$ ), во сколько длина стержня ( $L$ ) больше длины воздушной волны ( $\lambda$ ).

$$\frac{V'}{V} = \frac{L}{\lambda}.$$

Отсюда, зная скорость звука в воздухе, определим скорость звука в материале стержня.

? Попробуйте смерить способом Кундта скорость звука в стекле. Вместо стержня можно взять стеклянную трубку, которую следует натирать суконкой, смоченной водой или лучше спиртом.

Смерив скорость звука в стекле, попробуйте, наполняя трубку водородом, светильным или углекислым газом, смерить скорость звука в этих газах.

**241. Явление резонанса. Резонаторы.** Если вы держите звучащий камертон в руке, он звучит слабо; но если вы приложите камертон

нижним концом к резонирующему ящику, звук усиливается.

Если взять несколько ящиков от различных камертонов и подносить к их отверстиям звучащий камертон, то наиболее значительное усиление звука получается тогда, когда камертон подносится к ящику, соответствующему той ноте, которую дает камертон.

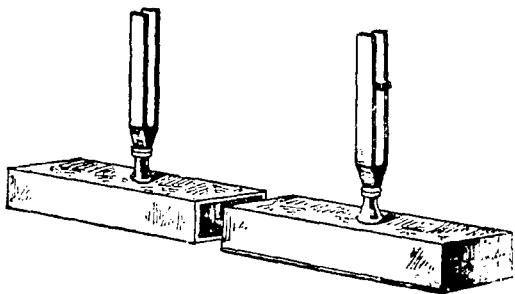


Рис. 451.

Одинаковые камертоны для наблюдения явления резонанса. При помощи грузика правый камертон слегка расстраивается.

Поставьте два одинаковых камертона рядом. Если один из них звучит, другой отзывается на его звук, т.е. сам начинает звучать, что легко заметить, прекративши колебание первого камертона. Это явление получается только тогда, когда оба камертона звучат строго в одну ноту. Если один из камертонов слегка расстроить (например, наклеивши на него воском маленький грузик), то явления отзвука не получается.

Если, открывши крышку рояля и нажавши педаль, спеть какую-нибудь ноту, то рояль отзовется той же нотой, т.е. заколеблются струны, звучащие именно в эту ноту, остальные же струны останутся спокойными. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Так как кроме струн, соответствующих основной ноте голоса, слегка заколеблются и струны, соответствующие дополнительным тонам, то в отзвуке рояля слышится та гласная, на которую спета нота.

Это явление называется явлением акустического резонанса.<sup>1</sup>

Тело, отзывающееся на звук, резонирующее, называют резонатором. Всякое тело, способное звучать, может быть резонатором.

Тела, способные сами издавать разнообразные звуки и отзываются на разнообразные звуки; их можно назвать универсальными резонаторами. Таковы колеблющиеся пластинки и перепонки: барабанная перепонка уха, мембрана граммофона, «дека» (верхняя крышка) скрипки и т. п.

Тела, способные сами издавать лишь одну какую-нибудь ноту, и отзываются лишь на одну эту ноту; их можно назвать специальными резонаторами. Таковы, например: резонатор камертона, струна, самый камертон и т. п.

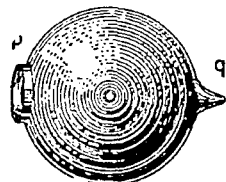


Рис. 452.

Резонатор Гельмгольца.

Наилучшими специальными резонаторами являются резонаторы Гельмгольца, состоящие из полых шаров с двумя отверстиями (рис. 452). Если отверстием q резонатор приложен к уху, то звук, соответствующий резонатору, слышен значительно усиленным.

Послушайте какой-нибудь шум или говор, приложивши к уху трубку (хоть просто свернутую из бумаги). Когда в шуме встречается нота, соответствующая этому резонатору, он дает звук заметной силы.



Рис. 453.

Тяжелый шарик раскачивается дуновением, если дуть в такт его колебаниям.

То явление, что резонаторы отзываются именно на «собственную» ноту и не отзываются на другие, нетрудно уяснить на примерах видимых колебаний.

Подвесьте на нитке тяжелый шарик и попробуйте раскачать его, дуя на него ртом. Вам это удастся, если вы будете дуть порывисто в такт собственным колебаниям шарика.

Вспомните, как сильно можно раскачать качели небольшими толчками в такт колебаниям самих качелей. Тогда каждый толчок усиливает качание. Если же толкать не в такт, то отдельные толчки будут то усиливать, то задерживать колебания, и качели не раскачаются.

Когда звуковые волны падают, например, на набор струн рояля, то толчки от отдельных волн могут сильно раскачать только те струны, для которых эти толчки попадают в такт собственным колебаниям струн, т.-е. как-раз те струны, которые настроены в ноту, соответствующую падающим волнам.

<sup>1</sup> Здесь словно «резонанс» обозначает иное явление, чем «комнатный резонанс» (§ 237), т.-е. усиление звука вследствие отражения от стен.

? Натяните горизонтально проволоку и подвесьте к ней несколько маятников из тяжелых шариков на нитках. Длины ниток возьмите такие, чтобы одна и та же длина встречалась два раза.

Если пустить качаться один из маятников, то его колебания будут давать толчки всем маятникам, но от этих толчков сильно раскачается только тот маятник, который имеет с первым **один и а к о в у** длину. Объясните явление. Сравните его с явлением звукового резонанса.

? Держа звучащий камертон у отверстия мензурки, вливайте в мензурку постепенно воду. При некотором положении уровня воды звук камертона значи-

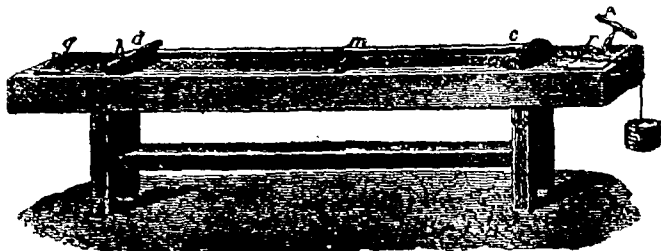


Рис. 454.

Сонометр для исследования колебаний струн.

тельно усиливается. Сравните длину резонатора камертона с длиной столба воздуха, остающегося при этом в мензурке.

? Приблизьте к уху отверстие колбы (цилиндрической коробки, большой раковины и т. п.). Вы услышите гудение в одну ноту. Колба резонирует на окружающий шум, усиливая собственную ноту.

Сравните ноту этого гудения с нотой, получающейся, когда вы дуете над горлышком колбы.

**242. Колебания струн.** Основные законы колебания струн можно исследовать на обыкновенной гитаре, скрипке, балалайке и т. п., но еще лучше для этого служит особый прибор «**с о н о м е т р**», состоящий из длинного резонирующего ящика, на котором исследуемые струны натягиваются грузами, так что силу натяжения можно измерять (рис. 454).

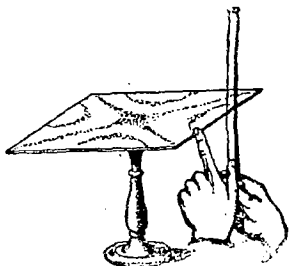


Рис. 455.

Получение фигур Хладни на звучащей упругой пластинке.

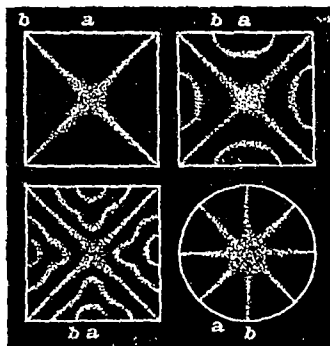


Рис. 456.

Фигуры Хладни. В точках *a* проводится смывок, в точках *b* — колебания задерживаются.

Чтобы изменять длину струны, ее закрепляют в разных точках при помощи подвижной «кобылки».

При помощи сонометра, оценивая изменения чисел колебаний на слух по интервалам, не трудно проследить справедливость следующих законов.

I. Число колебаний струны (при одинаковом натяжении) обратно пропорционально ее длине.

Например, если укоротить струну вдвое (взять  $\frac{1}{2}$  ее длины), то число колебаний увеличится вдвое, получается тон в октаву выше.

Чтобы получить на струне гамму, т.-е. чтобы получить числа колебаний, возрастающие пропорционально  $1 : \frac{9}{8} : \frac{5}{4} : \frac{4}{3} : \frac{3}{2} : \frac{5}{3} : \frac{15}{8} : 2$ , надо последовательно брать  $1, \frac{9}{8}, \frac{3}{2}, \frac{4}{3}, \frac{2}{3}, \frac{3}{2}, \frac{5}{4}, \frac{15}{8}$  ее длины.

II. Число колебаний струны (при неизменной длине) увеличивается с увеличением натяжения.

Подтягивая струну колком или увеличивая натягивающий груз, получим более высокий тон.

III. Чем больше масса струны, тем меньше число ее колебаний (при одинаковых длинах и натяжениях).

Натянув одинаковыми грузами две одинаково длинные струны, одну массивную, другую легкую, заметим, что легкая дает более высокий тон.

? Струна сонометра натянута так, что вся она дает ноту do. Подвижная кобылка подставляется так, что струна разбивается на два участка:  $\frac{1}{2}$  струны и  $\frac{2}{3}$  струны. Какие ноты должны давать эти участки?

? Как изменяются тоны струн при настройке струнных инструментов?

? Как при игре на скрипке получают разные ноты на одной и той же струне?

? Чем различаются между собою верхние и нижние струны рояля?

**243. Колебания пластинок. Фигуры Хладни.** Закрепим посредине металлическую или стеклянную пластинку и проведем по ее краю смычком. Пластинка начинает звучать, при чем высота звука получается разная, если смычком проводить в разных местах и если в разных местах задерживать колебания пластинок пальцем. Колеблющаяся пластинка разбивается на участки, которые попеременно выгибаются то вверх, то вниз. Эти колеблющиеся участки разделяются неподвижными «узловыми линиями», которые легко обнаружить, посыпав на пластинку мелкого песка. Песок стягивается с колеблющихся мест и располагается по узловым линиям более или менее правильными узорами, носящими название фигур Хладни.<sup>1</sup>

**244. Колебания воздуха в трубах.** Во всех «духовых» инструментах источником звука является колеблющийся (продольно) столб воздуха, который безразлично может быть прямой (органные трубы), или как-нибудь изогнутый (тромбон, валторна и т. п.). Нота вообще получается тем выше, чем трубка короче.

Проще других устроена органная труба, в которой колебания столба воздуха возбуждаются тем, что вдувается воздух, струя которого разрезается клинообразным скосом. При этом столб воздуха в трубе колеблется, образуя стоячую полуволну (посредине узел, по краям пучности). Места узла и пучностей можно заметить, опуская в трубу со стеклянной стенкой бумажную пластинку с песком; в пучностях песок встряхивается (рис. 459).

Так как длина трубы (открытой) равна длине полуволны,<sup>2</sup> нетрудно сообразить, что число колебаний в трубе должно быть обратно пропорционально длине трубы.

Если в трубу вдувать воздух очень сильно, она дает более высокий тон; открытая труба повышает тон на октаву, в ней получается тогда не полуволна, а целая стоячая волна.

Во многих духовых инструментах колебания воздуха возбуждаются колебаниями твердых «язычков». В таких инструментах, если они без труб (например, гармония), тон зависит только от числа колебаний металлического язычка

<sup>1</sup> Хладни (1756 — 1827) — немецкий физик, кроме важных работ по акустике, известен исследованием падающих звезд.

<sup>2</sup> Вернее, немного короче, так как стоячая полуволна немного выступает из трубы.

(«пищика»); если же инструменты с трубами (кларнет, гобой и т. п.), то для чистого сильного тона колебания язычка должны быть близки к резонансу с колебаниями воздуха в трубе.

В некоторых инструментах (корнет-а-пистон, тромбон и т. п.) роль язычков играют губы музыканта.

? Возбуждение колебаний, подобное возбуждению в органной трубке, можно получить при помощи пламени. Наденьте на небольшое пламя газовой горелки (еще лучше водородное пламя) стеклянную трубку (рис. 460). Трубка издает звук. Попробуйте брать трубки различной длины. Как изменяется высота звука?

? Если вам знакомо устройство духовых музыкальных инструментов, опишите, как в различных инструментах изменяется длина звучащего столба воздуха для получения различных нот.



Рис. 457.  
Внешний вид  
органной  
трубы.



Рис. 458.  
Воздух, вдуваемый  
в органную трубу,  
разрезается клино-  
образным срезом.



Рис. 459.  
Наблюдение узлов  
и пучностей в орган-  
ной трубке при по-  
мощи пластинки  
с песком.

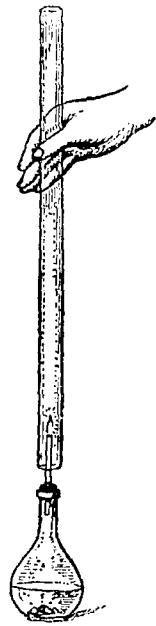


Рис. 460.  
Пламя порождает  
звук в трубке.

? Почему получается звук при свисте в ключ?

? Сравните длину открытой органной трубы с длиной камертонного резонатора той же ноты. Длина резонатора равна  $\frac{1}{2}$  длины трубы, так как резонатор представляет собой  $\frac{1}{4}$  длины волны (от узла до пучности).

? Как должен изменяться тон духовых инструментов от повышения температуры?

**245. Человеческий голос.** Голосовой аппарат человека можно отнести к разряду язычковых труб. Роль язычка, колебания которого определяют высоту тона, играют «голосовые связки», которые приводятся в колебание, когда между ними через «голосовую щель» проходит струя воздуха. Разные ноты получаются при различном натяжении связок.

Большие размеры связок соответствуют низким голосам (мужской голос), а маленькие — высоким (детский, женский голос).

Полость гортани и рта служит резонатором, усиливающим тон и придающим ему различные тембры.

### 246. Ухо. Человеческий орган слуха разделяется на три части.

I. Наружное ухо, состоящее из «ушной раковины» и «слухового канала», оканчивающегося «барабанной перепонкой».

II. Среднее ухо, состоящее из небольшой камеры, в которой при помощи трех слуховых косточек («молоточек», «наковальня» и «стремечко») звуковые колебания передаются от барабанной перепонки к внутреннему уху.

III. Внутреннее ухо, или лабиринт, состоящий из «полукружных каналов» и «улитки». И каналы, и улитка состоят из костяной оболочки,

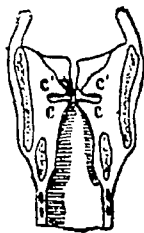


Рис. 461.

Разрез человеческого горла. сс — головные связки, с'с' — дожные голосовые связки.

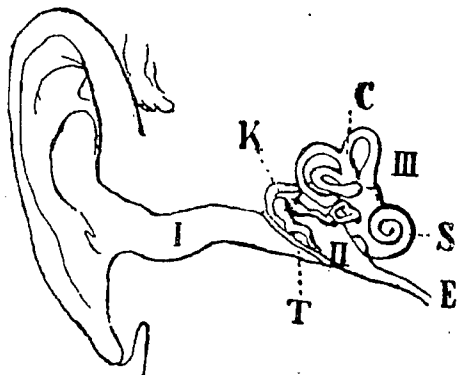


Рис. 463.

Схематический разрез человеческого уха. I — наружное ухо, II — среднее ухо, III — внутреннее ухо, Т — барабанная перепонка, К — слуховые косточки, С — полукружные каналы, К — улитка, Е — евстахиева труба, идущая к зеву.

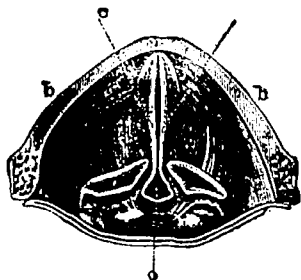


Рис. 462.

Вид голосовых связок сверху. сс — связки, а — голосовая щель.

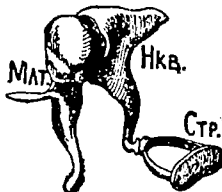


Рис. 464.

Слуховые косточки: молоточек, наковальня и стремечко.

наполненной жидкостью. В костяной оболочке два отверстия, «круглое» и «овальное» окошко — в овальное окошко упирается след стремечка.

Звуковые волны, попадая в слуховой канал, приводят в колебание барабанную перепонку, колебания которой при помощи косточек передаются в улитку, где находятся окончания нервов, воспринимающих звук.

**247. Фонограф.**<sup>1</sup> Фонографом называется прибор, записывающий и воспроизводящий различные звуки.<sup>2</sup> Основная идея устройства фонографа сводится к следующему. Звук производится перед небольшой пластинкой, которая колеблется под влиянием звука и передает свои колебания острому штифтику (рис. 465).

<sup>1</sup> Греческое φωνή (фонэ) — звук, γράφο (графо) — пишу.

<sup>2</sup> Фонограф был изобретен в 1877 г. знаменитым американским изобретателем Эдисоном.



Колеблющийся штифтик делает при этом волнообразные углубления в мягком валике, который равномерно вращается, все время касаясь штифтика.

Для воспроизведения звука, вращая валик, заставляют штифтик проходить по сделанной бороздке, при чем и штифтик и пластинка явственно повторяют записанные звуки.

Более громко и отчетливо повторяется звук в очень распространенном видоизменении фонографа — в «граммофоне».

На граммофонной пластинке изгибы волнообразной линии, соответствующей звуку, располагаются не

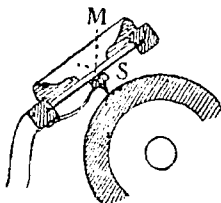


Рис. 465.

Разрез фонографа. *M* — пластинка (мембрана), *S* — пишущий штифтик.

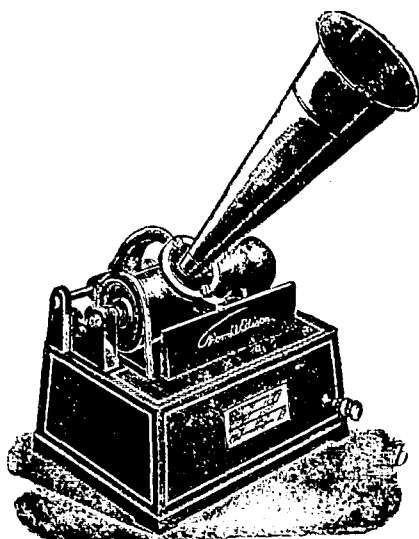
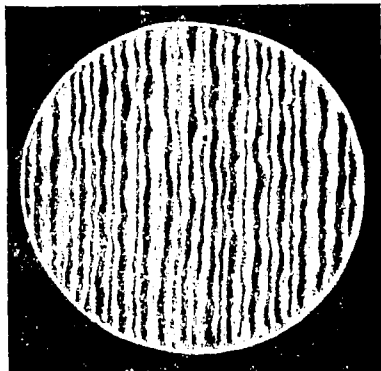
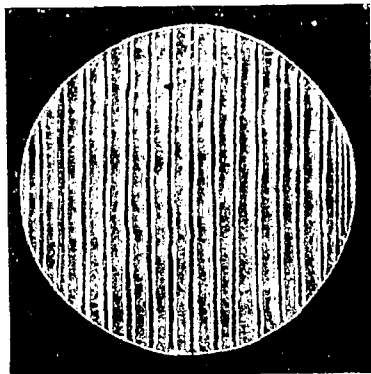


Рис. 466.

Внешний вид фонографа.

в глубину пластинки, а на ее поверхности. Как записывающее, так и читающее острие колеблется в горизонтальном направлении.



I

II

Рис. 467.

Запись на фонографическом валике (I) и на граммофонной пластинке (II). Увеличено приблизительно в 10 раз.

Запись звуков для граммофона производится на мягкой массе, которая затем твердеет. С записи делается металлическое клише (гальванопластическим способом), которым оттискиваются пластинки, поступающие в продажу.

Почему, если пластинка граммофона вертится быстрее или медленнее, изменяется не только темп пьесы, но и высота тона?



## Н Ь Ю Т О Н.

(1643 — 1727).

**И**саак Ньютон родился в 1643 г. в небольшой деревне восточной Англии, в комнате, где впоследствии на мраморной доске было начертано двустишие:

Nature and Nature's laws lay hid in night,  
God said: «Let Newton be!» and all was Light. <sup>1</sup>

Ньютон родился очень маленьким, хилым ребенком. Его, по словам его матери, можно было окрестить в пивной кружке. Этому хилому ребенку суждена была долгая и славная жизнь.

Отец Ньютона умер еще до его рождения, а когда Ньютону исполнилось 2 года, его мать вторично вышла замуж. Маленький Ньютон, отданный на воспитание бабушке, учился сперва в деревенской, а потом в городской школе. С ранних лет он проявил склонность к механическим работам: построил солнечные часы, мельницу, нечто в роде велосипеда и т. д. Рассказывают, что стремление к физическому и умственному самоусовершенствованию проявилось в юном Ньютоне после пережитой школьной неприятности (его поколотили).

Студенческие годы и годы последующей напряженной научной работы Ньютон провел в Кембридже, где в течение 32 лет был профессором.

В начальной физике можно указать лишь немногие из научных трудов Ньютона, который, помимо замечательных исследований в области физики, создал основания высшей математики, а также всей теоретической и небесной механики.

Ньютон открыл закон всемирного тяготения, во всех подробностях объясняющий движение небесных тел. Все тела притягиваются между собою с силой, пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. Тяжесть, т.-е. стремление тел к земле, есть частный случай всеобщего тяготения тел друг к другу.

Существует легенда, что первая мысль о том, что луна удерживается на своем пути силою притяжения к земле, явилась у Ньютона, когда, напряженно размышляя о движении луны, он увидел яблоко, упавшее с дерева.

Открытый Ньютоном закон тяготения является основой небесной механики, объясняющей все движения небесных тел. Опираясь на закон тяготения, астрономы Лаверье и Адаме при помощи вычислений открыли планету Нептун.

Одной из важнейших заслуг Ньютона было доказательство разложения света на цвета (радуга, «спектр») при преломлении в призме.

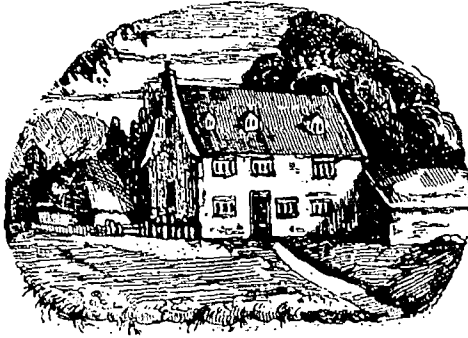
---

<sup>1</sup> Природа и ее законы были покрыты мраком: бог рек: «да будет Ньютон», и бысть повсюду свет.

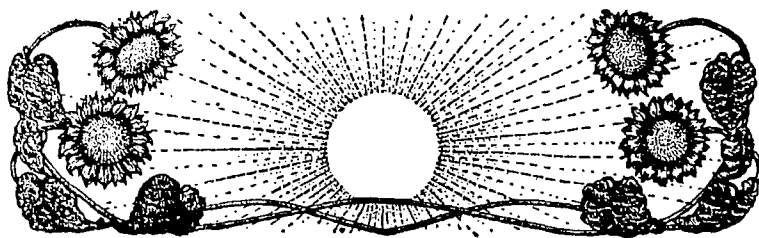
Кроме работ с призмой, Ньютон прославился другими оптическими исследованиями. Так, он изобрел зеркальный телескоп, носящий его имя, разработал замечательную, хотя теперь и оставленную, теорию света.

Увенчанный всемирной славой, Ньютон провел конец своей долгой жизни в Лондоне, где скончался в 1727 г.

Признанный величайшим научным гением и недостижимым образцом точного настойчивого мыслителя, Ньютон был очень скромного мнения о своих заслугах. «Если я видел дальше других, — говорил он, — то потому, что стоял на плечах гигантов». «Я представляю себе мальчиком, который, играя на берегу моря, забавлялся, когда находил гладкий камешек или красивую раковинку, меж тем как неизведанный океан истины лежал предо мною».



Домик, где родился Ньютон.



## ГЛАВА ДЕВЯТАЯ.

### СВЕТ.

(Оптика <sup>1</sup>).

**248. Лучи света. Прямолинейность лучей.** Когда сквозь щели в полутемную комнату проходит свет солнца, мы видим «пучки» света, пронизывающие воздух комнаты и ярко освещающие те места, куда они падают. Очень тонкий пучок света мы будем называть **лучом**

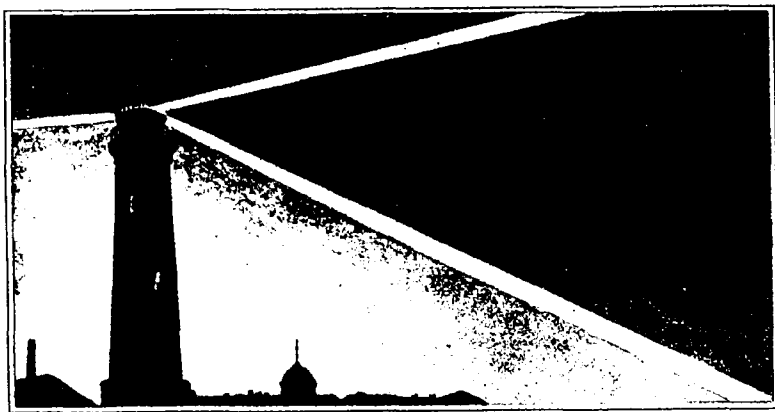


Рис. 463.

Пучки света, видимые в туманном воздухе.

света; всякий сколько-нибудь широкий пучок будем представлять себе состоящим из бесчисленного множества лучей.

Заметим, что путь лучей света по воздуху мы видим только потому, что видим освещенные пылинки, носящиеся в воздухе. Самих лучей света в совершенно прозрачном воздухе, глядя со стороны, видеть нельзя.

<sup>1</sup> Слова «оптика», «оптический» производятся от греческого прилагательного *οπτικός* (оптикос) — зрительный.

Когда лучи света откуда-нибудь, например, от свечи, попадают в наш глаз, мы видим источник света, т.е. свечу.

Когда солнечный или искусственный свет падает на различные предметы, то лучи света рассеиваются, т.е. отражаются в разные стороны от этих предметов, которые, благодаря этому, сами становятся как бы источниками света, делаются видимыми.

Самые простые опыты убеждают нас в том, что лучи света идут прямолинейно. Мы видим какую-нибудь точку только тогда, когда на прямой, соединяющей эту точку с нашим глазом, нет никаких непрозрачных преград.

Лучи света прямолинейны лишь тогда, когда они идут в одном и том же веществе, или, как говорят, в «однородной среде», например: все время в воздухе или все время в воде, в стекле.

При переходе луча из одного вещества в другое, из одной «среды» в другую, например, из воздуха в воду, наблюдается переломление лучей, т.е. резкий перелом от одного прямолинейного направления к другому.

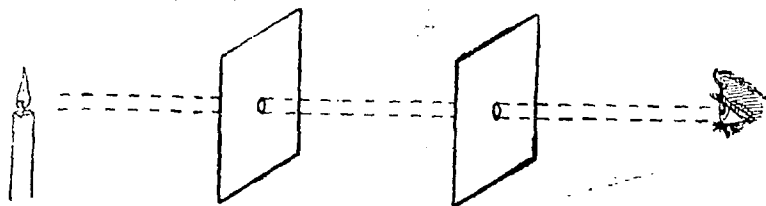


рис. 469.

Свеча видна, если отверстия расположены по прямой, соединяющей свечу с глазом.

? Проследите ход тонкого пучка света в дымном воздухе или в мутной воде. Для того, чтобы путь луча был хорошо виден в воде, в воду следует прибавить немного спиртового раствора канифоли или, еще лучше, раствора флуоресценна, который сам слегка светится, когда на него падают лучи.

? Когда вы больше видите из окна, когда стоите ближе к нему или дальше? Почему?

? Как надо поместить глаз, чтобы сквозь замочную скважину видеть большие предметы?

**249. Тени и полутени.** Поставьте свечу на некотором расстоянии от стены, а между стеной и свечой поместите ладонь руки. На стене получится силуэт (тень) с очертаниями руки в увеличенном виде. Явление нетрудно объяснить, представляя себе ход прямых лучей от свечи (маленькое пламя можно считать за точку) к стене, при чем лучи, попадающие на руку, задерживаются.

При маленьком источнике света (светящая точка) силуэт от прозрачного предмета имеет очертания этого предмета и тем большую величину, чем дальше стена (экран)<sup>1</sup> от предмета.

<sup>1</sup> Под словом «экран» мы будем подразумевать всякую поверхность, как стена, бумага, матовое стекло и т. п., на которой можно получать тени и разные «оптические изображения», в роде изображений, получаемых от волшебного фонаря.

Взяв вместо одной свечи две, увидим, что получаются два сравнительно бледных силуэта, которые дают более темное пятно там, где они накладываются друг на друга. Нетрудно сообразить, что в это темное пятно в «полную тень» свет не попадает ни от той ни от другой свечи, а более бледные тени — «полутени» — получаются в тех местах, куда свет попадает только от одной из свечей.

Когда источник света имеет значительные размеры сравнительно с непрозрачным телом, темная «полная» тень бывает окружена каймой:

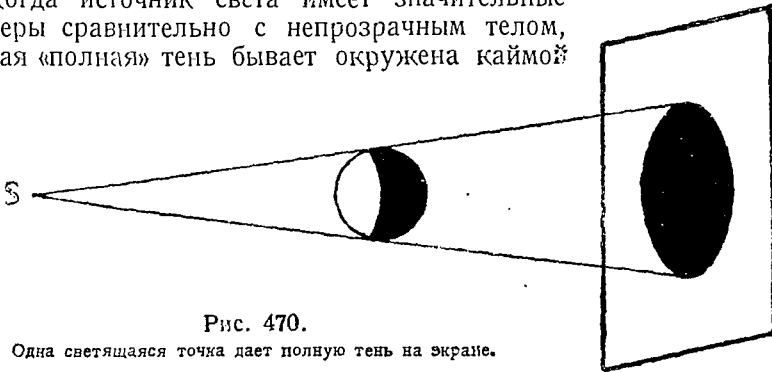


Рис. 470.

Одна светящаяся точка дает полную тень на экране.

«полутени», представляющей постепенный переход от тени к освещению. В полутень попадают лучи не от всех мест источника, а только от большей или меньшей части источника.

Поместите, например, на расстоянии 5 — 10 сантиметров от пламени свечи медный пяточок, а за ним на подобном же расстоянии лист бумаги. Вы легко заметите этот постепенный переход от полного освещения к полной тени, края которой представляются «размытыми».

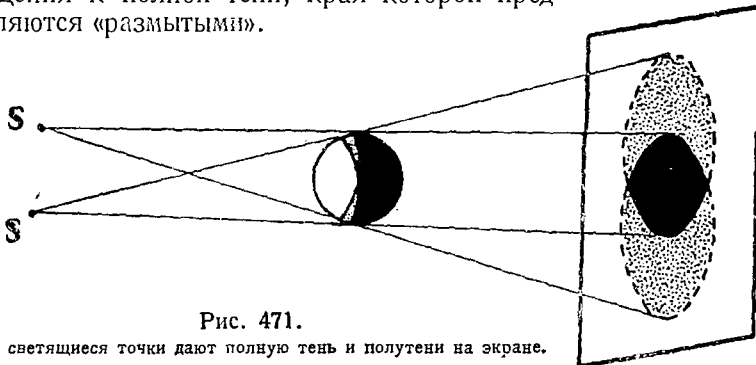


Рис. 471.

Две светящиеся точки дают полную тень и полутени на экране.

? Поместив на небольшом расстоянии от свечи лист бумаги, получите на нем тень от карандаша, ставя карандаш один раз горизонтально, другой раз вертикально.

? Какая наблюдается разница в формах теней и полутеней? Почему?

? Если поставить экран на неизменном расстоянии от свечи и помещать непрозрачный предмет в разных местах между свечой и экраном, то очертания тени получаются тем более резкие, чем ближе предмет к экрану. Почему? Объясните явление на чертеже.

? Докажите, что, когда светящийся предмет больше освещаемого, область полной тени простирается лишь на некоторое расстояние за темным предметом; дальше этого расстояния полной тени не получается.

**250. Изображения, получающиеся при помощи маленького отверстия.** Если между свечкой и экраном поместить лист картона с вырезанным в нем б о л ь ш и м (больше пламени свечи) отверстием, то на экране получается светлое пятно, имеющее ф о р м у отверстия.

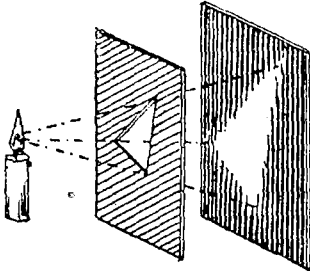


Рис. 472.

При большом отверстии на экране получается светлое пятно, имеющее форму отверстия.

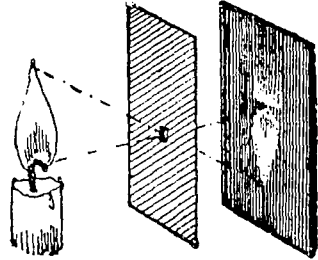


Рис. 473.

При маленьком отверстии светлое пятно на экране имеет форму свечи.

Если, наоборот, отверстие м а л о (в сравнении с размером пламени), то на экране получается светлое пятно в ф о р м е опрокинутого п л а м е н и с в е ч и.



Рис. 474.

Круглые изображения солнца на дорожке сада.

л у ю форму источника света — солнца (рис. 474). В момент частного затмения солнце дает светлые пятна в форме серпов (рис. 475).

Если вы в любой коробке сделаете в одной стенке маленькое отверстие а противоположную стенку замените матовым стеклом или промасленной бумагой, вы получите простейшую «т е м н у ю к а м е р у» («камеру-обскуру»); на

Днем при помощи картонки с маленькой дыркой (безразлично какой формы) легко получить на белой бумаге опрокинутое изображение окна и даже того, что видно за окном.

Это явление легко объясняется тем, что каждая точка светящего (или освещенного) предмета дает па экране маленькое светлое пятнышко, при чем, благодаря прямолинейности лучей, совокупность множества этих пятнышек должна давать фигуру, подобную предмету, повернутому вверх ногами.

Когда лучи солнца падают на гладкую садовую дорожку, пробиваясь сквозь самые разнообразные отверстия среди древесной листвы, получают светлые пятна, имеющие о к р у г л

прозрачной бумаге будут получаться изображения (перевернутые) тех предметов, к которым обращено отверстие.

Если вместо прозрачной бумаги на задней стенке коробки укрепить светочувствительную фотографическую пластинку, то получается фотографическая



Рис. 475.

Светлые пятна в форме серпов во время солнечного затмения.

камера, при помощи которой можно делать очень отчетливые снимки, если только достаточно мало отверстие и достаточно продолжительна экспозиция (рис. 476 и 477). Более продолжительная экспозиция требуется потому, что в отверстие такой камеры попадает значительно меньше света, чем в объектив настоящего аппарата.

? Если ночью, когда луна имеет форму серпа, наблюдать тень от деревьев, то можно заметить светлые пятна в виде серпов, которые яснее заметим, если тень падает на белую бумагу. Как проследить, что изображение луны здесь получается повернутое?

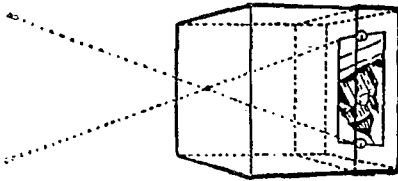


Рис. 476.

Простейшая фотографическая камера. Коробка с маленьким отверстием; на противоположной стенке укреплена светочувствительная пластинка.



Рис. 477.

Снимок, сделанный в коробке с булавочным отверстием. Экспозиция в течение одной минуты в ясное летнее утро.

**251. Изменение яркости освещения с расстоянием.** Яркость освещения какой-нибудь поверхности уменьшается по мере удаления этой поверхности от источника света.

Проследим пучок лучей, освещающий на некотором расстоянии квадратную площадку на экране I (рис. 478). Нетрудно видеть, что при удалении экрана на расстояние в д в о е (II), в т р о е (III) и т. д. больше, тот же пучок лучей распределится на площадки, в 4 раза, в 9 раз и т. д. больше. При увеличении расстояния от источника света до экрана во сколько-нибудь раз освещение распределяется на площадь, увеличенную в к в а д р а т этого числа раз.



Вследствие этого яркость освещения каждой единицы площади обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника света.

Этот закон справедлив только в случаях равномерного распространения во все стороны. В случае, например, пучка параллельных лучей (такие пучки получаются при помощи вогнутых зеркал или оптических стекол) яркость освещения одинакова на всех расстояниях, так как величина освещаемой площади (перпендикулярной к лучам) остается

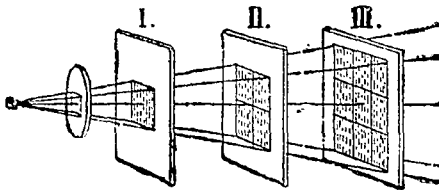


Рис. 478.

По мере удаления экрана увеличивается освещаемая площадь и уменьшается яркость освещения.

на всех расстояниях одинаковой. Яркость параллельных пучков света, получаемых на практике на маяках и разных «прожекторах» на значительных расстояниях, заметно ослабляется вследствие неполной прозрачности воздуха. Такое ослабление яркости вследствие «поглощения» лучей неполностью прозрачной средой изменяется с расстоянием по иному закону, чем обратная пропорциональность квадрату расстояния.

**252. Фотометры.**<sup>1</sup> Пусть два различных источника света, например, свеча и керосиновая лампа, дают одинаково яркое освещение экрана, если свеча помещается на расстоянии 1 метра от экрана, а лампа — на расстоянии 2-х метров.

На основании закона уменьшения яркости света с расстоянием, нетрудно сообразить, что при таких условиях лампа представляет собой источник в 4 раза более яркий, чем свеча. Действительно, если лампа дает одинаковое освещение при расстоянии вдвое большем, то при одинаковом расстоянии она должна давать освещение в 4 раза ярче, чем свеча.

Если вообще два источника дают одинаковую яркость освещения на расстояниях  $r_1$  и  $r_2$ , то яркости этих источников  $S_1$  и  $S_2$  должны быть прямо пропорциональны квадратам расстояний.

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}.$$

По этой формуле делаются расчеты при сравнениях яркостей разных источников света, при помощи различных так называемых «фотометров».

Опишем самые простые фотометры, какие без труда всякий может устроить сам.

**I. Фотометр Румфорда.**<sup>2</sup> Весь фотометр Румфорда состоит из небольшого экрана, перед которым укреплена палочка. Если экран освещается двумя источниками, то палочка дает на нем две тени, из которых каждая освещается одним из источников. Передвигая источники света, можно достигнуть одинаковой густоты обеих теней. Одинаковая густота теней служит признаком одинаковой яркости освещения от обоих источников. Смеривши при таком положении расстояния от источников до экрана, можем вычислить отношение их яркостей по вышеприведенной формуле.

**II. Фотометр Бунзена.**<sup>3</sup> Существенную часть фотометра Бунзена представляет собой кусок бумаги с «масляным пятном». Вследствие того, что промасленная бумага лучше пропускает свет, пятно кажется светлее окружающего фона, если бумага сильнее освещена сзади, и темнее, если бумага сильнее освещена спереди.

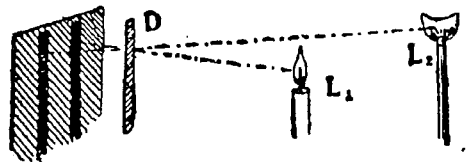


Рис. 479.

Схема фотометра Румфорда.

<sup>1</sup> Греческое φῶς (фос) — свет.

<sup>2</sup> Румфорд (1753 — 1814) — американский физик.

<sup>3</sup> О Бунзене см. в конце этой главы, в § 277.

Бумага с одной стороны освещается каким-нибудь неизменным источником света, а сравниваемые источники по очереди помещаются с другой стороны на таких расстояниях  $r_1$  и  $r_2$ , чтобы пятно (с одной стороны бумаги) сливалось с фоном. Ясно, что при этом сравниваемые источники дают одинаковую яркость освещения бумаги и потому отношение их яркостей равно отношению  $r_1^2 : r_2^2$ .

Если свет от различных источников различен не только по своей яркости, но и по окраске, то нельзя получить ни совершенно одинаковых теней (в фотометре Румфорда), ни совершенно одинакового освещения пятна и фона (в фотометре Бунзена). Поэтому сравнение источников, дающих свет различной окраски, делается с гораздо меньшей точностью.

На практике единицей для измерения яркости источников света служит яркость «нормальной свечи». Под нормальной свечой (немецкой) подразумевается парафиновая свеча, дающая пламя в пять сантиметров высоты. Яркость обычных ламп бывает примерно в 10 — 20 свечей; яркость ламп скалильными сетками — в 30 — 40 свечей; употребительные электрические лампочки накаливания бывают в 16, 25 и 50 свечей; яркость дуговых ламп оценивается тысячами, иногда (в маяках, в прожекторах) десятками тысяч свечей.

? Сравните при помощи какого-нибудь из фотометров яркость одной свечи с яркостью 4-х таких же свечей. На каких расстояниях надо помещать эти источники, чтобы получить одинаковые яркости освещения?

253. Отражение света от плоского зеркала. Если на пути пучка света, идущего в подкрашенной воде или в дымном воздухе,

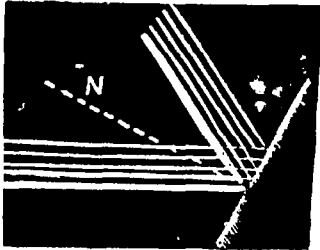


Рис. 481.

Отражение пучка света от плоского зеркала.  $N$  — направление перпендикуляра к зеркалу.

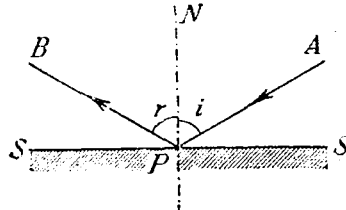


Рис. 482.

$AP$  — луч падающий,  $PB$  — луч отраженный,  $NP$  — перпендикуляр к зеркалу  $SS$ . Угол падения  $i$  равен углу отражения  $r$ .

поставить плоское зеркало (какую-нибудь гладко отшлифованную пластинку), то ясно видно явление **отражения** света: лучи, падающие на зеркало, резко изменив свое направление, идут от поверхности зеркала в виде лучей «отраженных», направление которых различным образом изменяется при поворачивании зеркала.

Приделав к зеркалу указатель в виде спицы, перпендикулярной к плоскости зеркала, можно, хотя грубым образом, проследить законы отражения.

Представив себе перпендикуляр к плоскости зеркала, восстановленный в «точке падения» луча (рис. 482), будем называть у г л о м

падения угол между этим перпендикуляром и падающим лучом, углом отражения—угол между перпендикуляром и отраженным лучом.

I. Луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр к плоскости зеркала в точке падения лежат в одной плоскости.

II. Угол падения равен углу отражения (**закон отражения света**).

Законы эти подтверждаются не только непосредственными точнейшими измерениями, но также и справедливостью многочисленных следствий, вытекающих из этих законов.

?) При каком угле падения отраженный луч идет по направлению падающего луча?

? Если луч пустить по направлению отраженного луча, то, отразившись, он пойдет по направлению падающего луча.

Докажите, что это есть прямое следствие законов отражения.

**254. Изображения в плоском зеркале.** Всякий знает, что, когда мы смотрим в зеркало, нам представляются за зеркалом как

бы двойники всех предметов, находящихся перед зеркалом.

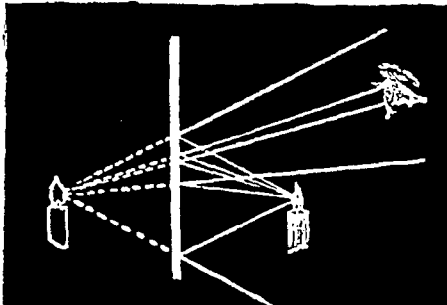


Рис. 483.

лучи, отраженные зеркалом, образуют мнимое изображение свечи.

Поставив перед зеркалом свечку, мы увидим за зеркалом как бы вторую такую же свечку (рис. 483). В действительности, никакой второй свечки за зеркалом нет, но лучи от действительной свечки, отразившись от зеркала, идут к нашему глазу расходящимся пучком, и мы видим кажущуюся свечку там, откуда как бы исходят эти лучи, т.-е. в точке, где пересекаются продолжения этих лучей.

Если вы приближаете свечку к зеркалу, то изображение свечки тоже приближается к зеркалу навстречу действительной свечке. Если вы передвигаете свечку в сторону, то изображение передвигается всегда так, что остается как-раз против действительной свечки.

Всматриваясь в «мнимые изображения» предметов за зеркалом, нетрудно проследить, что изображение всякой точки получается за зеркалом на продолжении перпендикуляра, опущенного из действительной точки на зеркало, при чем расстояние от изображения до зеркала равно расстоянию от действительной точки до зеркала.

Это правило, определяющее место изображения точки в плоском зеркале, представляет собою следствие законов отражения, что не хитро доказать геометрическим построением.

Пусть от точки  $L$  (рис. 484) исходят лучи, отражающиеся по законам отражения от плоскости  $SS$ . Докажем, что продолжения всех отраженных лучей пересекутся в точке  $L'$  на продолжении перпендикуляра  $LF$ , на расстоянии  $FL'$ , равном расстоянию  $FL$ . Для этого докажем, что продолжение любого отраженного луча должно пересекать перпендикуляр  $LF$  в точке  $L'$ .

Возьмем любой из лучей  $LM$ . По 2-му закону отражения угол  $i$  равен углу  $r$ ; следовательно, угол  $r'$  равен углу  $i'$ , а вследствие равенства  $r'$  и  $i'$ , угол  $i$  равен  $i''$ . Отсюда следует, что прямоугольные треугольники  $MLF$  и  $M'L'F$  равны, а следовательно катеты  $LF$  и  $L'F$  также равны. Предложение это верно для любого из отраженных лучей, следовательно, все их продолжения должны пройти через  $L'$ , где и получается мнимое изображение светящейся точки.

Заметим, что какое-нибудь тело и его изображение в зеркале представляют собой не тождественные, а взаимно-симметричные фигуры, т.-е. фигуры, состоящие из одинаковых частей, но следующих друг за другом в обратном порядке. Например, зеркальное изображение правой руки представляет собой левую руку (рис. 485). Зеркальное изображение правой перчатки представляет собой левую перчатку, которую можно совместить с правой, лишь вывернув ее наизнанку.

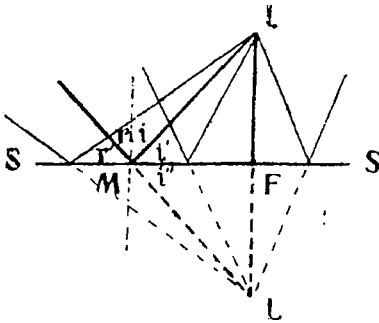


Рис. 484.

Продолжение всех лучей, идущих из точки  $L$  и отражающихся от зеркала  $S$ , пересекается в точке  $L'$ .

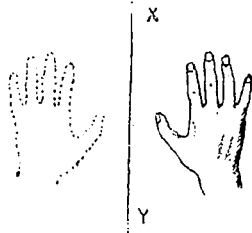


Рис. 485.

Зеркальное изображение правой руки представляет собой левую руку.

? Чтобы в зеркале можно было видеть изображение точки, надо ли непременно, чтобы перпендикуляр, опущенный из этой точки на зеркало, попал на самое зеркало, или он может попадать на воображаемое продолжение зеркала?

? Для того, чтобы видеть себя в зеркале во весь рост, достаточно иметь зеркало в половине своего роста. Докажите это геометрическим построением и проследите на опыте, отметив на большом зеркале места, где вы видите верх и низ своего изображения.

? Рисунок 486 изображает пейзаж и его отражение в спокойной воде пруда. Повернув картинку, мы можем принять нижнюю часть за действительный пейзаж, а верхнюю — за отражение. Получим ли мы тот же пейзаж, что и при правильном повороте?

**255. Отражение в нескольких зеркалах.** Если два зеркала поставлены так, что отражающие плоскости, обращенные друг к другу, образуют некоторый угол, то лучи, отразившиеся от одного зеркала, могут отражаться еще и от другого зеркала, затем опять от первого, и т. д.

От всякой точки между зеркалами получается несколько изображений, число которых тем больше, чем острее угол, образуемый зеркалами.

В так называемом калейдоскопе случайное беспорядочное расположение цветных стеклышек, благодаря отражению от двух зеркал, дополняется симметричными изображениями, совокупность которых образует более или менее красивые симметричные звезды.

В случае взаимно параллельных зеркал получается бесчисленное множество изображений, которые представляются уходящими вдаль бесконечной вереницей.

Пользуясь отражением лучей от нескольких зеркал, можно устроить простой прибор, позволяющий как бы видеть сквозь непрозрачные предметы. Лучи свечки



Рис. 486.

Пейзаж и его зеркальное изображение в воде пруда.

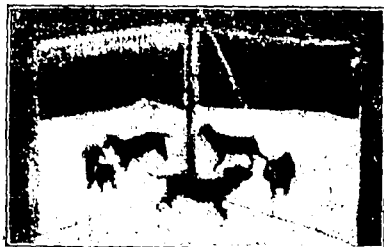


Рис. 488.

В двух зеркалах получается несколько изображений.

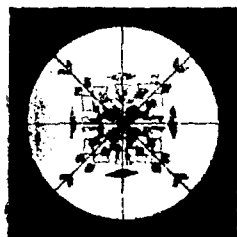


Рис. 489.

Симметричная звездочка, получающаяся в калейдоскопе, благодаря отражению от зеркал под углом  $(45^\circ)$ .

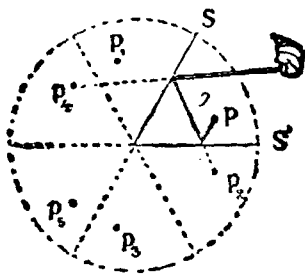


Рис. 487.

Пять изображений точки  $P$ , получающиеся от зеркал  $S$  и  $S'$  под углом  $(в 60^\circ)$ . На чертеже отмечен ход лучей, образующих четвертое изображение.

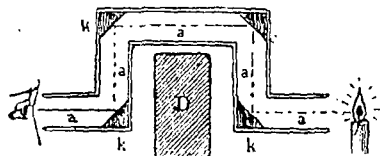


Рис. 490.

Луч света, идущий от свечки к глазу, кажется проходящим через непрозрачное тело  $D$ .

(рис. 490), отражаясь от 4-х зеркал, идут по ломаной линии  $aaa\dots$  и, попадая в глаз, делают иллюзию, будто видно сквозь тело  $D$ . Подобным образом устраивается балаганная демонстрация человека, сквозь которого можно видеть будто бы через сквозную рану в груди.

? При отражении в зеркалах под углом получается столько изображений, сколько раз угол, образуемый зеркалами, содержится в окружности  $(в 360^\circ)$ , при чем действительный предмет считается за изображение. (Если угол укладывается не целое число раз, то дробь следует считать за целую единицу.)

Докажите это геометрическим построением и проследите на опыте.

? Как устраивается «перископ», позволяющий солдату стрелять из окопа, не высовывая головы из-за прикрытия?

**256. Рассеяние света.** Лучи света, падающие не на зеркальные, а на матовые и шероховатые поверхности, тоже отражаются, но в этом случае, благодаря разнообразным наклонам отражающих поверхностей, отраженные лучи идут по всевозможным направлениям. Благодаря этому неправильному отражению, или рассеянию света, освещенные предметы с шероховатыми поверхностями видны со всех сторон.

Чем глаже поверхность, тем большее количество лучей отражается от нее более или менее правильно. Это правильное отражение дает светлые пятна, «блики», на всех более гладких предметах.

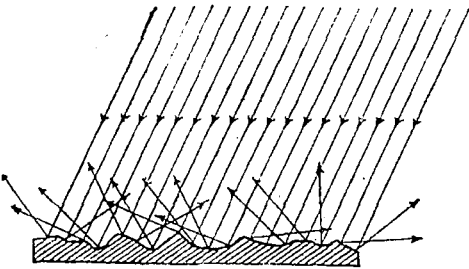


Рис. 491.

Неправильное отражение (рассеяние) лучей света от шероховатой поверхности.

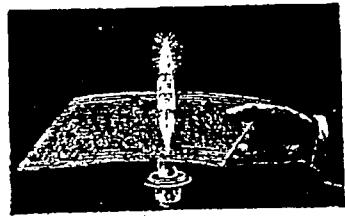


Рис. 492.

При пологом падении лучей бумага дает зеркальное изображение свечи.

Заметим, что очень гладко отшлифованную поверхность (хорошее зеркало) не видно, видны только мнимые изображения за ней.

При очень пологом падении лучей получается более сильное правильное отражение. При пологом падении лучей можно получить отчетливое зеркальное изображение даже от такой матовой поверхности, как писчая бумага.

**257. Сферические зеркала.** Сферическими, или шаровыми, зеркалами называются такие зеркала, отражающая поверхность которых представляет собой часть поверхности шара. Сферические зеркала могут быть выпуклые и вогнутые.

Обыкновенно сферические зеркала делают такие, что поверхность зеркала представляет собой лишь небольшую часть полной поверхности шара, отсеченную от шара плоскостью, так что края зеркала имеют форму окружности. Радиус шара, проходящий через центр этой окружности, пересекает зеркало в его середине  $Z$  (рис. 493). Прямая, соединяющая середину зеркала с его центром  $O$  (т.-е. с центром шара, часть которого представляет зеркало), называется главной оптической осью, или просто осью зеркала.

Если вы посмотритесь в выпуклое зеркало, вы увидите за его поверхностью свое мнимое изображение, как в плоском зеркале, но только уменьшенное, при чем уменьшение тем сильнее, чем дальше вы находитесь от зеркала. Наблюдая в выпук-

лом зеркале мнимое изображение какого-нибудь открытого пейзажа, видно, что изображения получаются от предметов, находящихся на каких угодно близких и далеких расстояниях.

Смотрясь в вогнутое зеркало на небольшом расстоянии, вы тоже увидите свое мнимое изображение, которое, наоборот, представляется увеличенным. По мере вашего удаления

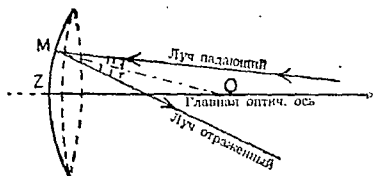


Рис. 493.

Схема вогнутого зеркала.  $O$  — центр,  $Z$  — середина зеркала. Угол падения  $i$  равен углу отражения  $r$ .

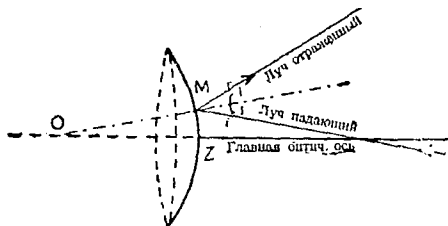


Рис. 494.

Схема выпуклого зеркала.  $O$  — центр,  $Z$  — середина зеркала. Угол падения  $i$  равен углу отражения  $r$ .

от вогнутого зеркала мнимое изображение сперва вырастет, затем перестает быть видимым, а при еще большем удалении изображение появляется снова, но уменьшенное и перевернутое вверх ногами.

Все эти и многие другие случаи получения изображений в сферических зеркалах, как увидим ниже, находят себе объяснение при рассмотрении хода лучей, отражающихся от этих зеркал.

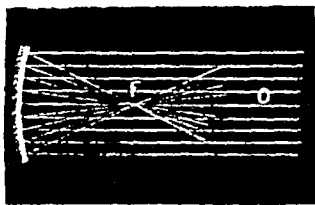


Рис. 495.

Лучи, падающие на вогнутое зеркало параллельно его оси, после отражения сходятся в фокусе  $F$ .

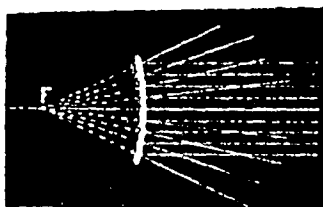


Рис. 496.

Лучи, падающие на выпуклое зеркало параллельно его оси, после отражения идут расходящимся пучком. Продолжения лучей сходятся в „мнимом“ фокусе  $F$ .

**258. Главный фокус зеркала.** Если по пути лучей солнца, идущих в дымном воздухе, вы поставите вогнутое зеркало так, чтобы лучи падали на него параллельно его главной оси, вы увидите, что лучи, отразившиеся от зеркала, пойдут пучком, в одном месте сходящимся почти в одну точку.

Эту точку, в которой собираются после отражения лучи, падающие на зеркало параллельно его оси, называют главным фокусом, или

просто фокусом.<sup>1</sup> Расстояние от вогнутого зеркала до его фокуса равно половине радиуса зеркала.

Место главного фокуса нетрудно найти геометрическим построением, так как построение лучей, отраженных от сферического зеркала, делается так же просто, как и для плоского зеркала, с той лишь разницей, что за направление, перпендикулярное к шаровой поверхности, следует брать направление радиуса шара.

Возьмем какой-нибудь луч, падающий параллельно оси зеркала, и сообразим, в какой точке этот луч после отражения пересечет ось (рис. 497).

Построив отраженный луч так, чтобы угол  $r$  был равен углу  $i$ , заметим, что угол  $i'$  должен быть равен углу  $i$  (вследствие параллельности луча и оси), и потому треугольник  $MFO$  — равнобедренный.

Мы будем рассматривать только такие случаи, когда размеры зеркала малы сравнительно с длиной его радиуса, а в таких случаях без заметной ошибки можно допустить, что отрезок луча  $MF$  равен отрезку  $FZ$ , т.-е., что точка  $F$  делит радиус  $ZO$  пополам.

Расстояние от зеркала до его главного фокуса называется фокусным расстоянием зеркала.

Фокусное расстояние вогнутого зеркала равно половине радиуса зеркала.

Если на выпуклое зеркало попадет пучок лучей, параллельных его оси, то лучи эти после отражения идут расходящимся пучком (рис. 496) так, как будто бы все эти лучи выходили из одной точки за зеркалом. Эта точка называется мнимым главным фокусом выпуклого зеркала.

Расстояние от выпуклого зеркала до его мнимого фокуса равно половине радиуса, что нетрудно доказать при помощи построения, подобного тому, какое указано для вогнутого зеркала.

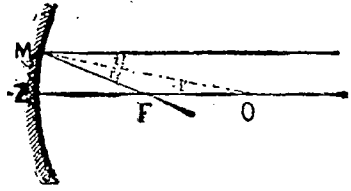


Рис. 497.

Луч, падающий параллельно оси, после отражения пересекает ось приблизительно в середине радиуса  $OZ$ .

? Если в главном фокусе вогнутого зеркала поместить светящуюся точку, то лучи, отразившись от зеркала, пойдут параллельно оси зеркала. Докажите это на основании законов отражения.

? Как должен падать луч на выпуклое зеркало, чтобы после отражения он пошел параллельно оси зеркала?

**259. Свойство лучей, проходящих чрез центр зеркала.** Если луч падает на зеркало по направлению от центра, т.-е. по направлению радиуса зеркала, то, отразившись, он возвращается по тому же самому направлению, подобно тому как луч, падающий на плоское зеркало по направлению перпендикуляра к плоскости зеркала.

Из этого следует, что если поместить светящую точку в центре зеркала, то лучи, упавшие из этой точки на зеркало, отразившись, снова соберутся в центре зеркала.

**260. Действительные и мнимые изображения.** Поставьте свечу вблизи оси вогнутого зеркала на значительном расстоянии от зеркала (на расстоянии больше радиуса). Тогда в пространстве между центром и фокусом зеркала получится действительное, умень-

<sup>1</sup> Латинское слово focus означает — очаг, костер. Название произошло оттого, что сходящиеся в фокусе лучи производят более или менее сильное нагревание. Лучи солнца, собранные в фокусе даже небольшого зеркала, могут расплавить воск или зажечь бумагу, особенно, если она черная. В фокусе больших зеркал солнечные лучи могут расплавлять и обращать в пар почти все вещества, как в вольтовой дуге.



шенное, обратное (т.е. повернутое вверх ногами) изображение пламени свечи (рис. 498).

Это изображение можно ясно видеть, поместив в том месте, где оно получается, кусок промасленной бумаги или матового стекла, на которых получают отчетливые очертания пламени.

1. Лучи, падающие на зеркало параллельно его оси, после отражения пересекаются в главном фокусе  $F$ .

Если светящая точка помещается в главном фокусе  $F$ , то лучи после отражения идут параллельно оси зеркала.

2. Изображение светящей точки, находящейся на оси зеркала за его центром  $C$ , получается в сопряженной точке  $S'$  между центром и фокусом зеркала. Изображение предмета получается действительное, обратное, уменьшенное.

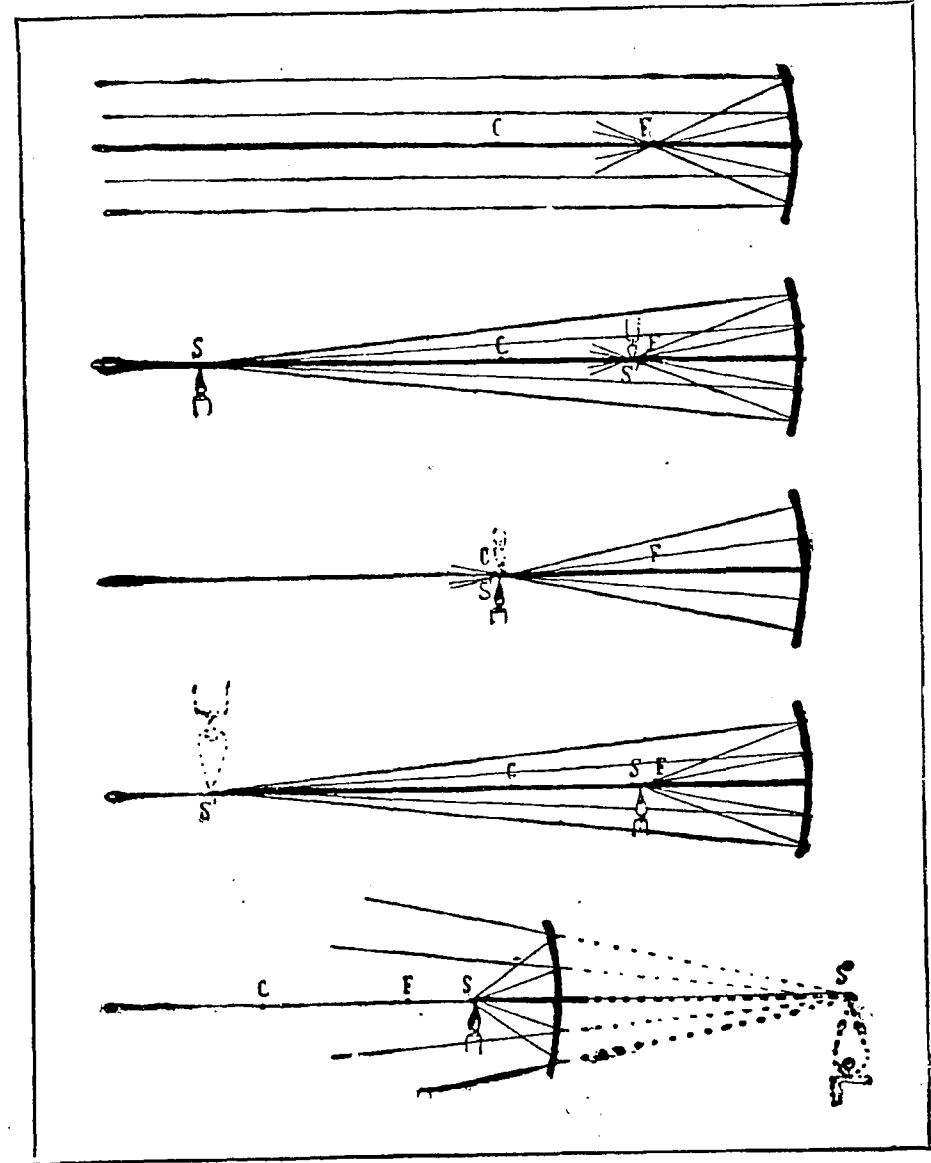
3. Изображение светящей точки, находящейся в центре зеркала, получается также в центре зеркала. Изображение предмета получается действительное, обратное, по величине равное предмету.

4. Изображение светящей точки  $S$ , находящейся на оси зеркала между центром  $C$  и фокусом  $F$ , получается в сопряженной точке  $S'$  за центром зеркала. Изображение предмета получается действительное, обратное, увеличенное.

5. Изображение светящей точки  $S$ , находящейся между зеркалом и его фокусом  $F$ , получается за зеркалом в мнимой сопряженной точке  $S'$  за зеркалом. Изображение предмета получается мнимое, прямое, увеличенное.

Рис. 498. Различные виды изображений,

Изображение мы называем «действительным» в отличие от «мнимых» изображений, получающихся, например, от плоских и от выпуклых зеркал **з а з е р к а л а м и**. Действительные изображения получают при **д е й с т в и т е л ь н о м** пересечении лучей, мнимые же изображения — при пересечении воображаемых **п р о д о л ж е н и й** лучей.



получаемых от вогнутого зеркала.

Если свечу приближать к зеркалу, то ее действительное изображение перемещается, удаляясь от зеркала навстречу свече. В центре зеркала свеча и ее изображение встречаются.

При дальнейшем приближении свечи к зеркалу, когда свеча находится в промежутке между центром и фокусом, изображение получается дальше центра, при чем изображение это действительное, обратное, увеличенное.

Если свечу поставить в том месте, где получалось ее действительное изображение, то изображение получается там, где была свеча.

Представляя себе вместо пламени светящую точку, можно установить правило в такой форме: если светящая точка, помещенная в  $S$ , дает изображение в  $S'$ , то светящая точка, помещенная в  $S'$ , дает изображение в  $S$ .

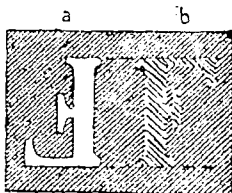


Рис. 499.

Приспособление для измерения радиусов вогнутых зеркал.

Точки  $S$  и  $S'$ , обладающие тем свойством, что светящая точка, помещенная в одной из них, дает изображение в другой, будем называть сопряженными точками.

Описанные опыты показывают, что для каждой точки, лежащей между фокусом и центром зеркала, сопряженная ей точка лежит дальше центра; и обратно, для каждой точки за центром зеркала сопряженная ей точка лежит между фокусом и центром.

Если группа светящихся точек лежит в одной плоскости, перпендикулярной к оси зеркала, то и изображения этих точек лежат в одной плоскости, также перпендикулярной к оси. Плоскость, в которой лежат светящиеся точки, и плоскость, в которой лежат их изображения, будем называть сопряженными плоскостями.

Принимая приближенно пламя свечи за плоскую фигуру, можно сказать, что пламя и его действительное изображение лежат во взаимно сопряженных плоскостях.

Когда свеча помещается ближе к зеркалу, чем его фокус, изображение получается за зеркалом мнимое, прямое, увеличенное.

Для каждой точки, лежащей между выпуклым зеркалом и его фокусом, сопряженная ей точка мнимая (за зеркалом).

? В каких случаях две взаимно сопряженные точки сливаются вместе?

Таких случаев следует указать два: в одном — светящая точка сливается с своим — действительным изображением, в другом — с мнимым.

? Для определения радиусов вогнутых зеркал удобно пользоваться следующим способом. В небольшом куске картона делается прорез (рис. 499, а), позади которого помещается источник света. Картон помещается на оси зеркала, которое передвигают до тех пор, пока на картоне не получается изображение прореза (обратное), по величине равное прорезу (рис. 499, б). Когда это достигнуто, расстояние от картона до зеркала равно радиусу зеркала.

? Свеча перемещается с некоторою скоростью от центра зеркала к его фокусу. Как перемещается при этом изображение свечи? Что перемещается быстрее — свеча или ее изображение?

? Как расположены сопряженные точки относительно выпуклого зеркала?

? Как изменится изображение свечи, если половину зеркала закрыть непрозрачным экраном?

**261. Геометрическое построение изображений.** Если на чертеже дан разрез вогнутого зеркала и отмечены его центр и фокус, то нехитрое геометрическое построение позволяет найти место изображения для любой точки, лежащей не очень далеко от оси зеркала.

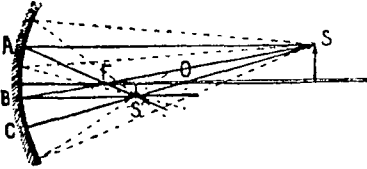


Рис. 500.

Луч  $SA$ , параллельный оси, после отражения идет через фокус  $F$ ; луч  $SB$ , идущий через фокус, после отражения идет параллельно оси; луч  $SC$ , идущий через центр, отражается по направлению падения. Точка  $S'$  есть изображение точки  $S$ .

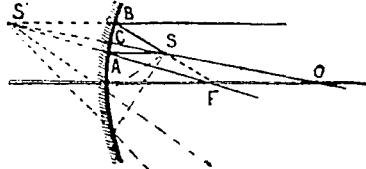


Рис. 501.

Луч  $SA$  после отражения идет через фокус  $F$ ; луч  $SB$  после отражения идет параллельно оси; луч  $SC$  отражается по направлению падения. Точка  $S'$ , где сходятся продолжения этих лучей, есть мнимое изображение точки  $S$ .

Лучи, падающие на зеркало из светящей точки, после отражения все сходятся в одну точку, которая и есть изображение первой точки или точка, сопряженная с первой.

Нетрудно сообразить, что для нахождения изображения достаточно уметь построить какие-нибудь два отраженных луча, так как там, где пересекутся эти два луча, пересекутся и все остальные отраженные лучи.

Выбор нужных двух лучей, понятно, удобно сделать такой, чтобы ход лучей после отражения определялся как можно скорее и проще.

Зная положение центра и фокуса зеркала как выпуклого, так и вогнутого (рис. 500 и 501), очень просто найти направления для следующих трех лучей:

1. Луч, параллельный оси зеркала. После отражения этот луч идет через фокус зеркала.

2. Луч, идущий к зеркалу через фокус. Этот луч после отражения идет параллельно оси зеркала.

3. Луч, идущий через центр зеркала. После отражения этот луч идет обратно через центр по тому же направлению, как падал.

Любые два из этих трех лучей определяют место изображения точки как для случаев действительных изображений, так и для мнимых, с той лишь разницей, что мнимые изображения получаются в точках пересечения не самих лучей, а их воображаемых продолжений за зеркалом.

Для построения изображения не одной точки, а целого светящего предмета, следует строить изображения отдельных его точек. Простым примером светящего предмета может служить прямолинейный отрезок (стрелка). Чтобы найти место изображения отрезка, достаточно, понятно, построить изображения концов этого отрезка.

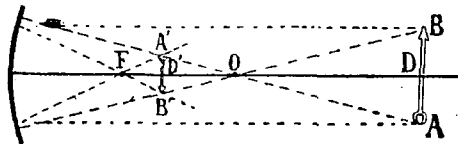


Рис. 502.

$A'$  есть изображение точки  $A$ ;  $C'$  — изображение  $B$ . Величина изображения  $A'B'$  относится к величине предмета  $AB$ , как расстояние  $D'O$  к расстоянию  $DO$ .

? Докажите геометрическим построением и проследите на опыте следующие свойства изображений, получаемых при помощи вогнутого зеркала:

1. Если светящая точка лежит на оси зеркала, то и изображение ее также лежит на осп.

2. Если светящая точка лежит выше осп зеркала и дает действительное изображение, то и изображение это лежит ниже оси (и наоборот).

Из этого следует, что действительные изображения всегда получаются обратные.

3. Если светящая точка лежит выше оси и дает мнимое изображение, то это изображение лежит также выше оси.

Из этого следует, что мнимые изображения получаются всегда прямыми.

4. Отношение величины изображения к величине предмета равно отношению их расстояний до центра зеркала.

? Докажите геометрическим построением, что в выпуклом зеркале изображения всегда получаются мнимые и уменьшенные.

**262. Формула зеркала.** Законы получения изображений от сферических зеркал могут быть выражены алгебраически при помощи так называемой «формулы зеркала».

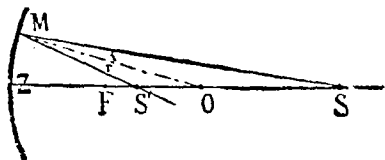


Рис. 503.

$Z$  — середина зеркала,  $O$  — центр зеркала,  $F$  — фокус. Угол падения  $i$  равен углу отражения  $r$ .  $S'$  есть изображение точки  $S$ .

Эта формула выражает собой соотношение между следующими тремя расстояниями: 1)  $d_1$  — расстояние от середины зеркала до светящей точки, лежащей на оси, 2)  $d_2$  — расстояние от середины зеркала до изображения этой светящей точки и 3)  $F$  — «фокусное расстояние» зеркала, т.-е. расстояние от зеркала до его главного фокуса, которое, как мы знаем, равно половине радиуса зеркала  $\left(\frac{R}{2}\right)$ .

Для вывода формулы представим себе, что светящая точка находится на осп зеркала в какой-нибудь точке  $S$  (рис. 503). Изображение ее тоже должно находиться на оси. Чтобы найти место изображения, возьмем любой луч  $SM$ , падающий из  $S$  на зеркало. Отразившись, этот луч должен пттн по направлению  $MS'$ , образуя с радиусом зеркала  $OM$  угол  $r$ , равный углу  $i$ . Изображение должно получаться, следовательно, в точке  $S'$ .

В треугольнике  $S'MS$  прямая  $OM$  есть равноделящая угла при вершине  $M$ . Поэтому, согласно с известной геометрической теоремой, отрезки противоположной стороны  $S'O$  и  $OS$  должны быть пропорциональны сторонам  $S'M$  и  $SM$ .

$$\frac{S'O}{SO} = \frac{S'M}{SM}.$$

Введем следующие обозначения:

$$ZO = 2F, \quad ZS = d_1; \quad ZS' = d_2.$$

Кроме того, допустим, приближенно, что:

$$MS = ZS \quad \text{и} \quad MS' = ZS';$$

такое допущение не вносит заметной ошибки, если размеры зеркала малы сравнительно с его радиусом.

С этим допущением и новыми обозначениями величины, входящие в пропорцию, видоизменяются так:

$$\frac{S'O}{SO} = \frac{2F - d_2}{d_1 - 2F}, \quad \frac{S'M}{SM} = \frac{d_2}{d_1}.$$

Пропорция принимает вид:

$$\frac{2F - d_2}{d_1 - 2F} = \frac{d_2}{d_1}$$

или

$$2Fd_1 - d_1d_2 = d_1d_2 - 2Fd_2,$$

откуда получается

$$2Fd_2 + 2Fd_1 = 2d_1d_2.$$

Деля обе части равенства на

$$2d_1d_2,$$

получаем

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} = \frac{1}{F}. \quad \dots \dots \dots (A)$$

По этой формуле из трех входящих в нее величин можно определять любую, если известны две остальные.

Например, решим такой вопрос: свеча стоит на расстоянии 90 см от зеркала, фокусное расстояние которого равно 60 см. На каком расстоянии от зеркала получается изображение свечи?

Подставляя в нашу формулу данные величины, получаем:

$$\frac{1}{90} + \frac{1}{d_2} = \frac{1}{60},$$

откуда

$$\frac{1}{d_2} = \frac{1}{60} - \frac{1}{90} = \frac{1}{180};$$

$$d_2 = 180 \text{ см},$$

т.-е. изображение получается на расстоянии 180 см от зеркала.

Если расстояние от зеркала до изображения получается отрицательное, это значит, что изображение получается мнимое (по другую сторону зеркала).

Для выпуклого зеркала получается подобная же формула:

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} = -\frac{1}{F};$$

во второй части стоит знак минус, так как фокусное расстояние для выпуклого зеркала следует считать отрицательным.

?) Составьте себе и решите несколько задач на применение формулы зеркала, принимая за искомые величины, то  $d_1$ , то  $d_2$ , то  $F$ .

Проверьте решение задач по возможности на опыте или при помощи геометрического построения.

? Выведите из формулы зеркала нижеследующие положения и выясните их физический смысл.

1. Если величина  $d_1$  очень велика, то величина  $d_2$  близка к величине  $F$ .
2. Если  $d_1$  равно  $2F$ , то  $d_2$  также равно  $2F$ .
3. Если  $d_1$  равно  $F$ , то величина  $d_2$  бесконечно велика.
4. Если  $d_1$  меньше  $F$ , то величина  $d_2$  непременно отрицательная.
5. Если величина  $F$  отрицательная (зеркало выпуклое), то при всяких положительных  $d_1$  величина  $d_2$  всегда отрицательная.

**263. Сферическая аберрация.** Все наши расчеты отражения лучей от сферических зеркал делались в предположении, что размеры поверхности зеркала малы сравнительно с размерами полной поверхности шара, часть которого представляет собой зеркало.

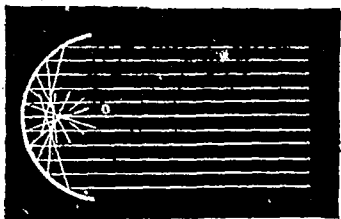


Рис. 504.

Сферическая аберрация вогнутого зеркала. Лучи, падающие на зеркало, величина которого не мала сравнительно с величиной радиуса, не сходятся в одной точке.

кофейник) дают изображения предметов в более или менее искаженном виде.

Если вы, например, посмотритесь в зеркало, имеющее форму выпуклого цилиндра, ось которого направлена вертикально, то вы увидите свое изображение как бы сплюснутым с боков.



Рис. 505.

Анаморфоза для цилиндрического зеркала.

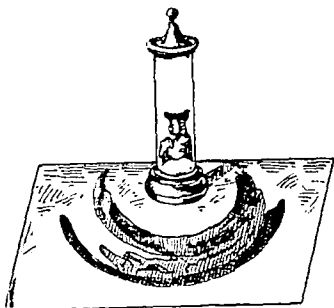


Рис. 506.

При отражении в цилиндрическом зеркале получается правильное изображение.

Если это условие не соблюдено, то делается заметно, что лучи, исходящие из одной светящейся точки, отразившись от зеркала, пересекаются между собою не строго в одной точке, а в целой более или менее обширной области точек (рис. 504).

Это явление, благодаря которому большие (сравнительно с величиной своего радиуса) зеркала не могут давать вполне отчетливых изображений, называют сферической аберрацией.

**264. Отражения в различных кривых зеркалах.** Зеркальные поверхности разнообразных кривых форм (ложка, самовар, кофейник) дают изображения предметов в более или менее искаженном виде.

Если же вы поставите такое зеркало так, чтобы ось его была направлена горизонтально, то изображение получается как бы сплюснутым сверху и снизу.

Для демонстрации изображений в кривых цилиндрических и конических зеркалах делаются иногда искаженные рисунки («анаморфозы») с таким расчетом, чтобы при отражении в зер-

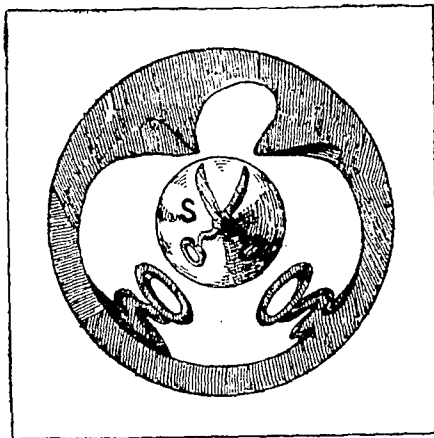


Рис. 507.

Анаморфоза для конического зеркала. В коническом зеркале S получается изображение в форме ножниц.

кале этот искаженный рисунок давал правильное изображение предмета (см. рис. 505, 506 и 507).

**265. Преломление света.** Если в затемненной комнате пучок света падает косвенно на поверхность воды в стеклянном сосуде, то можно ясно видеть, что лучи отчасти отражаются от воды, отчасти проникают в воду, преломившись, т.-е. резко изменив свое направление на более крутое.

Подобное преломление наблюдается всегда при переходе света из одной прозрачной среды в другую (из воздуха в воду, из воздуха в стекло, из воды в стекло и т. п.).

Различно направляя лучи света зеркалом, можно исследовать преломление света при разных наклонах лучей и при разных направлениях (из воздуха в воду, обратно — из воды в воздух).

Будем опять называть углом падения угол  $i$  между падающим лучом и перпендикуляром, восстановленным в точке падения к поверхности, разделяющей две среды (рис. 509).

Угол между преломленным лучом и продолжением этого перпендикуляра будем называть углом преломления ( $p$ ).

Если при переходе луча из какой-нибудь I среды во II угол преломления получается меньше угла падения (луч приближается к перпендикуляру), то мы будем назы-

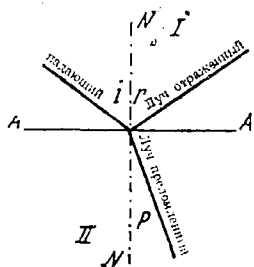


Рис. 509.

Луч переходит из менее преломляющей среды I в более преломляющую II.  $i$  — угол падения,  $r$  — угол отражения, равный  $i$ . Угол преломления  $p$  меньше  $i$ .

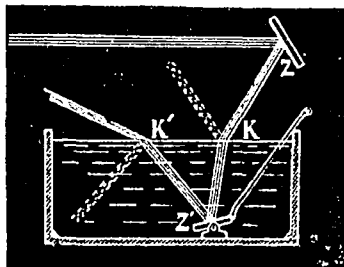


Рис. 508.

В точке  $K$  луч света преломляется, переходя из воздуха в воду.  $K'$  преломляется, переходя из воды в воздух.

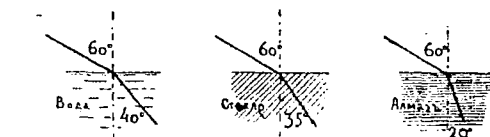


Рис. 510.

Различные вещества в различной степени преломляют луч света. При одинаковых углах падения ( $60^\circ$ ) получаются различные углы преломления.

вать II среду более преломляющей, чем I. Вода — среда более преломляющая, чем воздух. При переходе света из более преломляющей среды в менее преломляющую (напр., из воды в воздух) угол преломления всегда больше угла падения (луч удаляется от перпендикуляра).

При помощи особых приборов, которых не будем здесь описывать, можно чрезвычайно точно измерять углы падения и преломления для всевозможных прозрачных веществ.

Здесь мы ограничимся лишь указанием тех законов преломления, которые не связаны с измерениями величин углов.

I. Луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр к пограничной плоскости, восстановленный в точке падения, лежат в одной плоскости.

П. Преломление (изменение направления) луча тем больше, чем больше угол падения (**законы преломления света**).

При падении перпендикулярно к пограничной плоскости луч не преломляется; при наибольшем угле падения (почти  $90^\circ$ ) преломление наибольшее.

Различные вещества в различной степени преломляют лучи света (рис. 510).

В качестве примера явления, зависящего от преломления света, рассмотрим ход лучей от какой-нибудь точки, находящейся под водой. При выходе в воздух лучи отклоняются, удаляясь от перпендикуляров, и потому для глаза, смотрящего из воздуха, источник лучей должен казаться ближе к поверхности воды, чем он есть в действительности (рис. 511).

Во всех случаях преломления света справедливо следующее правило:

Если луч света, падая из первой среды под углом  $a$ , идет во второй среде под углом  $b$ , то луч, пущенный из второй среды под углом  $b$ , выходит в первую среду под углом  $a$  (рис. 510).

? Положите на дно чашки монету и поместите свой глаз так, чтобы край чашки как раз загоразивал эту монету. Если теперь в чашку влить воды, монета будет видна. Почему? Поясните явление, начертив ход лучей.

? Прямая палка, опущенная наклонно в воду, кажется надломленной у поверхности воды. В какую сторону? Почему?

? Положите на страницу книги кусок толстого зеркального стекла. Как искажается то, что видно через стекло, при различных углах зрения?

**266. Преломление света в пластинке и в призме.** Луч света, проходящий через слой преломляющего вещества, ограниченный параллельными плоскостями, преломляется и при входе в слой и при выходе из него, при чем направление выходящего луча параллельно направлению падающего (рис. 512).

Нетрудно сообразить, что этот закон есть прямое следствие правила, приведенного в конце § 265.

Явление удобно наблюдать, пропуская пучок света через воду в стеклянном сосуде с параллельными стенками.

Если смотреть сквозь стеклянную пластинку, ограниченную параллельными плоскостями, то все предметы, не искажаясь, представляются смещенными, при чем смещение тем больше, чем толще пластинка и чем косвеннее проходят через нее лучи.

При прохождении луча через преломляющую трехгранную призму преломление происходит на плоских гранях, образующих двухгранный угол. При входе в призму луч света отклоняется, приближаясь к перпендикуляру, а при выходе, — уда-



ляясь от перпендикуляра. Нетрудно сообразить, что при обоих этих преломлениях луч света, проходящий через призму,

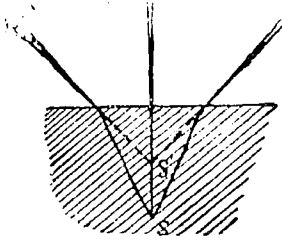


Рис. 511.

Благодаря преломлению лучей точка  $S$ , лежащая под водой, представляется лежащей в  $S'$  ближе к поверхности.

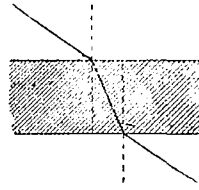


Рис. 512.

Луч, проходящий через пластинку, ограниченную параллельными плоскостями, выходит параллельно своему первоначальному направлению.

отклоняется в сторону расширения призмы (к ее «основанию»); рис. 513).

Ясно, что для подобного отклонения лучей нет надобности, чтобы преломляющее тело имело форму геометрической призмы. Если лучи будут проходить через какую-нибудь пластину с непараллельными границами, то они изменят свое направление в сторону утолщения пластины. В дешевых оконных стеклах толщина в разных местах различная, и потому лучи отклоняются различно, вследствие чего получают искажения видимых сквозь стекло предметов.

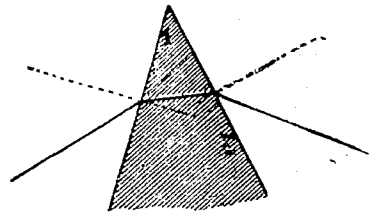


Рис. 513.

Луч, проходящий через призму, отклоняется в сторону расширения призмы.

? Поставив на лист бумаги стеклянную призму (или плоско-параллельный кусок стекла), смотрите сквозь нее на воткнутую в лист булавку и воткните еще несколько булавок так, чтобы они представлялись расположенными по одной прямой с первой (рис. 514 и 515). Как расположатся булавки?

? Начертите ход луча через две

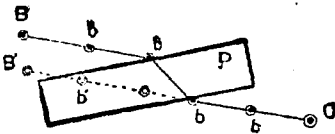


Рис. 514.

Для глаза, помещенного в точке  $O$ , булавки  $V, b, b'$ ... представляются расположенными по прямой  $V'b'b'O$ .

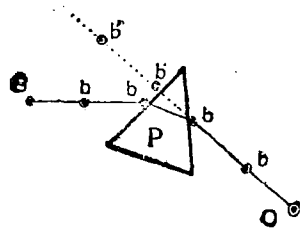


Рис. 515.

Для глаза, помещенного в  $O$ , булавки  $V, b, b'$ ... представляются расположенными по прямой  $V'b'b'O$ .

плоско-параллельные пластинки стекла, помещенные на некотором расстоянии параллельно одна от другой, или под некоторым углом.

? В куске стекла имеется воздушная полость, имеющая форму трехгранной призмы. Как должен преломляться луч света, проходя через эту призму?

**267. Полное внутреннее отражение:** Пусть лучи падают из менее преломляющей среды в более преломляющую (рис. 516), образуя всевозможные углы падения (от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ ).

Преломленные лучи будут получаться не под всевозможными углами, а только между  $0^\circ$  и некоторым и р е д е л ь н ы м острым углом преломления, который соответствует углу падения, равному  $90^\circ$ . Если теперь пускать лучи из второй среды

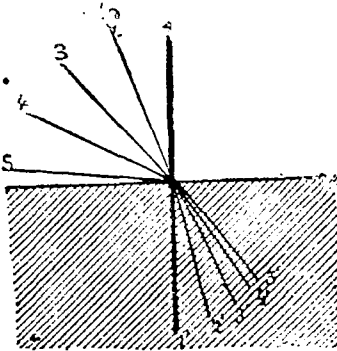


Рис. 516.

Лучи, падающие из первой среды по направлениям 1, 2, 3, 4, 5, идут во второй среде по направлениям 1', 2', 3', 4', 5'. Лучи, падающие из второй среды по направлениям 1', 2', 3', 4', 5', идут в первой среде по направлениям 1, 2, 3, 4, 5.

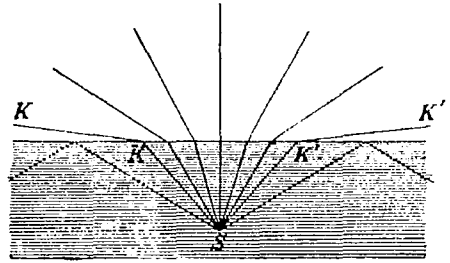


Рис. 517.

Лучи  $SKK$  и  $SK'K'$  падают под предельным углом. Лучи, падающие под меньшими углами, могут, преломляясь, выходить в верхнюю среду. Лучи, падающие под большими углами, отражаются назад в нижнюю среду (полное внутреннее отражение).

в первую, то лучи будут идти в обратном направлении теми же путями.

Лучи, идущие из второй среды под прежними углами преломления (от  $0^\circ$  до предельного угла), выйдут в первую среду под прежними углами падения.

Если же пустить луч из второй среды под углом больше предельного, то такой луч не выходит в первую среду; а весь отражается обратно во вторую среду. (Направление отраженного луча определяется известными законами отражения.)

Пуская луч света под разными углами из воды в воздух (рис. 518),

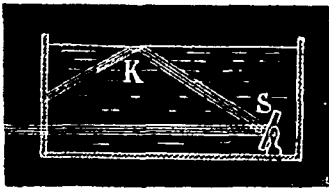


Рис. 518.

Полное внутреннее отражение от воздуха внутри воды. Луч  $SK$ , падая под углом больше предельного, не выходит в воздух, а весь отражается назад в воду.

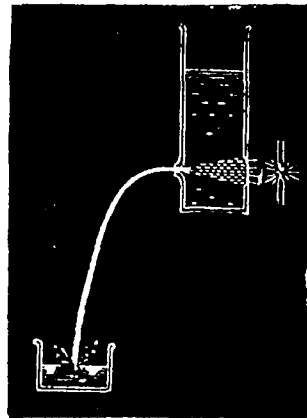


Рис. 519.

Пучок света, пущенный вдоль струи воды, освещает изгибающуюся струю по всей длине (светящийся фонтан)

нетрудно проследить, что, по мере увеличения угла падения, угол преломления достигает  $90^\circ$ , а при дальнейшем увеличении угла падения луч, не выходя в воздух, весь отражается назад в воду.

Итак, если угол падения луча, идущего из более преломляющей среды, больше предельного угла, то луч не выходит в менее преломляющую среду, но отражается от ее поверхности.

Это явление называют явлением полного внутреннего отражения.

Предельный угол иногда называют углом полного внутреннего отражения.

Чем сильнее преломление при переходе из одной среды в другую, тем меньше предельный угол. При переходе из воды в воздух предельный угол получается около  $48^\circ$ , а при переходе из стекла в воздух — около  $42^\circ$ .

Явление полного внутреннего отражения лежит в устройстве «светящихся фонтанов». Лучи, пущенные вдоль струи, вследствие многократного полного внутреннего отражения освещают всю струю (рис. 519).

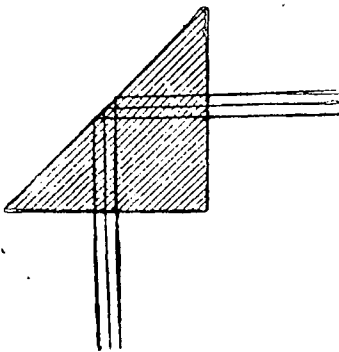


Рис. 520.

Полное внутреннее отражение лучей от грани стеклянной призмы.



Рис. 521.

Различные виды линз (оптических стекол).

? Налейте в стакан воды и вложите туда чайную ложку. Попробуйте смотреть на ту часть ложки, которая выступает из воды, поместив глаз несколько ниже поверхности воды и глядя сквозь нее. Виден ли верх ложки? Виден ли верх ложки, если смотреть снизу сквозь дно стакана?

? Опустите пустую пробирку наклонно в стакан с водой. Если глядеть сверху, пробирка представляется зеркальной; но эта зеркальность пропадает, если внутрь пробирки влить воду. Объясните это явление.

? Лучи света, перпендикулярно падающие на грань стеклянной призмы, сечение которой имеет форму равнобедренного прямоугольного треугольника, отражаются (рис. 520) от широкой грани, не входя в воздух. Почему?

(Такие призмы часто служат вместо зеркала в оптических приборах.)

? Если широкую грань призмы, указанной в предыдущей задаче, рассматривать сквозь ее узкую грань, то она представляется блестяще зеркальной, но если к какому-нибудь месту этой широкой грани приложить бумажку, смоченную водой, то получается темное пятно. Почему?

268. Оптические стекла или линзы. Линзами<sup>1</sup> называются прозрачные стекла, отшлифованные с двух сторон по шаровым поверхностям (иногда одна из поверхностей плоская).

<sup>1</sup> Слово «линза» происходит от немецкого Linse — чечевица. Оптические стекла иногда и по-русски называют «чечевицами». Такое название объясняется тем, что двояко выпуклая линза напоминает по форме чечевичное зерно,

По форме поверхностей линзы бывают шести видов: 1) двояково-выпуклые, 2) плоско-выпуклые, 3) вогнуто-выпуклые, 4) двояковогнутые, 5) плоско-вогнутые, б) выпукло-вогнутые. Первые три вида представляют собой группу собирающих линз, последние три — группу рассеивающих (рис. 521).

Собирающие линзы имеют утолщение к середине, а рассеивающие — к краям.

Нам достаточно рассмотреть свойства двояково-выпуклой линзы, как пример собирающей линзы, и двояковогнутой, как пример — рассеивающей.

Прямая, соединяющая центры двух шаровых поверхностей, ограничивающих линзу, называется главной оптической осью (или просто осью) линзы.

Мы будем рассматривать только такие линзы, толщина которых очень мала сравнительно с величинами радиусов тех поверхностей, которыми она ограничена.

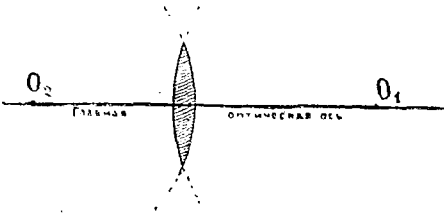


Рис. 522.

$O_1$  и  $O_2$  — центры шаровых поверхностей, ограничивающих линзу. Прямая  $O_1 O_2$  — ось линзы.

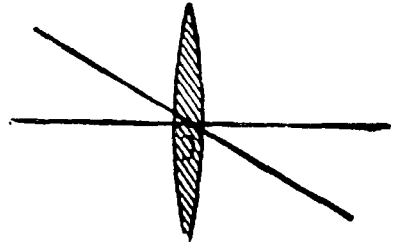


Рис. 523.

$C$  — оптический центр линзы. Всякий луч, проходящий через центр линзы (тонкой), проходит не изменяя своего направления.

Пренебрегая толщиной линз, мы будем рассматривать только направления лучей, падающих на линзы и выходящих из них, не рассматривая направлений лучей внутри самой линзы.

Точку, лежащую на оси в середине линзы, будем называть оптическим центром (или просто центром линзы) (рис. 523).

**269. Главные фокусы линз.** Если пустить пучок лучей (например, солнечных) параллельно главной оси двояково-выпуклой (собирающей) линзы, то лучи, преломившись в линзе, сойдутся за линзой в одну точку (рис. 524). Эту точку называют главным фокусом линзы (или просто фокусом).

Лучи могут падать параллельно оси линзы с двух противоположных сторон. Соответственно этому у каждой собирающей линзы имеются два главных фокуса, расположенных по обеим сторонам линзы.

Если пренебрегать толщиной самой линзы, то расстояния от линзы до обоих фокусов всегда одинаковы, хотя бы выпуклости линзы с той и другой стороны были различны,

Расстояние от линзы до ее фокуса называется фокусным расстоянием линзы.

Если пучок лучей пускается параллельно оси двояковогнутой (рассеивающей) линзы, то, преломившись в линзе, лучи идут, расходясь так, как будто они выходили из одной точки, находящейся по другую сторону линзы (рис. 525).

Эту точку называют мнимым фокусом рассеивающей линзы.

У всякой рассеивающей линзы два мнимых фокуса, расположенных на равных расстояниях по обе стороны линзы.

Фокусные расстояния линз зависят от кри-

вины поверхностей и от преломляющих свойств того вещества, из которого сделана линза. Чем кривее поверхности (чем меньше радиусы), тем круче преломляются лучи и тем ближе фокус. Чем сильнее преломляются лучи веществом линзы, тем ближе фокус.

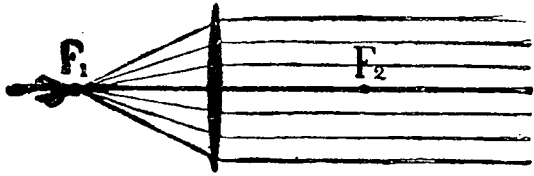


Рис. 524.

Лучи, падающие на собирающую линзу параллельно ее оси, после преломления собираются в ее главном фокусе  $F$ . Два главных фокуса  $F_1$  и  $F_2$  находятся на одинаковых расстояниях от линзы.

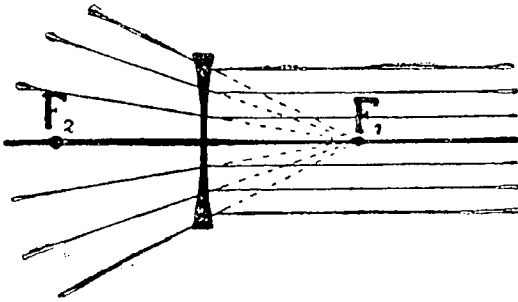


Рис. 525.

Лучи, падающие на рассеивающую линзу параллельно ее оси, после преломления расходятся так, что их продолжения сходятся в мнимом фокусе линзы  $F_1$ . Два фокуса  $F_1$  и  $F_2$  расположены на одинаковых расстояниях от линзы.

кусу, если фокусное расстояние мало в сравнении с расстоянием до предмета.

? Сравните преломление лучей в собирающей линзе, когда она окружена воздухом и когда она окружена водой. В каком случае преломление сильнее? Почему?

? В одном из романов Жюль Верна герои, попав на необитаемый остров, чтобы добыть огня, делают «зажигательное стекло», склеив два часовых стекла и заполнив промежуток водой. Нужно ли было наливать воду? Как проходили бы лучи через часовые стекла без воды?

**270. Изображения, получаемые при помощи линз.** Возьмем собирающую линзу и на далеком расстоянии от нее, приблизительно на ее оси, поместим свечу, тогда близ фокуса по другую сторону

? Исследуйте несколько линз (лупу, очковые стекла, стекла от биноклей и т. п.). Как отличить собирающие линзы от рассеивающих?

Определите приблизительно величины фокусных расстояний разных линз, наблюдая в дымном воздухе ход солнечных лучей после прохождения через линзу. Фокусные расстояния собирающих линз можно определять, получая на экране изображение достаточно удаленных предметов (свеча, окно). Изображение получается очень близко к фо-

1. Лучи, падающие на линзу параллельно ее оси, собираются в главном фокусе  $F_2$ .

2. Изображение светящей точки  $S$ , находящейся на оси дальше двойного фокусного расстояния, получается в сопряженной точке  $S'$  на расстоянии между фокусным и двойным фокусным расстоянием. Изображение предмета получается действительное, обратное, уменьшенное.

3. Изображение точки, находящейся на двойном фокусном расстоянии, получается в сопряженной точке также на двойном фокусном расстоянии. Изображение предмета получается действительное, обратное, по величине равное предмету.

4. Изображение точки  $S$ , находящейся между  $F_1$  и  $F_2$ , получается в сопряженной точке  $S'$  дальше  $F_2$ . Изображение предмета получается действительное, обратное, увеличенное.

5. Лучи, идущие от точки, лежащей в фокусе  $F_1$ , после преломления идут параллельно оси линзы. Лучи от других точек, лежащих в фокусной плоскости, после преломления выходят параллельными пучками в разных направлениях. Изображение предмета получается в бесконечном удалении бесконечной величины.

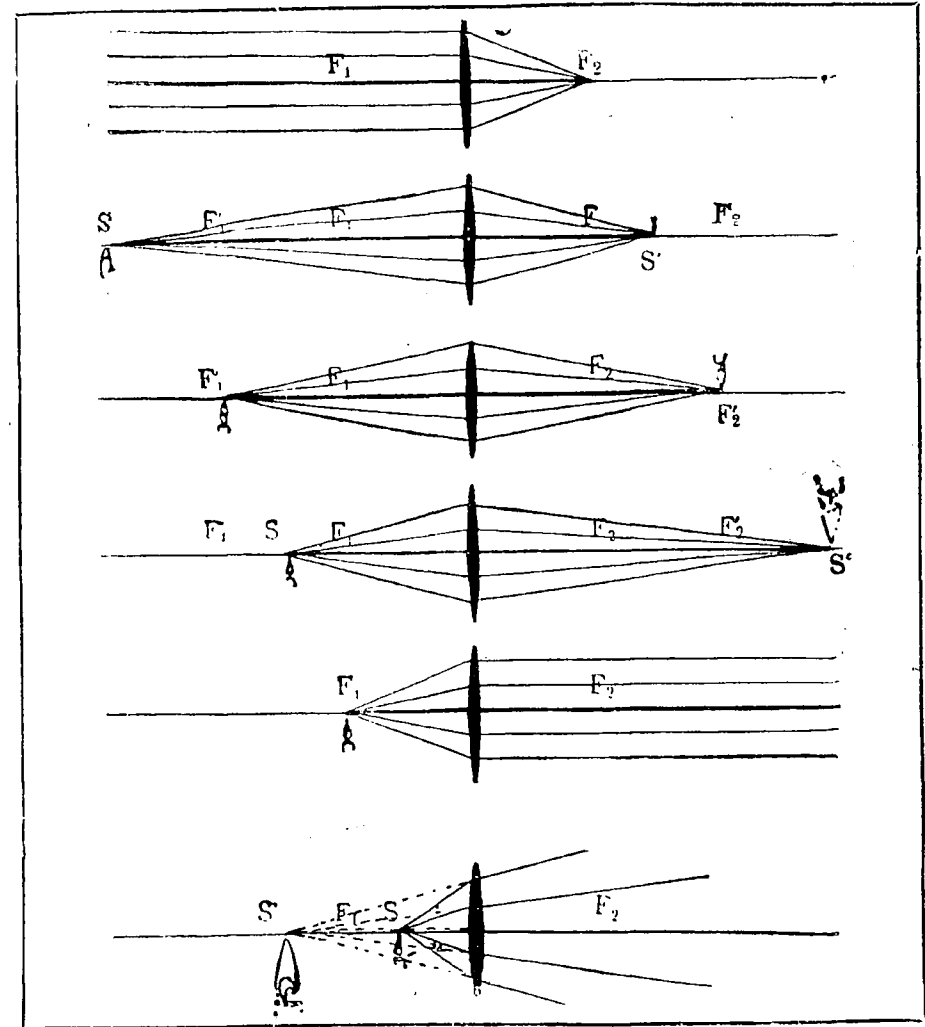
6. Изображение (мнимое) точки  $S$ , находящейся между линзой и ее фокусом, получается с той же стороны, где находится точка  $S$ , в точке  $S'$ , лежащей дальше от линзы. Изображение предмета получается мнимое, прямое, увеличенное.

Рис. 526. Различные виды изображений,

линзы получится (рис. 526) действительное обратное уменьшенное изображение свечи.

При приближении свечи ее изображение постепенно удаляется от линзы, увеличиваясь, но все же оставаясь меньше самой свечи.

Когда свеча остановится на двойном фокусном расстоянии от линзы, то ее действительное изображение оказывается также на двойном фокусном расстоянии по другую сторону линзы, при чем изображение имеет одинаковые размеры с самой свечой.



получаемых от собирающей линзы.

Если свечу еще приближать к линзе, то действительное изображение получается увеличенное по другую сторону за двойным фокусным расстоянием. По мере приближения свечи к линзе изображение удаляется и увеличивается до тех пор, пока свеча не доходит до главного фокуса.

Когда свеча помещается между линзой и ее главным фокусом, то лучи, преломившись в линзе, идут расходящимся пучком, образуя мнимое, увеличенное прямое изображение свечи.

В последнем положении собирающая линза действует как лупа (увеличительное стекло): поместив глаз по другую сторону линзы, вы увидите увеличенное (мнимое) изображение свечи.

Рассеивающая линза дает мнимые, уменьшенные прямые изображения предметов, находящихся на всяких расстояниях от линзы. Чтобы убедиться в этом, достаточно посмотреть сквозь рассеивающую линзу на разные близкие и далекие предметы.

**271. Построение изображений, получаемых от линз.** Построение изображения светящихся точек и предметов для линз достигается такими же приемами, как и для сферических зеркал.

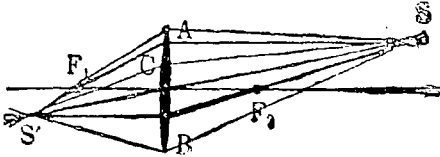


Рис. 527.

Луч  $SA$  после преломления идет через фокус  $F_1$ ; луч  $SF_2$  после преломления идет параллельно оси, луч  $SC$  проходит без преломления. Точка пересечения этих лучей  $S'$  есть изображение точки  $S$ .

Место изображения точки, лежащей недалеко от оси, определяется построением двух лучей, путь которых можно легко найти. В точке пересечения этих двух лучей пересекаются и все остальные лучи, падающие на линзу из той же светящей точки.

Зная положение фокусов и оптического центра линзы (рис. 527), легко построить три луча:

1. Луч, падающий на линзу параллельно ее оси. Этот луч после преломления в линзе проходит через главный фокус линзы.

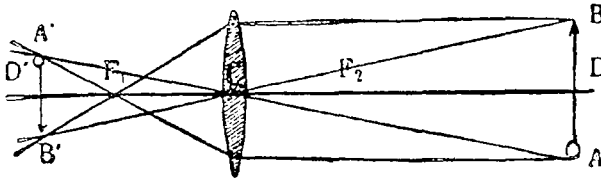


Рис. 528.

Построение действительного изображения в собирающей линзе.  $A'$ —изображение точки  $A$ ,  $B'$ —изображение  $B$ .— Величина изображения  $D'A'$  относится к величине предмета  $AB$ , как расстояние  $D'C$  к расстоянию  $DC$ .

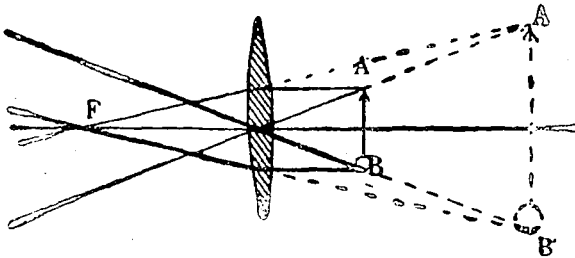


Рис. 529.

Построение мнимого изображения в собирающей линзе (в лупе).  $A$ —изображение (мнимое) точки  $A$ ,  $B'$ —изображение  $B$ .

2. Луч, падающий на линзу по направлению, идущему через ее фокус  $S$ . Этот луч после преломления идет параллельно оси линзы,

3. Луч, проходящий через оптический центр линзы. Этот луч можно считать (для тонких линз) проходящим через линзу прямолинейно (§ 268) без всякого преломления.

Построив любые два из этих трех лучей, можно найти изображение точки. Строя изображение отдельных точек, можно построить изображение предмета (рис. 528 и 529). Мы будем строить изображения простейшего предмета, состоящего из прямолинейного отрезка, изображение которого строится по изображениям двух его конечных точек.

Построение изображения для рассеивающей линзы достигается такими же приемами, следует только не забывать, что фокусы рассеивающих линз мнимые (рис. 530).

Следовательно:

1. Луч, падающий на рассеивающую линзу параллельно ее оси, после преломления отклоняется так, что его продолжение проходит через фокус линзы.

2. Луч, падающий на рассеивающую линзу по направлению к ее фокусу (лежащему за линзой), преломившись, идет параллельно оси.

Построив лучи, проходящие через центр линзы от верхней и нижней точки предмета, нетрудно усмотреть из чертежа, что отношение величин изображения к величине предмета пропорционально отношению их расстояний от линзы (рис. 528 и 529).

Это справедливо как для собирающей, так и для рассеивающей линзы (рис. 530).

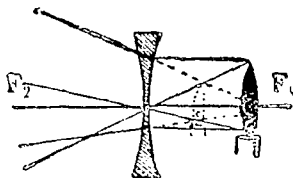


Рис. 530.

Построение мнимого изображения в рассеивающей линзе.

? Как следует расположить две собирающие линзы, чтобы пучок параллельных лучей после преломления в обеих линзах вышел снова параллельным пучком?

? Как решить предыдущую задачу для двух линз, из которых одна собирающая, другая рассеивающая? Всегда ли возможно решение задачи для таких двух линз?

? Дан луч, падающий на линзу по произвольному направлению. Какими призмами можно построить ход этого луча после преломления в линзе?

**272. Формула линзы.** Мы недостаточно подробно ознакомились с законами преломления света, чтобы суметь сделать в выводе формулы линзы, подобно тому, как мы сделали это для сферического зеркала. Приведем все-таки в готовом виде эту формулу, которая по виду совершенно одинакова с формулой зеркала. (Для собирающей линзы формула имеет тот же вид, что для вогнутого зеркала, а для рассеивающей — тот же, что для выпуклого.)

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} = \frac{1}{F}.$$

Здесь  $d_1$  есть расстояние от линзы до источника света,  $d_2$  — расстояние от линзы до изображения этого источника и  $F$  — фокусное расстояние линзы (от линзы до ее фокуса).

Расстояние  $d_2$  следует считать положительным, когда изображение действительно и получается по другую сторону линзы, считая от источника; в случае же мнимого изображения, получающегося с той же стороны, где находится источник, расстояние  $d_2$  — отрицательное.

Для рассеивающей линзы  $F$  — расстояние от линзы до ее мнимого фокуса следует считать отрицательным.

? Проследите справедливость формулы линзы для различных линз, измеряя расстояние от линзы до источника света и до его изображения в различных случаях,



? На каком расстоянии от собирающей линзы с фокусным расстоянием  $F$  следует поместить предмет, чтобы получить его действительное изображение с увеличением и уменьшением в два раза?

Вычислите расстояние по формуле и проверьте решение на опыте.

**273. Разложение света на цвета. Спектр.** Если тонкий пучок света (солнечного или вообще какого-нибудь «белого», не «цветного»)

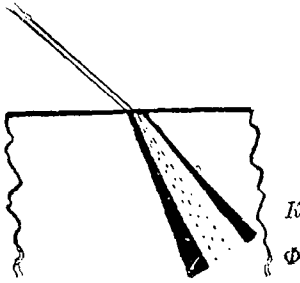


Рис. 531.

При переходе в преломляющую среду луч света разлагается на цвета. Между красными и фиолетовыми лучами располагаются остальные цвета радуги.

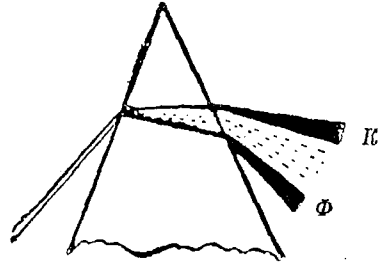


Рис. 532.

Разложение луча света на цвета при прохождении через преломляющую призму. Между красными и фиолетовыми лучами располагаются остальные цвета радуги.

преломляется, переходя из воздуха в воду, то можно заметить, что свет после преломления приобретает окраску. Преломленный пучок света состоит из разноцветных лучей, при чем лучи, преломившиеся менее других, имеют красный оттенок, а преломившиеся более других — сине-фиолетовый (рис. 531).

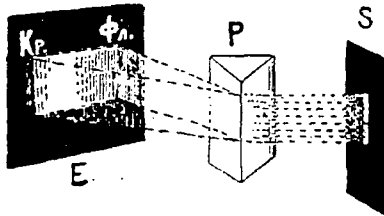


Рис. 533.

Белый пучок света, выходящий из щели  $S$  и преломляющийся в призме  $P$ , дает спектр на экране  $E$ . Наименее отклоняются красные лучи, наиболее — фиолетовые.

Подобное явление происходит



Рис. 534.

Схема маленького спектроскопа «прямого зрения». Лучи преломляются в призмах  $P$ . Глаз, помещенный в  $O$ , рассматривая щель  $S$  через линзу  $L$ , видит спектр, средняя часть спектра которого видна по оси трубки.

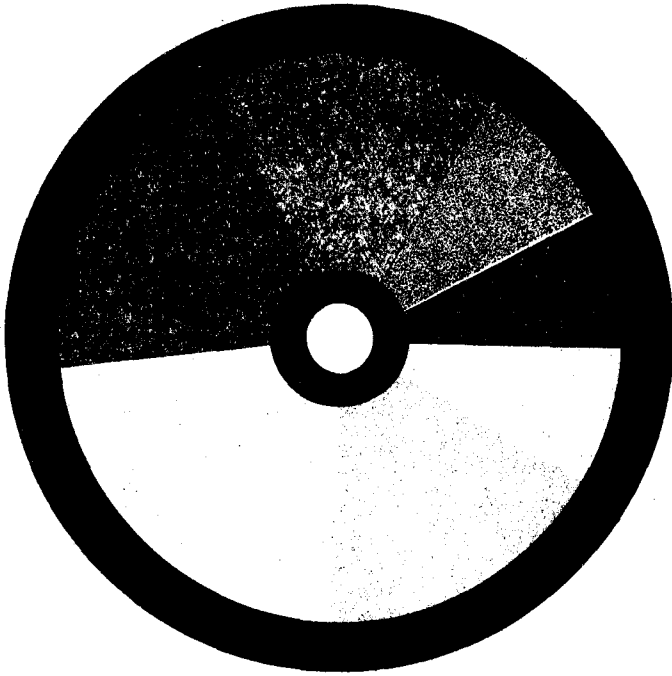
в более или менее заметном виде при всяком преломлении света. Луч белого света при переходе в преломляющую среду разлагается на цветные лучи.

Явление разложения света на цвета гораздо удобнее наблюдать, пропуская пучок света через преломляющую призму; в этом случае расхождение лучей разных цветов, начинающееся при входе в призму, значительно усиливается при выходе из нее (рис. 532).

Пустите в затемненной комнате пучок белого света на экране так, чтобы на экране получалось небольшое белое пятно («зайчику»). Если на пути лучей поставить призму, то, преломившись в ней, лучи откло-

Таблица IV

НЬЮТОНОВ КРУГ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЦВЕТОВ.



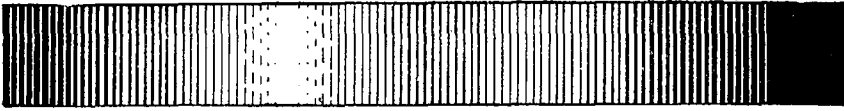
ТРИ ПАРЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЦВЕТОВ.

Каждая пара в сумме дает белый цвет.



няются в сторону расширения призмы, и светлое пятно, во-первых, передвигается на экране, во-вторых, приобретает радужную окраску, при чем всего ближе к первоначальному положению пятна будет красный конец радуги, а всего дальше — фиолетовый.

Такое радужное пятно, получающееся при разложении света на цвета, называют **спектром**.



КРАСНЫЙ ОРАНЖЕВЫЙ ЖЕЛТЫЙ ЗЕЛЕНЫЙ ГОЛУБОЙ СИНИЙ ФИОЛЕТОВ

Рис. 535.

Спектр.

Чтобы различные цвета спектра не смешивались, налагаясь друг на друга, пучок следует пропускать через узкую щель (рис. 533), параллельную ребрам призмы.<sup>1</sup>

Пропуская свет через несколько призм, можно получить более «растянутый» спектр, т.-е. такой, в котором расстояние между различными цветными оттенками больше.

Получение спектров в большом размере на экране представляет то удобство, что в этом случае спектр сразу виден несколькими наблюдателям, но для более тщательных исследований более пригодны особые приборы («спектроскопы»), в которых спектр (его мнимое изображение) рассматривается через лупу.

Для примера укажем маленький спектроскоп «прямого зрения», по внешнему виду похожий на небольшую зрительную трубку. Свет входит в трубку через щель и затем, преломившись в трех призмах, дает спектр, ясно видимый глазу, смотрящему с другого конца (рис. 534).

Такой спектроскоп даже маленького размера (карманный) позволяет очень отчетливо наблюдать все замечательные подробности спектров, о которых мы будем говорить ниже.

В очень узком спектре ясно различаются три цвета: красный, зеленый и синий. В широком, растянутом спектре различных цветов и оттенков бесчисленное множество, так как цвета переходят один в другой через сплошной ряд промежуточных окрасок.

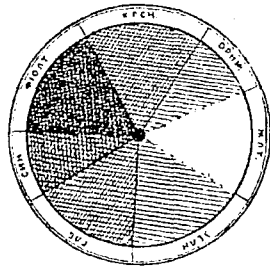


Рис. 536.

Ньютонов круг, секторы которого окрашены различными цветами спектра. При вращении круга цвета сливаются, давая впечатление белого цвета

<sup>1</sup> Для большей «чистоты» спектра полезно между щелью и призмой поместить собирающую линзу на таком расстоянии, чтобы на экране получалось действительное изображение щели.

Со времен Ньютона принято различать семь главных цветов спектра (по порядку их расположения в спектре, начиная с менее преломляющихся лучей):

красный,	голубой,
оранжевый,	синий
желтый,	фиолетовый.
зеленый,	

**274. Смешение цветов радуги (спектра) дает белый цвет.** Ньютон (в 1666 г.) первый понял, что спектр получается вследствие разложения белого луча на цветные. Чтобы убедиться в том, что белый цвет действительно представляет собой смесь цветных лучей, Ньютон делал различные опыты смешения спектральных цветов, при чем в сумме получался белый.

Если на пути цветных лучей, выходящих из призмы, поставить собирающую линзу, то цветные лучи, собравшись вместе, дают белое пятно.

Еще убедительнее опыт Ньютона с цветным кругом. Если окрасить секторы круга в различные цвета, насколько возможно близкие к цветам спектра, то при быстром вращении круга цвета отдельных секторов сливаются, и круг представляется белым.

Опыт можно произвести с кругом, изображенным на приложенной таблице IV. Вырезав этот круг и наклеив на картон, его следует насадить серединой на какую-нибудь ось. Тогда при быстром вращении круга цвета сливаются, образуя один сероватый фон. Некоторая цветность этого фона зависит от недостаточно верного подбора красок, а сравнительно темная окраска зависит от того, что такой круг отражает, конечно, меньше лучей, чем если бы он был белым, т.е. если бы каждая его точка отражала все лучи спектра.

? Посмотрите сквозь призму на узкую светлую щель. В каких окрасках представляется эта щель? Как расположены цвета?

Вместо узкой щели удобно пользоваться узкими ясными бликами на тонких металлических проволоках (напр., на стальной иглке).

? Получив на экране спектр от узкой щели, увеличивайте постепенно ее ширину. Как видоизменяется при этом спектр? Почему при очень широкой щели вместо спектра получается белое пятно с цветными каймами? Какого цвета каймы? С какой стороны какой цвет?

**275. Цвета и окраски. Дополнительные цвета.** Поместите на том месте экрана, где получается спектр, лоскут красного кумача или сукна; вы увидите ярко-красное пятно на том месте, куда попадают красные лучи, в остальных местах лоскут кажется почти черным, остальные лучи спектра как бы не освещают его. Красный лоскут отражает (рассеивает) красные лучи и поглощает остальные. Получите спектр на фоне яркого зеленого сукна, вы получите яркое освещение только зеленой части спектра; в остальных местах лучи поглощаются, сукно будет казаться черным.

На фоне желтой материи виден почти весь спектр без фиолетового конца. Обыкновенные желтые краски могут служить примером «сложного» цвета, состоящего из совокупности многих спектральных цветов.

Мы знаем, что на белом экране ярко видны все цвета спектра, следовательно, белый фон отражает все лучи спектра. Наоборот, на очень черном фоне

(черный бархат) спектра почти не видно. Черный фон поглощает лучи всех цветов. Черный цвет можно характеризовать, как «отсутствие какого бы то ни было цвета».

Среди бесчисленных разнообразных цветных тонов мы замечаем много таких, каких нет среди цветов спектра, например: розовый, лиловый, коричневый и т. п. Все такие цвета слагаются из различных спектральных цветов, смешанных в разных пропорциях. Глядя на сильно освещенную цветную поверхность через спектроскоп, можно определить состав цвета.

Зажгите в темной комнате спиртовую или газовую горелку, внеся в ее пламя поваренную соль (хлористый натрий). Раскаленные пары натрия придадут пламени яркую желтую окраску. Так как темное пламя испускает только желтые лучи, то свет отражается только от таких предметов, которые способны отражать эти лучи; все другие окраски при таком освещении представляются черными: Пестрые материи, разноцветные картинки, разных окрасок цветы представляются в одних желтых тонах различной густоты. Благодаря тому, что красные оттенки представляются черными, лицо человека приобретает трупную окраску; румянец, губы кажутся совсем черными.

Если тот пучок света, который образует спектр на экране, загородить цветным стеклом, то спектр получается не полный: стекло пропускает одни лучи и поглощает другие.

Например, темно-красное стекло пропускает только красный конец спектра, а зеленое<sup>1</sup> стекло пропускает среднюю часть спектра, поглощая и красный и фиолетовый конец.

Если осветить белый экран двумя источниками белого света, загородив один из них красным стеклом, другой — зеленым, то освещение экрана получится почти белое, так как от того или другого источника на него попадут почти все лучи спектра.

Совершенно иное получается, если экран освещен одним источником, который загороживается и красным и зеленым стеклом. В этом случае почти все лучи поглощаются либо тем, либо другим стеклом; экран совсем не освещается.

Смешивая, например, красную и зеленую акварельную краску, мы получаем на белой бумаге темное, грязное пятно. Свет проходит сквозь слой краски до бумаги и назад, отразившись от бумаги, при чем, как в сложенных стеклах, поглощаются почти все лучи. Для понимания многих явлений, касающихся цветности, необходимо отчетливо уяснить себе разницу между этим смешением красок и ранее упомянутым смешением цветных лучей.

Представьте себе, что имеется некоторый цвет, составленный смешением каких-нибудь спектральных цветов. Если составить второй цвет из остальных спектральных цветов (не вошедших в первый), то эти два цвета будут, как говорится, доplementaryми один к другому.

Из определения дополнительных цветов следует, что соединении двух дополнительных цветов дает белый цвет.

Существуют приборы, позволяющие различным образом разлагать белый цвет на два дополнительных цвета. (Таких пар дополнительных цветов может быть, очевидно, бесчисленное множество.) Но и без-всяких приборов легко наблюдать дополнительный цвет к любому данному цвету. Если пристально смотреть некоторое время (около минуты) на тело какого-нибудь цвета, а после перевести глаза на белую поверхность (лист бумаги, потолок), то глазам представляется пятно, окрашенное в дополнительный цвет. Явление это объясняется тем, что глаз, продолжительное время раздражаемый лучами какого-нибудь цвета, теряет чувствительность именно к этому цвету, но сохраняет чувствительность к остальным лучам. Утомленный глаз сильнее воспринимает те лучи, каких не было в утомившем его свете.

Наблюдая дополнительные цвета указанным способом, вы легко можете проследить, что красные оттенки дополняются зелеными, синие — оранжевыми, фиолетовые — желтыми.

На таблице IV даны три пары цветов, приблизительно дополнительных друг к другу.

<sup>1</sup> Красное и зеленое стекло здесь предполагаются таких сортов, какие обыкновенно употребляются для железнодорожных сигнальных фонарей.

- ? Положите на белом фоне несколько разноцветных кусков материи или бумаги и смотрите на них сквозь разные цветные стекла. Объясните изменение окрасок, которые представляются при зрении через цветные стекла.
- ? Если все цвета спектра заменить дополнительными, получится ли спектр с обратным расположением цветов?

**276. Спектр вольтовой дуги и спектр солнца. Фраунгоферовы линии.** Свет, испускаемый вольтовой дугой, при разложении на цвета дает спектр, содержащий все цвета с совершенно непрерывными переходами от одного цвета к другому. Подобные спектры называют «непрерывными» спектрами (см. 1-й спектр таблицы V).

При грубо поставленном опыте (широкая щель, слабое преломление в призме) спектр солнечного света также представляется непрерывным, но более точные наблюдения обнаруживают,



Рис. 537.

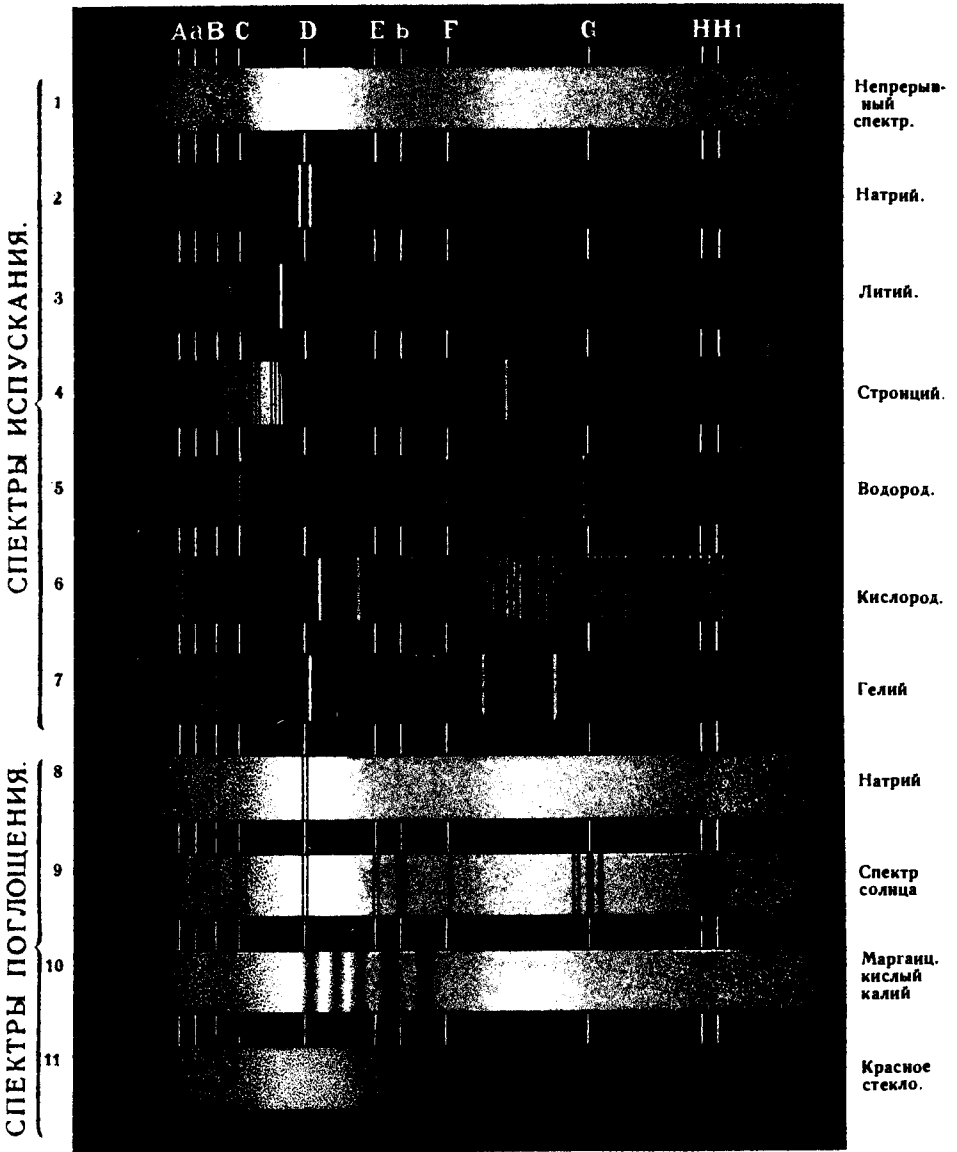
Иосиф Фраунгофер (1787—1826) — немецкий физик, ученый конструктор точных оптических приборов.

что в спектре всегда, в вполне определенных местах, есть темные перерывы в виде тонких темных линий поперек спектра (см. 9-й спектр на таблице). Эти темные линии называются «фраунгоферовыми», по имени немецкого ученого, впервые точно изучившего их расположение.<sup>1</sup> Наиболее заметные линии Фраунгофер обозначил большими и малыми буквами латинской азбуки. Эти главные линии можно легко видеть при помощи небольшого спектроскопа, для чего нет надобности направлять спектроскоп непременно на солнце, а достаточно направить на любое место неба, даже покрытого облаками. Сам Фраунгофер мог подметить сравнительно немного линий, но позднейшие исследования при помощи усовершенствованных спектроскопов обнаружили в спектре солнца много тысяч фраунгоферовых линий. Ниже будет указано, какое важное значение имеет изучение фраунгоферовых линий для изучения солнца.

**277. Три типа спектров. Спектральный анализ.** I. Непрерывные (сплошные) спектры. Спектр вольтовой дуги может служить примером «непрерывного» спектра. Такие же непрерывные спектры получают: от калильной лампы, от сильно раскаленного железа или платины, от сетки спиртокалильной или керосинокалильной лампы; от пламени свечи, лампы, газового рожка и т. п.

<sup>1</sup> Фраунгоферовы линии были открыты раньше английским ученым Волластоном.

Таблица V







Непрерывные спектры получаются во всех случаях, когда источником света является раскаленное твердое или жидкое<sup>1</sup> тело.

Твердое тело, например, кусок железа, постепенно раскаливаемое, сперва дает только красный свет («вишнево-красное» каление), которое по мере нагревания желтеет и затем белеет («белое» каление).

Если следить за светом при помощи спектроскопа, то сперва получается один лишь красный конец спектра, к которому затем присоединяется оранжевый, желтый и т. п. по порядку расположения. Белому калению соответствует испускание полного непрерывного спектра.

II. Прерывистые (линейчатые) спектры. Если посмотреть через спектроскоп на пламя спиртовой горелки, в которую введена поваренная соль, то весь спектр состоит из одной<sup>2</sup> узкой желтой линии (см. 2-й спектр на таблице).



Рис. 538.

Густав Кирхгоф (1824—1887) — немецкий физик, сделавший ряд важных исследований в различных областях физики.

Роберт Бунзен (1811—1899) — немецкий химик, автор многочисленных замечательнейших открытий и исследований в химии и физике.

В 1860 г. Кирхгоф и Бунзен, в то время профессора Гейдельбергского университета, открыли метод химического исследования вещества при помощи спектрального анализа.

Если в пламя ввести соль стронция, то пламя приобретает красную окраску («красный бенгальский огонь»), а в спектре получается целый ряд узких линий (группа линий в красном и оранжевом цвете и одна линия в синем; см. 4-й спектр на таблице).

Смотря через спектроскоп на сияние в гейслеровской трубке, содержащей водород, увидим три яркие линии (красная, зеленая и синяя; см. 5-й спектр на таблице).

Описанные спектры представляют собой примеры прерывистых или линейчатых спектров.<sup>3</sup>

Если источником света служит раскаленный газ (или пар), то получается прерывистый спектр, состоящий из отдельных светлых

<sup>1</sup> В пламени свечи, лампы и т. п. свет испускается сгорающими твердыми частицами угля, которые, если не сгорают до конца, дают копоть.

<sup>2</sup> В спектроскопе, достаточно сильно раздвигающем лучи, можно заметить, что эта желтая линия состоит из двух очень близких друг к другу линий.

<sup>3</sup> Следует ясно представлять себе, что каждая из линий линейчатого спектра есть не что иное как оптическое изображение щели спектроскопа. Вследствие преломления в призмах изображения разных цветов попадают в разные места.

линий, при чем расположение этих линий различно для различных газов (или паров).

Замечательное свойство химических элементов давать линейчатые спектры и особенно для каждого элемента состава лежит в основе так называемого «спектрального анализа», открытого и разработанного Кирхгофом и Бунзенем.

Каждому химическому элементу соответствует свой, характерный для него линейчатый спектр «испускания».

Вводя исследуемое вещество в пламя газовой («бунзеновской») горелки и наблюдая пламя при помощи спектроскопа, по составу спектра можно определить присутствие в веществе тех или других элементов, при чем такой метод позволяет определить состав вещества, имеющегося в невообразимо малом количестве (заметная желтая окраска пламени получается, например, от присутствия менее чем миллиардной доли грамма натрия).

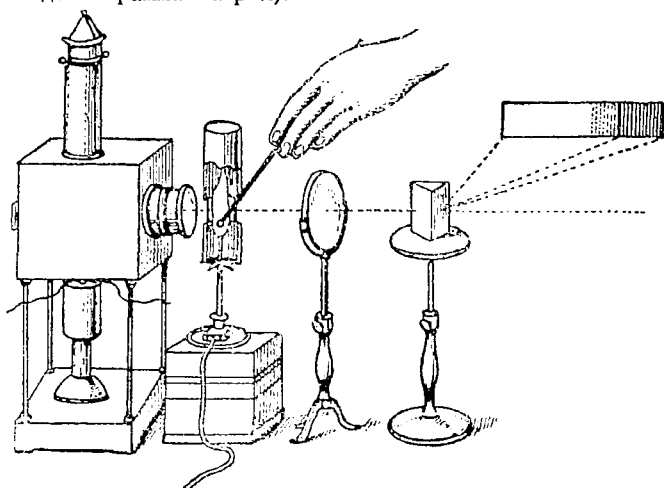


Рис. 539.

Расположение приборов для получения спектра поглощения. На пути белого луча света помещается пламя, содержащее раскаленные пары натрия.

Некоторые редко встречающиеся химические элементы были открыты по линиям в спектрах их паров. Таким путем Кирхгоф и Бунзен открыли рубидий и цезий.

Присутствие в спектре солнечной хромосферы ярко-желтой линии, не соответствующей ни одному из известных элементов, заставило предположить, что на солнце существует особый элемент, который назвали гелием.<sup>1</sup> Впоследствии гелий был открыт и в земных минералах.

**III. Спектры поглощения.** Если по пути белого света (дающего сплошной спектр) помещается какое-нибудь вещество, поглощающее часть лучей спектра, то в результате получается «спектр поглощения», т.е. спектр с темными частями на местах некоторых цветов.

<sup>1</sup> От греческого *ἥλιος* (гелиос) — солнце. Это название теперь имеет смысл лишь как напоминание того, что этот элемент был замечен на солнце на десять лет раньше, чем на земле.

Загораживая свет цветными стеклами, получаем спектры с широкими областями поглощения. Красное стекло, например, пропускает только красный конец спектра, поглощая все остальное (см. спектр 11-й на таблице).

Жидкие цветные растворы дают иногда спектры поглощения с сравнительно неширокими темными полосами.

Так, например, слабый водный раствор марганцово-кислого калия дает пять отдельных темных полос в зеленой части спектра (см. 10-й спектр на таблице).

При изучении различных спектров Кирхгоф сделал замечательное открытие. Если лучи белого света проходят через раскаленный газ (или пар), то этот газ (или пар) поглощает как раз те лучи, какие сам испускает. Получается спектр поглощения этого газа, представляющий собой «обращенный» спектр испускания, т.е. на фоне сплошного спектра получаются узкие темные линии в тех местах, где получаются светлые, когда газ сам служит источником света.

Явление нетрудно воспроизвести, пропуская свет вольтовой дуги через газовое пламя, содержащее раскаленные пары натрия. Получается спектр с черной полосой на месте тех желтых лучей, какие испускаются парами натрия (см. 8-й спектр на таблице).

Открытие этого явления дало возможность объяснить происхождение «фраунгоферовых линий» в солнечном спектре, который, конечно, есть спектр III типа, т.е. спектр поглощения. Ядро солнца испускает белый свет (дающий сплошной спектр), который проходит через солнечную атмосферу, при чем различные пары и газы, составляющие эту атмосферу, поглощают часть лучей. По расположению «фраунгоферовых линий» можно судить о том, какие именно вещества содержатся в атмосфере солнца. Подобное изучение солнечного спектра обнаружило присутствие на солнце многих химических элементов, между прочим: натрия, водорода, углерода, железа и пр. Некоторые немногие из темных линий в спектре солнца оказались земного происхождения, т.е. получаются вследствие поглощения лучей в атмосфере земли.

Спектральный анализ дает возможность изучать химический состав и физическое состояние не только различных частей солнца, но и отдаленнейших звезд, туманностей, комет и прочих небесных тел.

## 278. Несветящие лучи.

Все лучи спектра более или менее сильно нагревают то место, на которое они падают. Для исследования этого нагревания особенно удобно пользоваться термоэлектрическим столбиком (стр. 291). Помещая подобный столбик в разных местах спектра (солнца или вольтовой дуги), можно заметить, что вообще более сильное нагревание производит красный конец спектра. Если сдвинуть столбик в темную область за красным концом спектра, там также наблюдается значительное нагревание. Сюда попадают несветящие, невидимые глазами — «инфракрасные» лучи. Чтобы

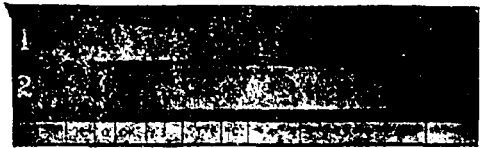


Рис. 540.

1. Действие различных лучей спектра на глаз: наиболее яркой представляется желто-зеленая часть спектра; красный и, особенно, сине-фиолетовый конец представляются темными.

2. Действие различных лучей спектра на обыкновенную фотографическую пластинку: наиболее сильно действуют фиолетовые и ультра-фиолетовые лучи, красные и желтые почти не оказывают действия.

эта инфра-красная часть спектра была особенно заметна, стеклянную призму полезно заменить призмой из каменной соли (или некоторых других минералов), так как стекло, совершенно прозрачное для видимых лучей, сильно поглощает инфра-красные.



II

Рис. 541.

Фотографические снимки на обыкновенной (I) и ортохроматической (II) пластинке. (Срезано со снимков, сделанных проф. К. А. Тимирязевым.)

В существовании несветящих, но нагревающих лучей можно убедиться таким опытом. Если небольшую круглую колбу наполнить совершенно непрозрачным раствором иода в сероуглероде, то эта колба все же будет пропускать инфра-красные лучи, которые, преломившись в колбе как в линзе, сойдутся в невидимый фокус, где нагревание можно заметить наощупь или по взрыву помещаемого туда пироксилина, зачерненного сажей.

Прозрачная для видимых лучей вода (особенно водный раствор квасцов) сильно поглощает инфра-красные лучи. В проекционных фонарях кинематографов на пути лучей ставят сосуд с водой, чтобы ослабить нагревание ленты.

За фиолетовым концом спектра есть также невидимые «ультра-фиолетовые» лучи, но их трудно подметить по нагреванию, которое ничтожно; зато их легко проследить по их химическому действию на фотографическую пластинку (или бумагу).

Спектр вольтовой дуги, полученный на фотографической пластинке,<sup>1</sup> почти не дает отпечатка красной и желтой части спектра, но дает сильный отпечаток всего фиолетового конца и еще значительный ультра-фиолетовой области. Стекланные призмы и линзы сильно поглощают ультра-фиолетовые лучи, и потому эти лучи несравненно лучше получаются при замене стекла кварцем (горным хрусталем).

Как инфра-красные, так и ультра-фиолетовые лучи распространяются, отражаются и преломляются, следуя тем же законам, что и видимые лучи.

В невидимых частях солнечного спектра обнаруживаются перерывы, аналогичные фраунгоферовым темным линиям в видимой части.

? Почему для вышеописанного опыта с раствором, пропускающим инфра-красные лучи, рекомендовалось зачернить пироксилин?

? Почему летом предпочитают белые одежды?

Если вы срисовываете карандашом желтый и синий цветок, который вы затушуете темнее? Какой выходит темнее на фотографическом снимке (см. рис. 541)?

? Какое освещение употребляется в темных фотографических комнатах?



Рис. 542.

Луи Дагерр (1789 — 1851) — изобретатель первого практически применимого фотографического метода, так называемой дагерротипии. Снимки по способу Дагерра делались на медных посеребренных пластинках (дагерротипы).

## 279. Химические действия света.

**Фотография.** Световые лучи способны так или иначе воздействовать на очень многие разнообразные химические реакции, из которых упоминаем лишь три.

Если в темноте смешать равные объемы водорода и хлора, то, оставаясь в темноте, они не соединяются. При освещении смеси рассеянным светом происходит постепенное соединение (получается соляная кислота), а при ярком освещении (вспышка магния) происходит моментальное соединение, сопровождающееся взрывом.

В зеленых частях растений (хлорофилл) под влиянием света происходит разложение углекислого газа, при чем углерод усваивается растением, а кислород освобождается. Наибольшее действие оказывают поглощаемые хлорофиллом красные лучи.

Свет может производить химические действия (равно как и нагревание) только в таких веществах, которые поглощают лучи. Энергия лучей непременно должна уменьшиться, чтобы создалась энергия какого-нибудь другого вида.

Химическое действие света, на котором основывается фотография, заключается в том, что под влиянием света соли серебра (хлористое, бромистое, иодистое серебро) приобретают свойство разлагаться под действием различных «проявителей».

Светочувствительный слой фотографических пластинок обыкновенно делается из желатина, содержащего соли серебра. После «экспозиции», т.е. после того, как на пластинке было получено изображение снимаемого предмета, пластинка

<sup>1</sup> Здесь подразумевается обыкновенная светочувствительная пластинка. Существуют особые («ортохроматические») пластинки, более чувствительные к желтым лучам и менее чувствительные к синим (см. рис. 541).

погружается в проявитель, при чем освещенные места чернеют, благодаря выделению металлического серебра.

После удаления неразложившей соли («фиксирование») получается «негатив» (рис. 543). Наложив негатив на светочувствительную бумагу и выставив на свет, получают «позитив», в котором темные места соответствуют светлым местам негатива. Позитивное изображение также фиксируется удалением неразложившейся соли с светлых мест.



Рис. 543

**280. Флуоресценция и фосфоресценция.** Налейте в небольшие колбы: керосин, раствор серно-кислого хинина, раствор флуоресценции, раствор хлорофилла (есть и еще много веществ, дающих такие же явления) и осветите эти жидкости светом вольтовой дуги (или магния). Освещенные жидкости сами будут светиться разными цветами: керосин и хинин — голубым, флуоресценция — зеленым, хлорофилл — кроваво-красным светом. Свечение делается заметнее, если жидкости освещать через синее или фиолетовое стекло, так как свечение возбуждается фиолетовыми и ультра-фиолетовыми лучами, остальные же лучи только мешают наблюдать возбужденное свечение.

Явление такого свечения называется **флуоресценцией**.<sup>1</sup>

Способностью флуоресцировать под влиянием света, а также электрических разрядов X-лучей (§ 204) обладают многие твердые, жидкие и газообразные вещества. Очень ярко флуоресцирует желто-зеленым светом «урановое» стекло.

Отбрасывая спектр на экран, покрытый флуоресцирующим веществом, можно, благодаря свечению, ясно видеть те места, куда падают ультра-фиолетовые лучи спектра.

С прекращением освещения прекращается и свечение флуоресцирующих веществ.

<sup>1</sup> Слово происходит от названия минерала флуорита, на котором явление было подмечено.

Особое явление представляет собой свечение, сохраняющееся некоторое время после того, как освещение прекращено.

Способностью такого свечения, называемого флюоресценцией, в сильной степени обладают сернистые соли щелочных металлов (кальция, бария, стронция). Состовами из этих солей покрываются различные, светящиеся в темноте, предметы: спичечницы, циферблаты часов, карточки и т. п.

Для возбуждения флюоресценции особенно удобен богатый ультрафиолетовыми лучами свет магния.

## 281. Оптические приборы.

I. Приборы, дающие действительные изображения.

1. Фотографический аппарат. В фотографическом аппарате действительное (обратное) изображение на пластинке получается при помощи объектива, представляющего собой собирающую систему линз (на рис. 544 в упрощенной схеме — одна линза).

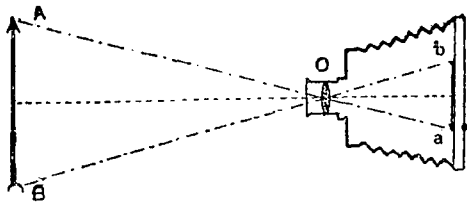


Рис. 544.

Схема фотографической камеры. Объектив *O* дает действительное изображение на пластинке.

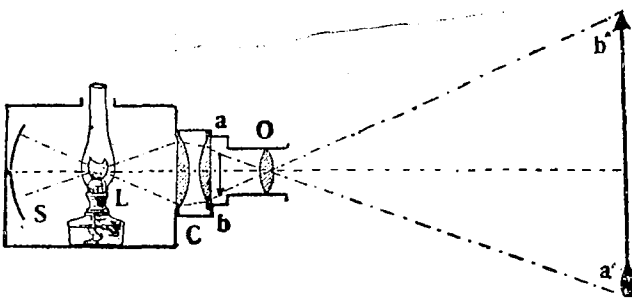


Рис. 545.

Схема проекционного (волшебного) фонаря. Лучи от источника света *L*, усиленные отражением от рефлектора *S*, собираются на картинку конденсатором *C*. Объектив *O* дает увеличенное действительное (обратное) изображение картинки.

Если фокусное расстояние объектива велико, приходится значительно изменять расстояние от объектива до пластинки при съемках на различных расстояниях (раздвижные камеры).

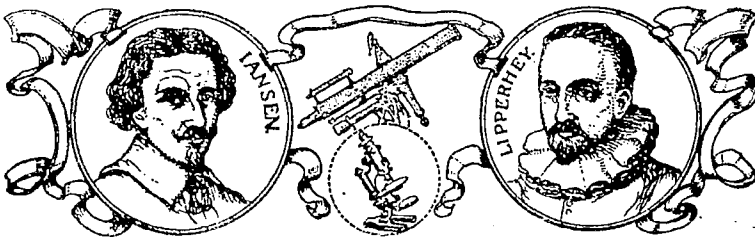


Рис. 546.

Янсен и Липпергей, голландские оптики начала XVII века, которым приписывается изобретение микроскопа и астрономической трубы.

При небольшом фокусном расстоянии все не слишком близкие предметы дают изображение почти в фокусной плоскости (камеры с постоянным фокусом).



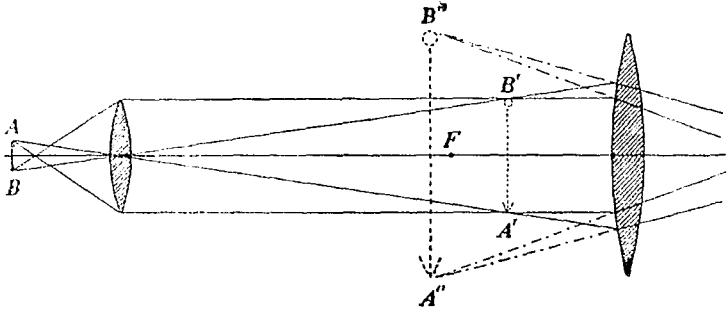


Рис. 547.

Схема хода лучей в сложном микроскопе. Предмет  $AB$  помещается перед объективом, который дает действительное изображение  $A'B'$ . Окуляр дает мнимое изображение  $A''B''$ .



Рис. 548.

Внешний вид микроскопа. Внизу помещается зеркальце, отбрасывающее лучи на рассматриваемый предмет.

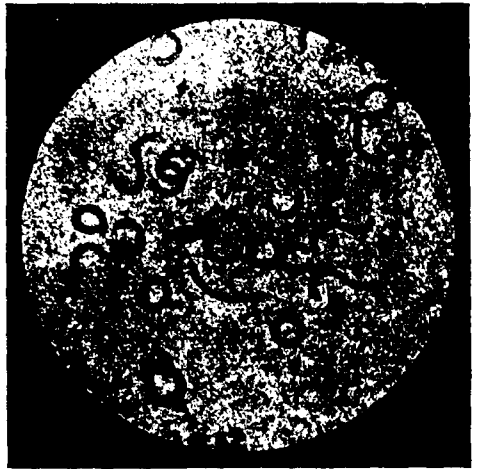


Рис. 549.

Бактерии в воде. Видимые в микроскоп при увеличении в 1000 раз.

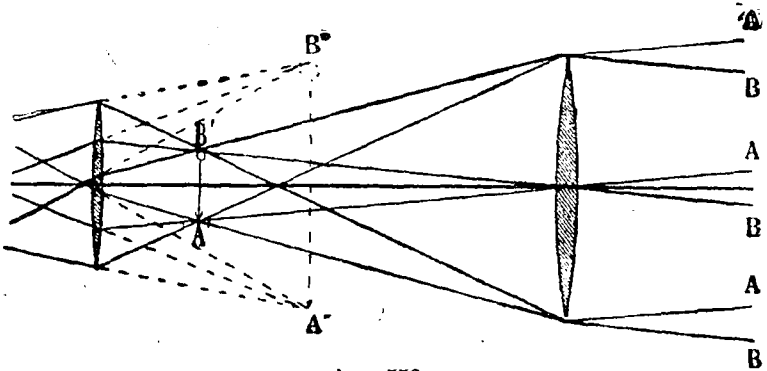


Рис. 550.

Схема хода лучей в астрономической трубе. Весьма удаленный предмет  $AB$  (лучи от каждой точки параллельны между собою) дает изображение  $A'B'$  в фокусной плоскости объектива; окуляр дает мнимое изображение  $A''B''$ .

2. Проекционный (волшебный) фонарь. В проекционном фонаре собирающий объектив дает на экране действительное (обратное, увеличенное изображение) сильно освещенной картинки.

Для усиления освещения лучи собираются (рис. 545) на картинку линзами  $C$  («конденсатор»), а сзади источника света помещается вогнутое зеркало  $S$  («рефлектор»).

II. Приборы для лучшего видения глазом.

1. Лупа (простой микроскоп). Лупа представляет собой просто собирающую линзу. Предмет помещается между линзой и ее фокусом. Глаз,

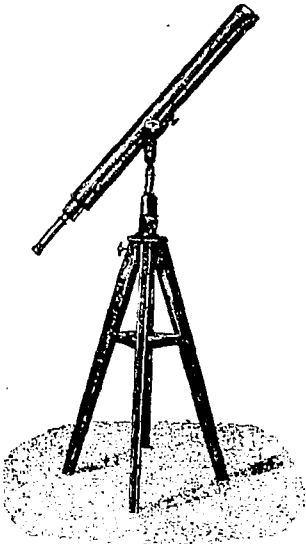


Рис. 551.

Внешний вид небольшой астрономической трубы.

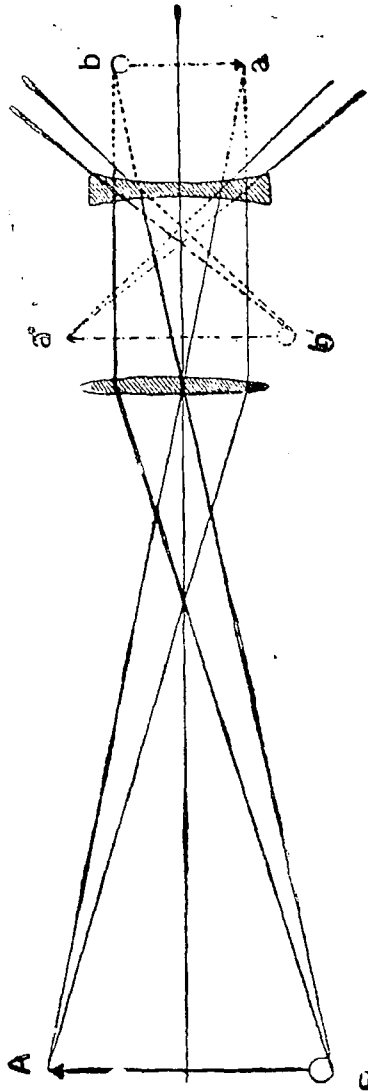


Рис. 552.

Схема хода лучей в галилеевой трубе. Лучи от удаленного предмета  $AB$  своятся собирающим объективом в направлении к его фокусной плоскости  $ab$ . Рассеивающий окуляр, раздвигая лучи, дает мнимое изображение  $a'b'$ .

смотрящий с другой стороны линзы, видит увеличенное (мнимое) изображение предмета (см. рис. 529).

2. Микроскоп (сложный). Сложный микроскоп составляется из двух собирающих систем (в схеме просто две линзы): объектив (линза, обращенная к предмету) и окуляр (линза, обращенная к глазу). Предмет помещается перед объективом, немножко дальше его фокуса. Объектив (короткофокусный) дает действительное, сильно увеличенное изображение, которое рассматривается в окуляр, как в лупу. Окуляр еще немного увеличивает изображение. Окончательное изображение мнимое, обратное (рис. 547).

3. Астрономическая труба (телескоп, рефрактор). Объектив и окуляр астрономической трубы, как у микроскопа, представляют собой собирающие системы. Окуляр астрономической трубы то же, что окуляр микроскопа — просто лупа; объектив же трубы сильно отличается от объектива микроскопа.

Линзы астрономических объективов делаются возможно большего диаметра (для большей яркости изображения) и с большим фокусным расстоянием (для большого увеличения). Под увеличением телескопа подразумевается увеличение «угла зрения» через телескоп сравнительно со зрением простым глазом.

Объектив дает действительное изображение очень удаленных предметов (небесных тел) в фокусной плоскости; это действительное изображение рассматривается в окуляр, как в лупу. Окончательное изображение мнимое, обратное (рис. 550).

4. Г а л и л е е в а т р у б а (бинокль). Объектив — собирающая линза, дающая действительное изображение удаленных предметов близ своего фокуса. О к у л я р — рассеивающая линза, поставленная к объективу ближе его фокуса. Преломившись в окуляре, лучи идут, расходясь, и дают мнимое, прямое изображение, видимое чрез окуляр (рис. 552).

Небольшое увеличение и малое «поле зрения» делают галлилееву трубу мало пригодной для астрономии, но она очень удобна для наблюдения земных предметов, благодаря небольшой длине и прямому изображению.

Обыкновенные «театральные» бинокли представляют собой соединение двух галлилеевых труб.

282. Глаз. Человеческий глаз можно отнести к разряду оптических приборов, дающих изображения. По своему устройству он имеет много сходства с фотографической камерой.

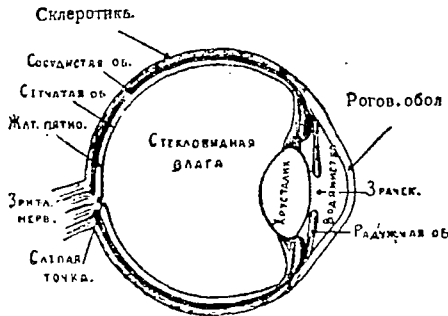


Рис. 553.

Схематический разрез глазного яблока.

Глазное «яблоко» (рис. 553) представляет собой шаровидное тело, окруженное почти со всех сторон тройной оболочкой.

Наружная оболочка — склеротика (белок), в передней части глаза переходящая в прозрачную роговую оболочку.

Под слоем склеротики лежит сосудистая оболочка, в передней части глаза переходящая в радужную оболочку, в середине которой имеется отверстие — зрачок.

Радужная оболочка, различно окрашенная у различных людей (карие, серые, голубые глаза), представляет собой кольцо, которое, суживаясь и расширяясь, может увеличивать и уменьшать зрачок. У здорового человека зрачок сам собой уменьшается при сильном освещении и увеличивается в темноте. Радужная оболочка имеет для глаза то же значение, что «диафрагма» для фотографической камеры.

Под сосудистой оболочкой лежит сетчатая оболочка (ретины), состоящая из мельчайших разветвлений зрительного нерва.

Сейчас же за зрачками помещается хрусталик, представляющий собою мягкую (студенистую) двояко-выпуклую линзу, которая может увеличивать и уменьшать свою выпуклость.

Пространство перед зрачком заполнено «водянистой влагой», а за зрачком «стекловидной влагой».

Лучи, идущие от предмета, на который направлен глаз, преломляются в жидкостях глаза и дают действительное изображение на сетчатой оболочке (на ретине).

Вглядываясь в какую-нибудь точку, глаз устанавливается так, чтобы изображение точки получилось на самом чувствительном месте ретины — на желтом пятне.

В том месте, где нерв выходит из глаза, находится слепая точка. Глаз не видит того места, изображение которого попадает на эту слепую точку (рис. 554).

Отчетливые изображения получаются на ретине и от близких и от далеких предметов, благодаря тому, что хрусталик обладает способностью приспособления («аккомодация»).

Когда глаз направлен на отдельный предмет (лучи близки к параллельности), хрусталик принимает более плоскую форму и сводит лучи как-раз на сетине; когда же глаз смотрит на близкий предмет (лучи подходят к глазу, сильно расходясь), хрусталик делается более выпуклым и опять сводит лучи как-раз на сетине.

Предметы слишком близкие глаз видит неясно, так как хрусталик не может сделаться достаточно выпуклым.



Рис. 554.

Если глядеть на изображенный здесь крестик одним правым глазом на расстоянии около 15 см, то кружок перестает быть видимым, так как его изображение попадает на слепую точку сетины

То наименьшее расстояние, на котором глаз может отчетливо видеть, называют расстоянием наилучшего зрения. Для «нормального» глаза это расстояние равно 25 см; для «близорукого» — меньше, а для «дальнозоркого» — больше.

? Посмотрите на нитку, протянутую от самого глаза вдаль, стараясь видеть ее начало. Видна ли вся нитка одинаково ясно? На каком расстоянии находится ясно видимое место?

**283. Близорукость и дальнозоркость. Очки.** Глаз, в котором изображения получаются не на сетине, а ближе к зрачку (глазное яблоко слишком

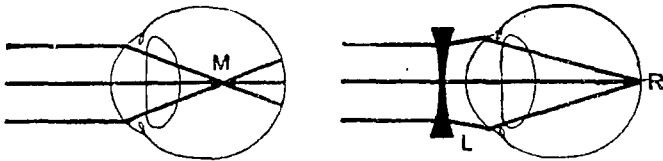


Рис. 555.

Рассеивающая линза (очки), помещенная перед близоруким глазом, раздвигая лучи, переносит изображение на сетину.

глубоко), называется близоруким. Чтобы близорукий глаз видел отчетливо, перед глазом помещается рассеивающая линза (очки), которая несколько разводит лучи и передвигает изображение на сетину (рис. 555).

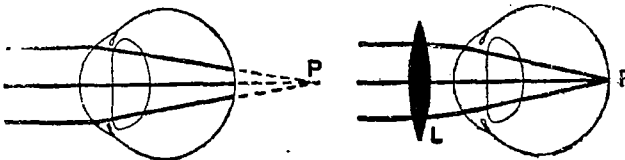


Рис. 556.

Собирающая линза (очки), помещенная перед дальнозорким глазом, сводя лучи более круто, переносит изображение на сетину.

Глаз, имеющий обратный недостаток, т.е. такой, в котором изображение получается дальше сетины (глазное яблоко недостаточно глубоко), называется дальнозорким.

Для исправления дальности служат очки с собирающими линзами<sup>1</sup> (рис. 556).

**284. Продолжительность зрительного впечатления. Кинематограф.** Смотря на быстро вращающееся колесо, мы не различаем движения отдельных спиц, которые представляются сливающимися в сплошную, неясную диск.

Если при помощи зеркала получить на стене светлого «зайчика» и, поворачивая зеркальце, заставить его быстро двигаться, то последовательные положения зайчика сливаются в сплошную линию.

Это и многие другие подобные явления зависят от того, что зрительное впечатление в глазу не исчезает одновременно с удалением предмета, а сохраняется в течение некоторого времени (около 0,1 сек.).

Чрезвычайно кратковременное освещение молнией (меньше 0,001 сек.) представляется нам длящимся гораздо долее (около 0,1 сек.): мы успеваем рассмотреть и форму самой молнии и освещаемые предметы, при чем движущиеся предметы (вращающееся колесо, бегущая лошадь) представляются застывшими в неподвижной позе.

При быстрой смене картинок с фигурами, постепенно меняющими свои позы, мы получаем впечатление непрерывного движения фигур.

Это явление лежит в основе устройства некоторых игрушечных приборов, а также весьма распространенных «кинематографов».

Кинематографическая лента (см. таблицу VI) представляет собой длинный ряд моментальных фотографий, снятых с движущихся предметов очень быстро одна за другой (15 — 20 снимков в секунду). Когда на экране появляются изображения этих снимков, быстро следуя друг за другом, при чем каждый одно мгновение (около  $\frac{1}{50}$  сек.) стоит неподвижно, зритель получает иллюзию непрерывного движения на экране.

**285. Зрение двумя глазами. Стереоскоп.** То, что мы видим перед собой, представляется не совершенно одинаковым для правого и левого глаза, так как глаза смотрят с несколько различных «точек зрения». Мы слишком привыкли обращать внимание только на то, на что мы глядим внимательно, поэтому мы обыкновенно не замечаем, что все предметы, кроме тех, которые мы «фиксируем» глазами, представляются нам вдвойне.

Если, держа против своего носа карандаш, вы будете смотреть на него то одним правым, то одним левым глазом, вы увидите, что карандаш представляется закрывающим различные места противоположащей стены, и разница тем больше, чем ближе карандаш к носу.

Если теперь вы будете вглядываться в предметы на стене, вы будете видеть вдвойне карандаш, а вглядываясь в карандаш, — вдвойне предметы на стене.

Мы отчетливо видим удвоенными только те предметы, на которых сведены оси обоих глаз, предметы же более близкие и более далекие двоятся.

Зрение двумя глазами позволяет нам точнее оценивать расстояния до видимых предметов и видеть «рельеф», «глубину» пейзажа.

Для одного глаза всякий пейзаж должен представляться плоским, как картина или декорация. Смотря одним глазом на какую-нибудь непривычно расположенную группу предметов, легко получить иллюзию, что видишь перед собою плоскую картину. Иллюзия сейчас же исчезает, получается ясный рельеф, как только взглянуть обоими глазами.

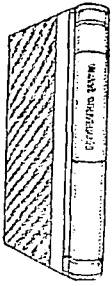
<sup>1</sup> Линзы для очков иногда по-старому характеризуются «номерами». Номер линзы есть не что иное как ее фокусное расстояние, выраженное в дюймах. Чем меньше номер, тем сильнее линза.

По новому линзы характеризуются «оптической силой», выражаемой в «диоптриях». Число диоптрий равно единице, деленной на фокусное расстояние линзы, выраженное в метрах. Сила линзы, у которой  $F = 1$  м, равна 1 диоптрии. Сила линзы, у которой  $F = 3$  м  $= \frac{1}{3}$  диоптрии. Сила линзы, у которой  $F = 20$  см  $= 5$  диоптриям.

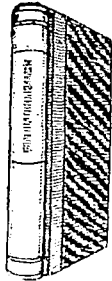
Для получения картинок, дающих впечатление рельефа, делаются двойные «стереоскопические» картинки, изображающие одни и те же предметы в двух различных видах соответственно зрению правым и левым глазом (рис. 561).

Рассматривая такие картинки в стереоскопе, в котором, благодаря линзам  $L$  (рис. 559), обе картинки представляются наложенными друг на друга, мы получаем отчетливое впечатление рельефа.

При некотором навыке нетрудно получать рельефное впечатление от стереоскопических картинок без стереоскопа.



Для левого глаза.



Для правого глаза.

Рис. 557.

Книга, ребром поставленная на стол, при взгляде сверху представляется различно для правого и для левого глаза.

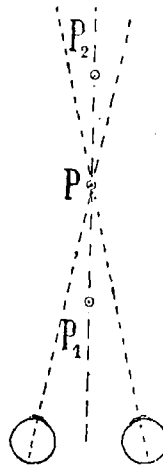


Рис. 558.

Если оси глаз сведены к точке  $P$ , то более близкие и более далекие точки  $P_1$  и  $P_2$  видны вдвойне.

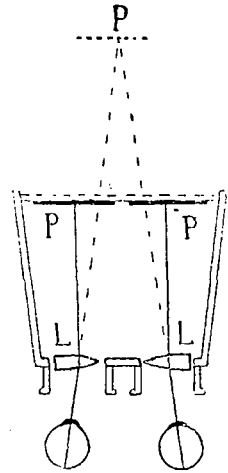


Рис. 559.

Схема стереоскопа. Двойная картинка  $PP$  сливается в одну рельефную картину  $P$  благодаря преломлению лучей в линзах.

**286. Скорость распространения света.** Все описанные в этой главе явления происходят так, как будто бы свет распространялся совершенно моментально. Действительно, скорость распространения света настолько велика, что только довольно хитрые приспособления позволяют при небольших расстояниях подметить те ничтожно малые промежутки времени, которые требуются для распространения света.

Первые измерения скорости света были сделаны (еще в XVII веке) на основании астрономических наблюдений, позволявших смерить время распространения света на огромных расстояниях. Было измерено, что расстояние от Солнца до Земли (150 миллионов километров) свет проходит приблизительно в 500 секунд (8 м. 16 сек.), откуда скорость определяется круглым числом в  $300\,000 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$  (т.-е. почти в миллион раз больше скорости звука в воздухе).

Первые измерения скорости света на земных расстояниях произвел Физо<sup>1</sup> в 1894 г. в Париже. Физо весьма остроумным способом, идея которого была впервые предложена еще Галилеем, достиг возможности измерять время движения света от одной станции до другой и обратно. Схема прибора Физо такова: на станции, где производится наблюдение, свет от сильного источника  $L$  (рис. 562) падает на стеклянную, слегка посеребренную пластинку  $e$ , при чем значительная часть света отбрасывается в сторону второй станции, где свет отражается и идет обратно на первую станцию, проходит сквозь пластинку и попадает в глаз наблюдателя. В точке  $K$ , где суживается пучок света, помещается зубчатый край колеса, которое может быстро вращаться, загораживая по временам свет зубцами.

<sup>1</sup> Ипполит Луи Физо (1819—1896)—французский физик.

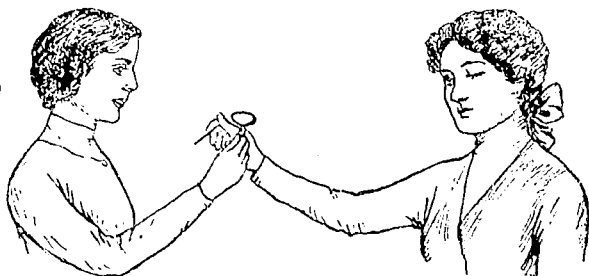


Рис. 560.

? Заставьте кого-нибудь держать перед вами кольцо ключа. Попробуйте, смотря о д н и м глазом на кольцо «в ребро», попасть в него сбоку спичкой. Глядя одним глазом, вы можете сделать очень большую ошибку в оценке расстояния от глаза до ключа.



Рис. 561.

? Найдите на этих стереоскопических картинках разницу, указывающую, что одна картинка соответствует правому, другая — левому глазу.

Если колесо неподвижно и в точке *K* помещается просвет между зубцами, то наблюдатель видит свет, отразившийся от зеркала *S* на второй станции. При сравнительно медленном вращении колеса наблюдатель продолжает видеть свет, успевающий пройти путь до второй станции и обратно за то время, пока в точке *K* проходит просвет между зубцами. При быстром вращении колеса наблюдатель перестает видеть свет, так как, пока свет, пройдя в *K* через просвет, идет в *S* и обратно, колесо успевает повернуться настолько, что в *K* уже попадает зубец. При еще более быстром вращении свет опять виден, так как, пока свет идет от *K* до *S* и обратно, колесо успевает повернуться настолько, что в *K* попадает уже следующий просвет и т. д.

Зная время поворота колеса от просвета до зубца и расстояние между станциями, можно вычислить скорость распространения света, которая и из этих опытов получилась равной  $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$ .

Такая же величина скорости получалась и из позднейших измерений.

Более совершенные способы позволяют измерять скорость света на небольших «комнатных» расстояниях в несколько метров, при чем является возможность

измерять скорость света не только в воздухе, но и в воде, в стекле и других веществах. Скорость света в более преломляющих веществах оказывается меньшей.

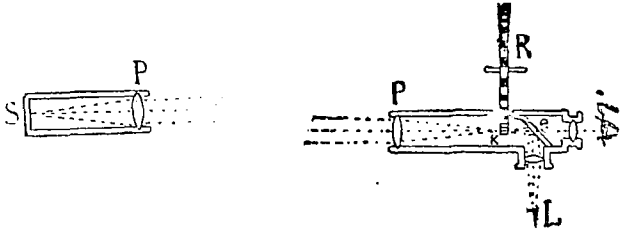
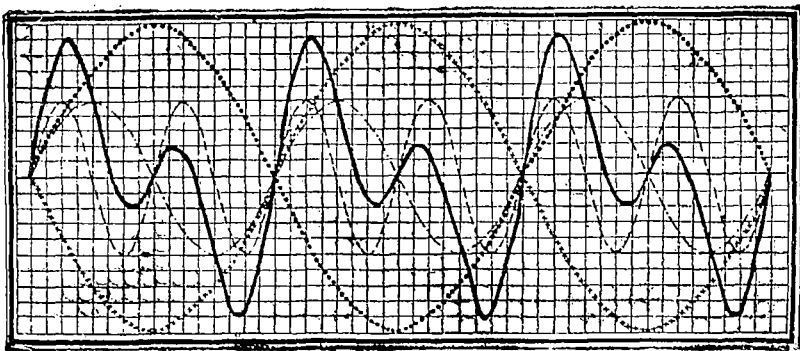


Рис. 562.

Схема расположения приборов для определения скорости света по способу Физо. Луч света от источника  $L$ , отражаясь от пластинки  $e$ , проходит до зеркала  $S$  (на другой станции) и, отразившись, идет обратно, при чем часть света, пройдя сквозь  $e$ , попадает в глаз наблюдателя. При очень быстром вращении зубчатого колеса  $R$  наблюдатель перестает видеть отраженный свет.

- ? В опыте Физо расстояние между станциями (Монмартр в Париже — Сюрень) было равно 8633 метрам. Зубчатое колесо имело 720 зубцов и столько же просветов.  
Сколько оборотов в секунду должно было делать колесо, чтобы свет переставал быть видимым?
- ? Свет идет от Солнца до Земли 8 мин. 16 сек. Можно ли из этого заключить, что мы видим заход Солнца на 8 мин. 16 сек. позднее, чем он происходит в действительности?
- ? От ближайшей «неподвижной» звезды свет идет до Земли  $3\frac{1}{2}$  года. Во сколько раз эта звезда дальше от Земли, чем Солнце?





## ГЛАВА ДЕСЯТАЯ.

### ГРАФИКИ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАКОНОВ И ЯВЛЕНИЙ.

#### 287. Построение графика, выражающего физическое явление.

Рассмотрим для примера какое-нибудь явление, при котором при изменении какой-нибудь одной величины вследствие этого изменяется некоторая другая величина.

Возьмем, например, кусок резиновой нити; один ее конец закрепим, а к другому привяжем чашечку, на которую можно накладывать гири (рис. 563). Сзади поместим разделенную на сантиметры шкалу, чтобы измерять удлинения нити. Будем накладывать последовательно: 20 g, 40 g, 60 g и т. д., увеличивая груз каждый раз на 20 g. Пусть длина нити увеличивается при этом так:

при нагрузке	в 20 g	— на 2 см
»	»	» 40 g — » 4 см
»	»	» 60 g — » 7 см
»	»	» 80 g — » 11 см
»	»	» 100 g — » 18 см

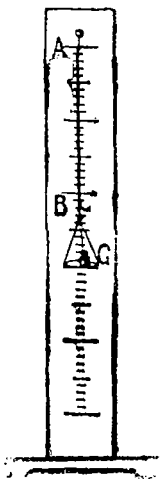
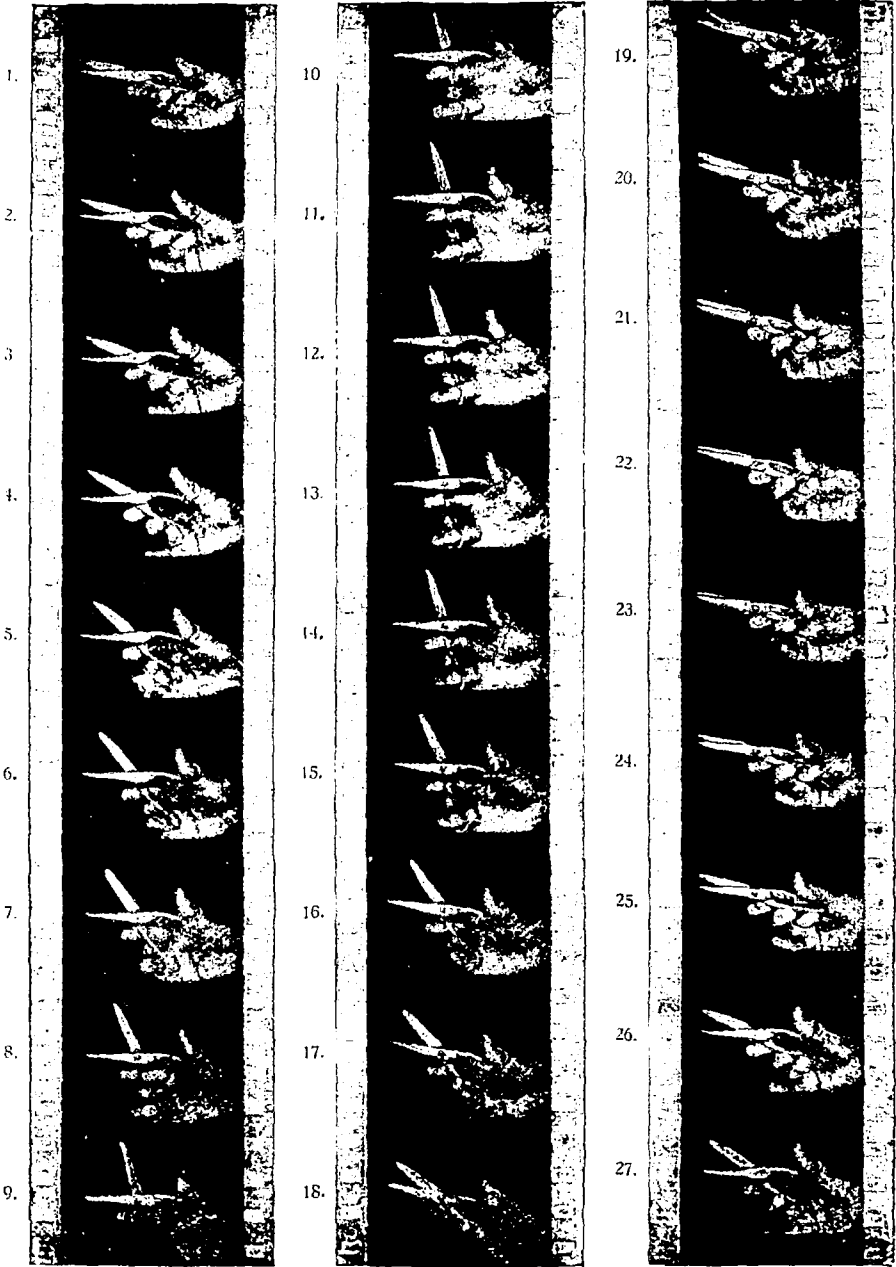


Рис. 563.

Схема опыта растяжения резиновой нити.

Эта таблица результатов наблюдений дает нам некоторое понятие о том, как от величины груза (первая изменяющаяся величина) зависит величина удлинения нити (вторая изменяющаяся величина, зависящая от первой). Из нашей таблицы видно, что сначала (при первых двух нагрузках) удлинения нити получаются прямо пропорциональные величинам грузов, так как с увеличением груза вдвое удлинение получается вдвое большее; но далее эта правильность нарушается: с увеличением груза втрое, вчетверо и т. д. удлинение получается больше чем втрое, больше чем вчетверо и т. д. Прибавка лишних 20 g с каждым разом вызывает все больший и больший прирост длины. В виду этого по нашей таблице не так-то легко можно было бы вычислить, каково будет удлинение нити при каком-нибудь промежуточном грузе, например, при 70 g, или какой груз требуется подвесить, чтобы получилось удлинение, например, в 14 см.

Гораздо более полное и наглядное представление об удлинениях нити при разных грузах мы можем получить следующим образом. Возьмем бумагу (удобнее взять бумагу заранее разграфленную на квадратики; на рис. 564 взяты квадратики со сторонами в полсантиметра); отметим на этой бумаге какую-нибудь точку  $O$ , от которой проведем две прямые:  $OX$  — параллельно строкам, и  $OY$  — перпенди-



Часть кинематографической ленты в натуральную величину. Изображенные 27 моментов соответствуют промежутку времени около  $1\frac{1}{2}$  секунды



кулярно к ним. Условимся отрезками, взятыми в направлении  $OX$ , изображать величины грузов с таким, например, расчетом, чтобы отрезок в 1 см соответствовал грузу в 20 граммов. Подобным же образом отрезками в направлении  $OY$  условимся изображать удлинения нашей нити, при чем положим, что отрезок в 1 см соответствует удлинению в 4 см. При таких условиях результаты наших измерений, приведенные выше в таблице, изобразятся так: удлинение в 2 см при грузе в 20 г изобразится точкой  $A$ ; удлинение в 4 см при грузе в 40 г — точкой  $B$ ; удлинение в 7 см при грузе в 60 г — точкой  $C$  и т. д.

Наметив таким образом ряд точек  $A, B, C$  и  $D$  и т. д., соединим их прямолинейными звеньями или, лучше, плавно изгибающейся кривой линией. Такая кривая, называемая графиком, дает нам очень наглядное и достаточно точное понятие о том, как все более и более быстро идет растяжение нити по мере увеличения груза.

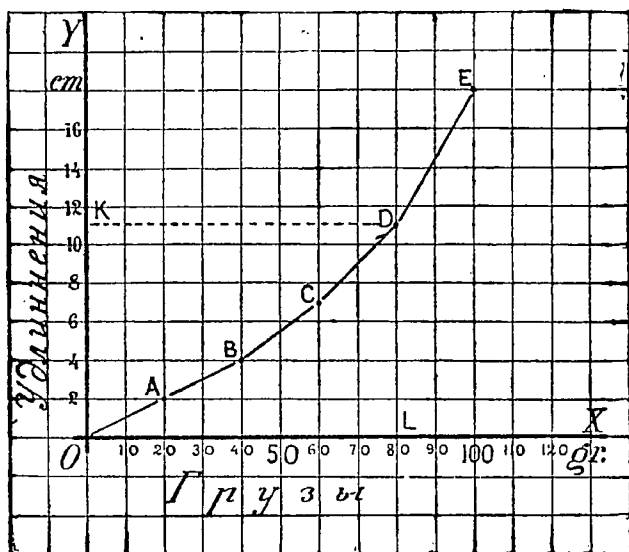


Рис. 564.

График удлинения резиновой нити при различных грузах.

При помощи такого графика мы легко с довольно большой точностью можем решить вопросы, которые раньше нас затрудняли. Какое удлинение получается при грузе в 70 г? Следя за ходом нашей кривой между точками  $C$  и  $D$ , нетрудно видеть, что грузу в 70 г соответствует удлинение, очень близкое к 9 см. При каком грузе удлинение получается в 14 см? Следя за ходом кривой между точками  $D$  и  $E$ , видим, что это удлинение соответствует грузу, несколько меньшему 90 г; примерно около 88 г.

Подобного рода графиками, выражающими различные явления и законы, очень часто пользуются при рассмотрении самых разнообразных научных и технических вопросов.

Следует запомнить, что в графиках такого вида, как взятый нами, расстояния от прямой  $OY$ , взятые в направлении  $OX$ , называются абсциссами, а расстояния от оси  $OX$ , взятые в направлении  $OY$ , называются ординатами.<sup>1</sup> Например, в нашем графике отрезок  $DK$  есть абсцисса, а  $DL$  — ордината точки  $D$ .

<sup>1</sup> Слово «абсцисса» буквально значит «отрезок», а «ордината» — «высота».

Сама прямая  $OX$  называется осью абсцисс, а прямая  $OY$  — осью ординат.

? Определите при помощи графика на рис. 564, какие удлинения должны получаться при грузах: в 10 g, в 55 g, в 95 g?

При каких грузах получают удлинения: в 8 см? в 1,5 см? в 15 см?

**288. Примеры графиков различных явлений.** Чтобы лучше ознакомиться со способом изображать ход физических явлений при помощи графиков, рассмотрим несколько графиков, относящихся к простым, всякому знакомым явлениям.

На рис. 565 изображена так называемая «температурная кривая». Подобные графики вычерчиваются врачами при наблюдениях температуры тела больного

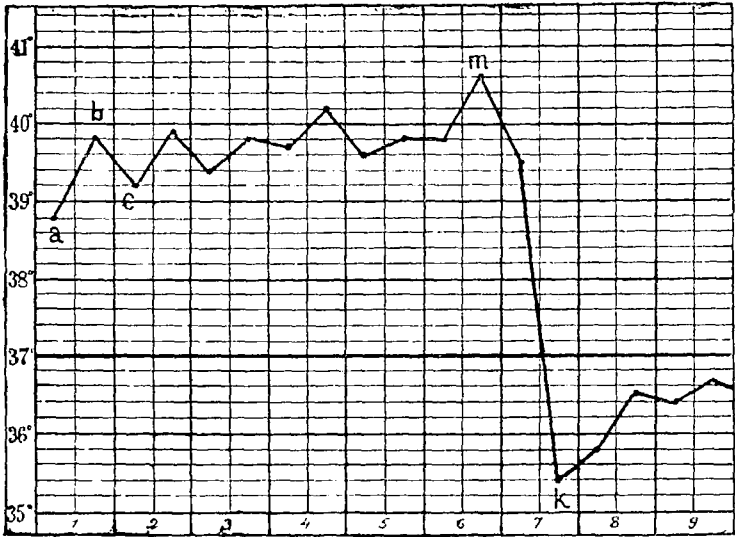


Рис. 565.

График хода изменений температуры тела больного человека (воспаление легких).

человека. На этом графике вдоль строк (по оси абсцисс) отмечены дни болезни. Каждому дню соответствует вертикальная полоса в 1 см шириной, при чем каждая такая полоса разделена на две части: в одной отмечается утренняя температура, в другой — вечерняя. В перпендикулярном направлении (по оси ординат) отмечены температуры, при чем длине в 1 см соответствует увеличение температуры на 1°. «Нормальная» температура 37° отмечена более толстой чертой. (Температура здорового человека обыкновенно бывает всегда несколько ниже этого.) Чтобы без нужды не увеличивать размеров сетки для графика, температуры отмечены, лишь начиная с 35°, так как более низкой температуры тело живого человека никогда почти не достигает.

Нетрудно по этому графику проследить, что у больного (страдавшего воспалением легких) первые шесть дней болезни температура держалась все время значительно выше нормальной. В первый день: утром 38°,8, вечером 39°,8; во второй день: утром 39°,2, вечером 39°,9 и т. д. Каждый день вечером температура была выше, чем утром. На 6-й день к вечеру температура дошла до наибольшей величины (40°,6) и затем в течение 7-го дня быстро опустилась ниже нормальной (до 35°,4) (наступил так называемый «кризис», т. е. быстрое разрешение болезни).

На 8-й день температура к вечеру стала близкой к нормальной и удерживалась так дальше (больной выздоровел).

При разных болезнях ход изменений температуры бывает различный, и врачи часто могут определить болезнь по одному виду температурной кривой.

На рис. 566 изображены графики, выражающие быстроту роста фасоли: при поливке и тщательном уходе (график I, пунктирная линия) и без поливки, без ухода (график II, сплошная линия). Абсциссы выражают промежутки времени, при чем каждое деление в полсантиметра соответствует 1 неделе, а ординаты выражают рост растения, при чем каждое деление соответствует 15 см.

Графики наглядно показывают, что в течение первых двух недель оба экземпляра фасоли росли приблизительно одинаково. Начиная с третьей недели, поливаемый экземпляр стал быстро развиваться, вырастая еженедельно на 30, на 40

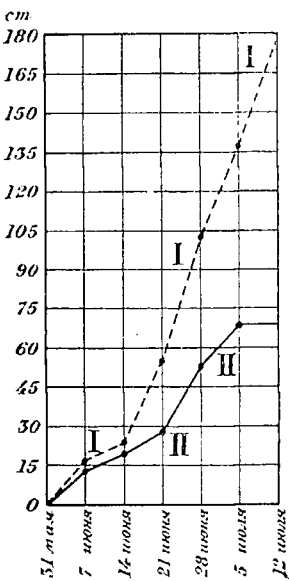


Рис. 566.

Графики роста фасоли: при поливке и уходе (I) и без поливки и ухода (II).

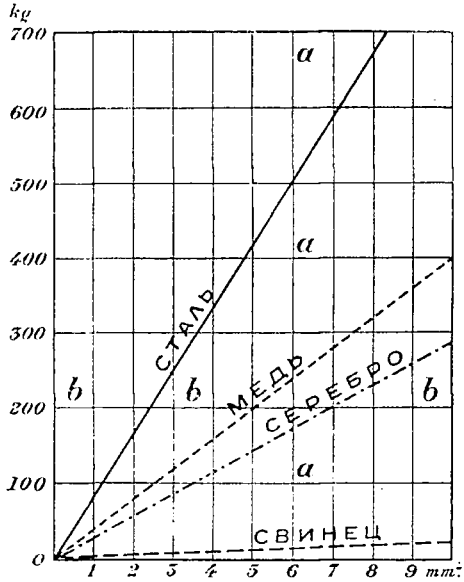


Рис. 567.

Графики прочности металлических проволок при различных площадях сечения.

и более сантиметров; рост же неполиваемого экземпляра увеличивался значительно медленней и на 6-й неделе остановился, не достигнув и половины роста, получившегося при хорошем уходе.

Рассмотрим еще графики, характеризующие прочность некоторых металлов. Опыт показывает, что если взять проволоки с сечением в  $1 \text{ мм}^2$  из разных металлов, то для разрыва этих проволок требуются такие приблизительно грузы:

Проволока из закаленной стали . . . . .	80 kg
» » » меди . . . . .	40 »
» » » серебра . . . . .	29 »
» » » свинца . . . . .	2,5 »

Далее опыты с проволоками разной толщины показывают, что сила, требующаяся для разрыва проволоки, прямо пропорциональна площади сечения проволоки, т.е. для разрыва проволоки в  $2 \text{ мм}^2$   $3 \text{ мм}^2$  и т. д. требуется сила вдвое, втрое и т. д. большая, чем для проволоки в  $1 \text{ мм}^2$ .

Зная это, для указанных выше четырех металлов нетрудно вычислить, какой груз требуется для разрыва проволоки любой заданной толщины. Легко, напри-

мер, подсчитать что для разрыва медной проволоки в  $3,5 \text{ мм}^2$  сечением требуется груз в  $40 \times 3,5 = 140 \text{ кг}$ .

Еще проще и наглядней подобные задачи решаются при помощи прилагаемых графиков (рис. 567), в которых абсциссы соответствуют площадям сечения (каждое деление в полсантиметра соответствует  $1 \text{ мм}^2$  сечения), а ординаты — грузам (каждое деление в  $1 \text{ см}$  соответствует  $100 \text{ кг}$ ).

Графики для всех наших металлов имеют вид прямых линий. Нетрудно сообразить, что такой вид графиков соответствует прямой пропорциональности между величинами сечений и величинами грузов. Действительно, для прямой — и только для прямой — ординаты всех ее точек могут быть прямо пропорциональны абсциссам. Прямолинейные графики для различных металлов тем круче наклонены к оси абсцисс, чем прочнее металл.

При помощи этих графиков мы легко и быстро можем решать разнообразнейшие задачи. Какой груз разрывает проволоку с сечением в  $6 \text{ мм}^2$ ? Проследивая пересечения наших графиков с прямой *aa*, соответствующей сечению в  $6 \text{ мм}^2$ , видим, что для стали этот груз равен приблизительно  $500 \text{ кг}$ , для меди —  $250 \text{ кг}$ , для серебра около  $170 \text{ кг}$ , для свинца — менее  $15 \text{ кг}$ . Какой наименьшей толщины должна быть проволока, чтобы она выдерживала груз в  $200 \text{ кг}$ ? Проследивая пересечения наших графиков с прямой *bb*, соответствующей грузу в  $200 \text{ кг}$ , видим, что из стали нужна проволока не тоньше  $2,5 \text{ мм}^2$ , из меди — не тоньше  $5 \text{ мм}^2$ , из серебра — около  $7 \text{ мм}^2$ , а из свинца — около  $90$  или  $100 \text{ мм}^2$ . (Соответствующей точки на нашем чертеже нет. Чтобы ее получить, нужно было бы увеличить чертеж в ширину примерно раз в десять.)

- Определите по «температурной кривой» (рис. 565), какая наибольшая и какая наименьшая температура наблюдалась у больного за первые три дня болезни. Какая наибольшая и наименьшая температура наблюдалась в следующие три дня болезни?
- По графикам роста фасоли (рис. 566) определите, насколько увеличился рост того и другого растения за пятую неделю наблюдения (с 8 июня по 5 июля). В которую неделю неоплодотворенный экземпляр рос всего быстрее?
- Постройте график, выражающий увеличение веса ребенка в первое время его жизни. Средний вес нормального новорожденного ребенка равен  $3250 \text{ г}$ . В первые пять дней вес ребенка уменьшается примерно на  $200 \text{ г}$ , а к 12-му дню снова достигает  $3250 \text{ г}$  и далее непрерывно увеличивается в среднем так:

к концу	1-го мес.	4000 g		к концу	9-го мес.	8200 g	
»	»	2-го »		»	»	10-го »	8500 »
»	»	3-го »		»	»	11-го »	8750 »
»	»	4-го »		»	»	12-го »	9000 »
»	»	5-го »		»	»	15-го »	9300 »
»	»	6-го »		»	»	18-го »	10000 »
»	»	7-го »		»	»	24-го »	11000 »
»	»	8-го »		»	»	36-го »	12500 »

Для графика, который удобнее всего можно вычертить на «координатной бумаге», разграфленной на кв. миллиметры, удобно взять такие размеры: по оси абсцисс отсчитывать время, так, чтобы расстояние в  $1 \text{ см}$  соответствовало 1 месяцу, а по оси ординат — вес так, чтобы  $1 \text{ см}$  соответствовал  $1000 \text{ г}$ .

Вычертив график, решите при помощи него такие, например, вопросы: В какой период жизни ребенок растет всего быстрее? Как велик прирост веса в первые полгода жизни ребенка? Как велики приросты веса в последующие полугодия жизни? Как велики приросты за второй и за третий годы жизни?

**289. Графики движений (§§ 41, 42 и 52).** Ознакомившись с графическим способом изображения разных явлений, мы можем воспользоваться этими сведениями для построения и разбора нескольких простейших графиков, выражающих явление движения.

Рассмотрим сперва случай самого простого равномерного движения. Пусть, например, тело движется равномерно со скоростью 15 сантиметров в секунду. Графически это движение можно представить так. Будем в направлении оси абсцисс отсчитывать время (1 см соответствует 1 сек), а в направлении оси ординат пройденные телом пути (1 см графика соответствует 10 см пути). Нетрудно сообразить, что при этих условиях равномерное движение тела изобразится прямой  $SS'$  (рис. 568), идущей под таким наклоном, что при увеличении абсциссы на 1 см (1 сек времени) ордината увеличивается на 1,5 см (15 см пути).

Так как при всяком равномерном движении длина пути, проходимого телом, прямо пропорциональна числу секунд, то для всякого равномерного движения график будет иметь форму прямой, при чем чем больше скорость движения, тем круче должен быть наклонен график к оси абсцисс.

Рассмотрим теперь график движения, состоящего из ряда равномерных движений с различными скоростями. Вглядываясь в прилагаемый график (рис. 569), в котором значения абсцисс и ординат те же, что в предыдущем, нетрудно видеть,

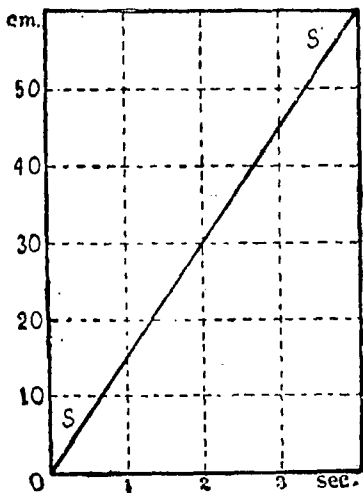


Рис. 568.

График равномерного движения со скоростью 15 см в секунду.

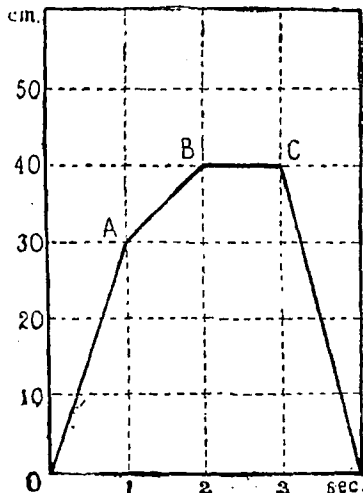


Рис. 569.

График переменного движения, состоящего из равномерных движений с равномерными скоростями.

что он изображает такое движение: в течение 1-й секунды тело движется равномерно со скоростью  $30 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$ , в течение 2-й секунды — с меньшей скоростью в  $10 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$ , в течение 3-й секунды — остается неподвижным, а в течение 4-й секунды — движется со скоростью  $40 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$  в противоположную сторону, т.е. приближаясь к той точке, от которой отсчитываются расстояния.

Если тело движется с непрерывно изменяющейся скоростью, то соответствующий график имеет форму кривой линии. Рассмотрим для примера график, изображенный на рис. 570, в котором в направлении оси абсцисс попрежнему 1 см соответствует 1 сек времени, но в направлении ординат 1 см соответствует 10 метрам пути. Вглядываясь в форму графика, замечаем, что тело 1-ю секунду движется быстро и проходит 30 м; во 2-ю секунду — гораздо медленней и проходит всего 5 м; в третью секунду, двигаясь сперва медленно, потом быстрее — проходит 20 м, и наконец, в течение четвертой секунды остается неподвижным на расстоянии 55 м от начала пути.



Припоминая то, что мы говорим в § 52 о движении свободно падающего тела, мы можем наметить ход графика этого движения. Действительно, мы знаем, что движение падающего тела таково:

в 1 sec тело проходит . . . . .	$4,9 \times 1$ m
» 2 » » » . . . . .	$4,9 \times 4$ »
» 3 » » » . . . . .	$4,9 \times 9$ »
» 4 » » » . . . . .	$4,9 \times 16$ »
	и т. д.
Вообще в $t$ sec тело проходит . . . . .	$4,9 \times t^2$ m. <sup>1</sup>

Эта таблица позволяет нам наметить точки графика, соответствующие моментам: в конце 1-й секунды, в конце 2-й секунды, в конце 3-й и т. д. Чтобы наметить

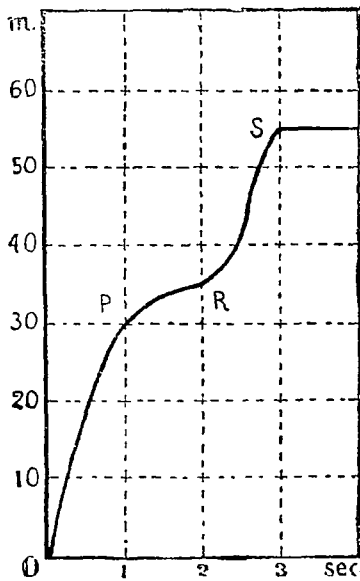


Рис. 570.

График переменного движения с непрерывно изменяющейся скоростью.

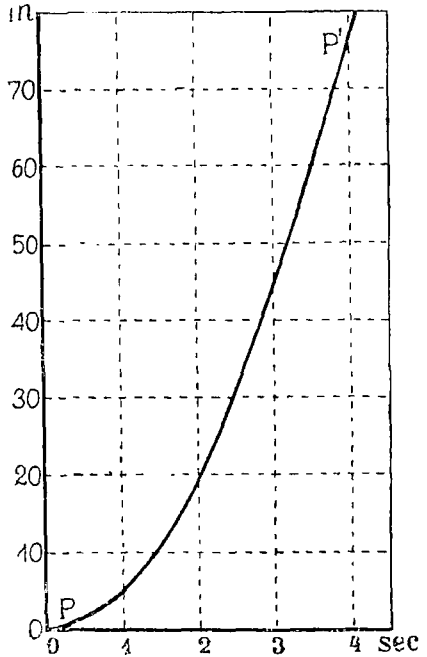


Рис. 571.

График движения свободно падающего тела (парабола).

точки графика, соответствующие промежуточным моментам, мы могли бы для любого дробного числа секунд вычислить путь по формуле:

$$h = 4,9 \cdot t^2,$$

подставляя в нее заданное  $t$ .

График свободного падения тела имеет вид **п а р а б о л ы**.<sup>2</sup>

Можно еще и другими способами строить графики движений. Можно, например, отсчитывать по оси абсцисс попрежнему время, но по оси ординат отсчитывать не

<sup>1</sup> Здесь мы пишем 4,9, а не 490, как прежде, так как теперь выражаем расстояния не в сантиметрах, а в метрах.

<sup>2</sup> Эту параболу-график не следует смешивать с параболой-траекторией, по которой движется тело, брошенное горизонтально или наклонно.

пройденные пути, а скорости движения тела для каждого момента времени. Какой вид должен иметь построенный таким образом график скоростей в случае равномерного движения? Так как при равномерном движении скорость все время остается неизменной, то график должен иметь форму прямой, параллельной оси абсцисс.

График, изображенный на рис. 572, есть график скоростей для рассмотренного нами ранее (рис. 568) равномерного движения со скоростью  $15 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ .

Как на этом графике скоростей выражается путь, проходимый телом? Мы знаем (§ 42), что путь выражается произведением скорости на время

$$s = vt.$$

В нашем графике для каждого момента движения скорость выражается соответствующей ординатой, а время — абсциссой. Отсюда следует, что путь, пройденный телом, выражается площадью прямоугольника, ограниченного сверху графиком  $VV'$ , снизу — осью абсцисс, а с боков ординатами, соответствующими начальному и конечному моменту движения. На нашем чертеже (рис. 572) площадь, выражающая путь, пройденный за 4 sec, заштрихована.

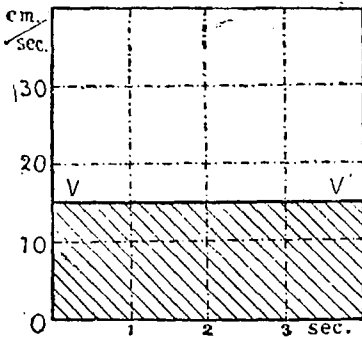


Рис. 572.

График скоростей для равномерного движения со скоростью 15 см. в секунду.

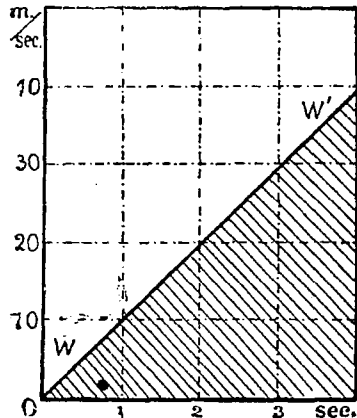


Рис. 573.

График скоростей для движения свободно падающего тела.

Попробуем теперь построить график скоростей для движения свободно падающего тела. Как изменяется скорость движения падающего тела? Мы не разбирали этого вопроса и знаем только, что скорость эта должна непрерывно возрастать. Если бы мы изучили явление падения более подробно, мы бы знали, что при падении скорость тела возрастает равномерно, т.-е. в каждую единицу времени увеличивается на одинаковую величину. В первый момент скорость падающего тела равна 0, в момент — через 1 sec после начала падения оно летит со скоростью  $9,8 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ , через 2 sec — со скоростью  $9,8 \times 2 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ , через 3 sec — со скоростью  $9,8 \times 3 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  и т. д.

Зная этот закон, построить график скоростей нехитро. Этот график представляет собою прямую  $WW'$  (рис. 573), пересекающую ординаты, соответствующие: одной, двум, трем и т. д. секундам, в точках, соответствующих скоростям: в  $9,8$ , в  $9,8 \times 2$ , в  $9,8 \times 3$  и т. д. метров в секунду.

Пространство, проходимое падающим телом, как и в предыдущем случае, выражается площадью (на чертеже заштрихованной), ограниченной: графиком  $WW'$ , осью абсцисс и ординатой, соответствующей последнему моменту падения (в нашем

примере — в конце 4-й секунды). Эта площадь имеет форму прямоугольника, нижний катет которого равен  $t = 4$  сек, а боковой  $9,8t = 9,8 \times 4 \frac{m}{sec}$ . Следовательно, площадь этого треугольника равна

$$\frac{t \cdot 9,8t}{2} = 4,9t^2 = 4,9 \times 16,$$

что согласуется с формулой, выражающей высоту падения

$$h = 4,9 t^2,$$

которую мы приводили в § 52.

- Как изменился бы график равномерного движения (рис. 569), если бы тело начало двигаться не с начала первой, а с начала второй секунды? Как изменился бы этот график, если бы в начале первой секунды тело находилось уже на расстоянии 20 см от того места, откуда мы отсчитываем расстояния?
- Начертите график такого движения: тело в 2 сек проходит равномерным движением 25 см, затем с такою же скоростью возвращается назад, потом движется опять вперед, и т. д.

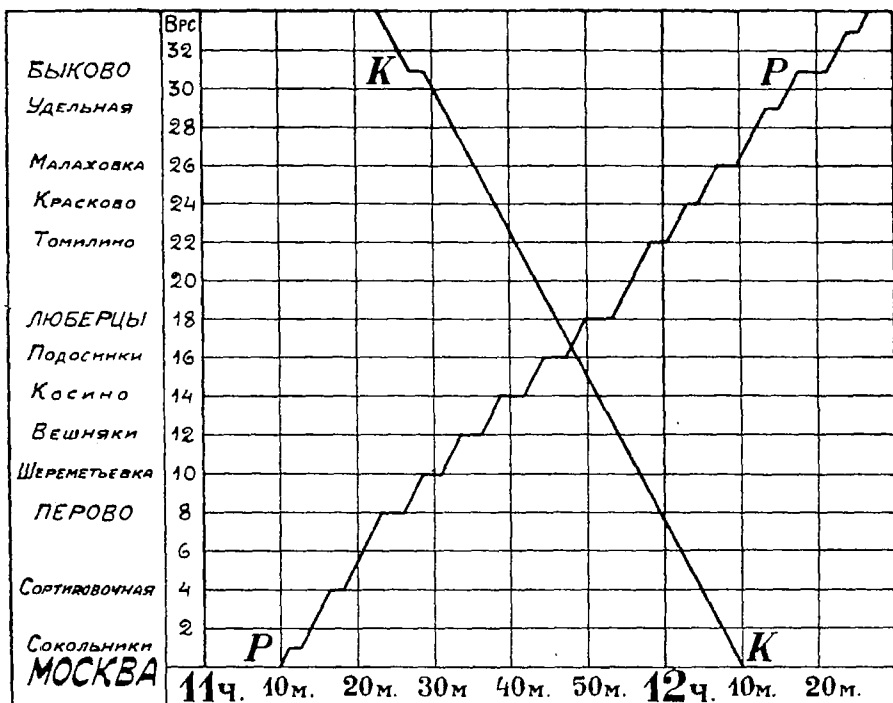


Рис. 574.

График движения поездов между Москвой и ст. Быково. РР — пассажирский поезд.  
КК — курьерский поезд.

- Разберите прилагаемый график (рис. 574) движения двух поездов между Москвой и станцией «Быково» Московско-Казанской жел. дор. (Подобными графиками пользуются на практике в железнодорожном деле.)

График *PP* изображает движение пассажирского «дачного» поезда, останавливающегося на всех станциях и платформах; а график *KK* изображает движение курьерского поезда, идущего от Быкова до Москвы без остановок.

По осп абсцисс отмечено время (1 см соответствует 10 минутам), по оси ординат — расстояния (каждое деление в полсантиметра соответствует 2 верстам). Расстояния станций до Москвы взяты в округленных числах.

Решите при помощи этих графиков такие, например, вопросы: Когда пассажирский поезд приходит в Люберцы? Сколько времени там стоит? Где находится курьерский поезд в 5 минут первого? Скльким верстам в час равна скорость курьерского поезда? Где и когда поезда встречаются? Где встречались бы поезда, если бы курьерский поезд отходил от Быкова на 20 минут раньше, или на 20 минут позже?

### 290. Графики, относящиеся к гидростатике (§§ 81 и 88).

Представьте себе, что тонкая, круглая пластинка, поверхность которой равна 1 квадратному сантиметру, в горизонтальном положении погружается вертикально в глубь воды. Будем следить, как при этом по мере увеличения глубины будет увеличиваться давление воды на верхнюю сторону пластинки.<sup>1</sup>

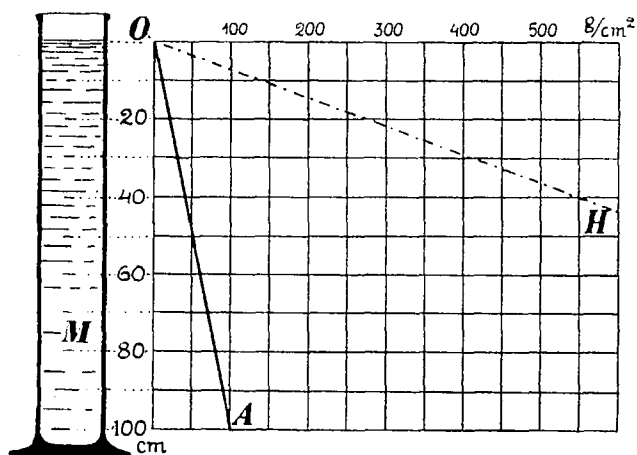


Рис. 575.

График давления воды (OA) и ртути (OH) на различных глубинах.

Мы знаем (§ 81), что сила давления внутри жидкости равна весу вертикального столба жидкости, высота которого равна высоте уровня жидкости над тем местом, где наблюдается давление. Ясно, что если, например, пластинка наша будет погружена на глубину 10 см, то она будет испытывать давление, равное весу столбика воды высотой в 10 см и с основанием в 1 см². Вес этого столбика равен 10 г, а потому давление на этой глубине равно  $10 \frac{\text{г}}{\text{см}^2}$ . Точно также на глубине в 20 см, 30 см и т. д. давления будут: в  $20 \frac{\text{г}}{\text{см}^2}$ , в  $30 \frac{\text{г}}{\text{см}^2}$  и т. д. Давление будет прямо пропорционально глубине, на которую погружена пластинка.

<sup>1</sup> На нижнюю сторону пластинки, если она достаточно тонка, давление — согласно с законом Паскаля — будет такое же. Мало того, как угодно будем поворачивать пластинку около ее центра, давление будет оставаться такое же.

Чтобы построить график, выражающий зависимость величины давления от глубины, будем отсчитывать по оси абсцисс величины давлений (1 см соответствует  $100 \frac{\text{г}}{\text{см}^2}$ ), а по оси ординат — глубины, которые для наглядности будем отсчитывать сверху вниз (каждое деление в полсантиметра соответствует увеличению глубины на 10 см). При этих условиях график давлений будет иметь вид прямой  $OA$  (рис. 575).

Если бы вместо воды мы взяли в 13,6 раз более тяжелую ртуть, то у соответствующего графика  $OH$  все абсциссы были бы в 13,6 раз больше.

Припомним явление плавания твердых тел на поверхности жидкости (§ 88). Мы знаем, что плавающее тело вытесняет такой объем жидкости, вес которого равен весу тела. Если, например, удельный вес тела равен  $0,1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ , то оно будет плавать на воде, погрузившись в нее 0,1 частью своего объема; если уд. вес тела равен  $0,8 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ , то оно будет плавать на воде так, что 0,8 его объема будет погружено в воду. Для тел, плавающих на поверхности воды, можно составить такую, например, таблицу:

Удельный вес твердого тела.	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1	2	3	4	и т. д.
Часть объема, погр. в воду.	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1	1	1	1	и т. д.

Все тела с уд. весом больше 1 целиком тонут в воде, а потому для всех для них во второй строке таблицы стоит 1.

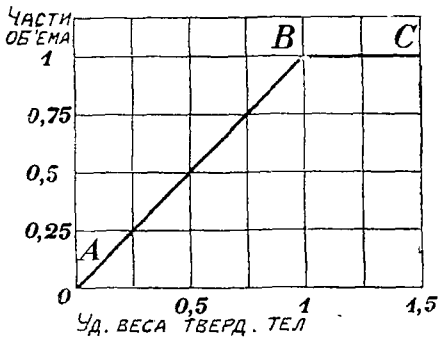


Рис. 576.

График степени погружения в воду твердых тел различных уд. весов.

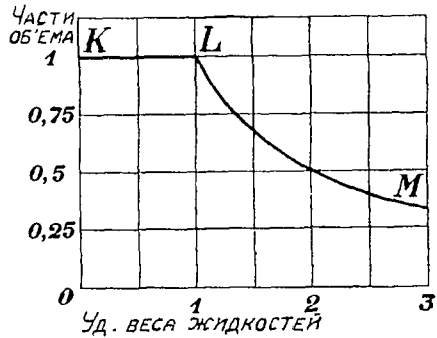


Рис. 577.

График степени погружения твердого тела с уд. весом 1 г на  $\text{см}^3$  в жидкостях различных удельных весов.

Зависимость величины погружающейся в воду части объема плавающего тела от уд. веса этого тела можно выразить при помощи графика, в котором по оси абсцисс отсчитываются уд. веса тел, а по оси ординат погружающиеся части объемов. График (рис. 576) состоит из двух прямолинейных частей: первая  $AB$ , соответствующая уд. весам меньше 1, идет наклонно, а вторая  $BC$ , соответствующая уд. весам больше 1, идет параллельно оси абсцисс.

Рассмотрим еще такие случаи плавания. Пусть имеется одно твердое тело с уд. весом, равным  $1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ , которое опускается в жидкость разного уд. веса.

Ясно, что во всех жидкостях, уд. веса которых меньше 1, это тело целиком тонет. В жидкости с уд. весом в  $2 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$  тело будет плавать, погрузясь в нее половиной объема; в жидкости с уд. весом в  $1,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$  оно будет плавать, погрузясь на  $\frac{2}{3}$ ; или приблизительно на 0,67 своего объема и т. д. Величина погруженной части будет обратно пропорциональна уд. весу жидкости. Нетрудно составить таблицу, подобную той, которая была составлена для предыдущего случая.

Удельный вес жидкости.	0,2	0,5	0,7	1	$1,25 (\frac{5}{4})$	$1,5 (\frac{3}{2})$	$1,75 (\frac{7}{4})$	2	3
Часть объема, погруж. в жидкость.	1	1	1	1	$0,8 (\frac{4}{5})$	$0,67 (\frac{2}{3})$	$0,57 (\frac{4}{7})$	0,5	$0,33 (\frac{1}{3})$

И для этих случаев нетрудно построить график, отсчитывая по оси абсцисс уд. веса жидкостей, а по оси ординат части объема твердого тела, погружающегося в жидкость. Получающийся таким образом график *KLM* (рис. 577) состоит из прямолинейной части *KL*, соответствующей уд. весам меньше 1, и из криволинейной части *LM*, соответствующей жидкостям более тяжелым.

? Чем отличался бы от графика *OA* (рис. 575) график, вычерченный не для воды, а для спирта?

? Как изменился бы график *OA* (рис. 575), если бы температура воды была в верхних слоях более высокая, а в нижних — более низкая, и принималось бы во внимание, что теплая вода легче холодной?

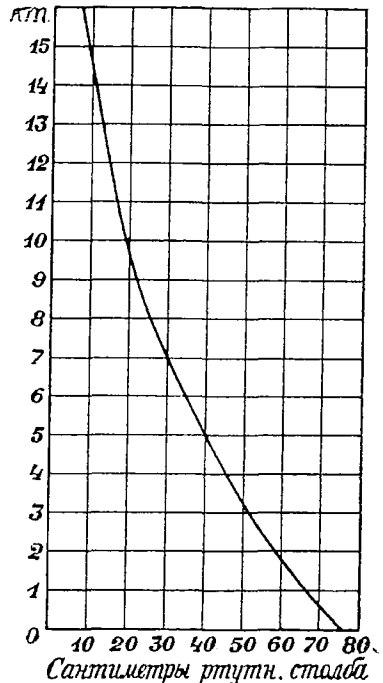


Рис. 578.

График давлений атмосферы на различных высотах.

**291. Графики, относящиеся к учению о газах (§§ 97 и 103).** Мы знаем, что давление атмосферного воздуха больше всего у поверхности земли и уменьшается по мере подъема в верхние слои атмосферы. Мы знаем также, что на различных высотах воздух имеет различный удельный вес: чем выше слои, тем меньше сжат воздух и тем он легче; но в то же время надо иметь в виду, что более высокие слои атмосферы имеют все более и более низкую температуру, что заставляет их сжиматься. Кроме того, состав атмосферных газов также изменяется с высотой. В виду всего этого нужны довольно сложные математические расчеты, чтобы более или менее точно вычислить, как изменяется атмосферное давление в зависимости от высоты при спокойном состоянии атмосферы. На основании таких вычислений можно построить график, который дает наглядное представление о величинах атмосферного давления на различных высотах. В графике, изображенном на рис. 578, по оси абсцисс отсчитаны давления (каждому делению в полсантиметра соответствуют 10 спиртового барометрического столба), а по оси ординат — высоты (каждому делению соответствует 1 километр).

При помощи этого графика мы можем определить, как велико давление на какой-нибудь заданной высоте, и — наоборот — какой высоте соответствует какое-нибудь заданное давление. Например, как велико давление на высоте вершины Казбека (5040 м)? На графике видно, что этой высоте соответствует давление

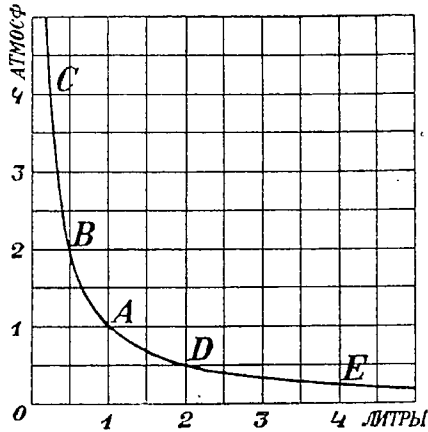


Рис. 579.

График, выражающий зависимость объема газа от давления, согласно с законом Бойля-Мариотта. (Кривая есть ветвь равнобочной гиперболы.)

ответствовать точка *A*, для которой и абсцисса и ордината равны 1. При давлении в 2 атмосферы объем газа будет равен половине литра (точка *B*), при давлении в 4 атмосферы — четверти литра (точка *C*) и т. д. Если, наоборот, будем уменьшать давление, то при давлении в пол-атмосферы объем будет равен 2 литрам (точка *D*), при давлении в четверть атмосферы — четырем литрам (точка *E*) и т. д. Точки *A*, *B*, *C* и т. д., которых мы можем найти, понятно, сколько угодно, отмечают ход графика, имеющего в этом случае форму равнобочной гиперболы.<sup>1</sup>

• Наибольшая высота, которой достигали воздухоплаватели на аэропланах, равна 12 км. Определите при помощи графика (рис. 578), как велико атмосферное давление на такой высоте. Как велик там удельный вес воздуха при температуре 0°?

? На какой высоте давление равно одной трети нормального, т. е. около 25 см? Есть ли на земле горы, достигающие такой высоты?

? Представьте себе, что в графике, выражающем закон Бойля-Мариотта (рис. 579), абсциссы выражают не литры объема, а метры длины, ординаты же — не атмосферы давления, а килограммы силы. Докажите, что при таком условии график этот может служить для графического изображения закона равновесия рычагов (§ 66). Проследите, что для всяких двух точек графика (например, *A* и *B*, или *C* и *D*) абсциссы и ординаты соответствуют таким длинам плеч и таким величинам сил, при которых получается равновесие рычага.

**292. Графики, относящиеся к учению о тепловых явлениях (§§ 109, 113, 119, 120, 121, 124, 136 и 140).** Рассмотрим график (рис. 580), изображающий ход температуры воздуха (в тени, в некотором расстоянии от

<sup>1</sup> Точнее говоря, это есть только одна из двух ветвей равнобочной гиперболы. Другая ветвь, симметрично расположенная с этой относительно точки *O*, в нашем графике значения не имеет (она соответствовала бы отрицательным объемам газа при отрицательных давлениях).

поверхности земли) при установившейся ясной погоде в начале июня, в средней части СССР, где в это время года солнце восходит около 3 часов утра и заходит около 9 часов вечера.

На графике видно, что вскоре после восхода солнца температура бывает наиболее низкая (около  $4^{\circ},5$ ). С 4 часов утра температура непрерывно возрастает: сперва быстрее, потом медленнее. В третьем часу дня температура достигает наибольшей величины (около  $21^{\circ}$ ). После 3-х часов температура сперва медленно, затем быстрее, потом опять медленнее опускается до следующего утра.

Почему наибольшая температура получается в 2, в 3 часа после полудня, а не в самый полдень, когда лучи солнца греют всего сильнее? Припоминая то, что мы говорили о нагревании лучами (§§ 109 и 113), мы можем в общих чертах выяснить этот важный вопрос. Надо помнить, что земля не только получает теплоту, поглощая лучи солнца, но в то же время непрерывно теряет теплоту, испу-

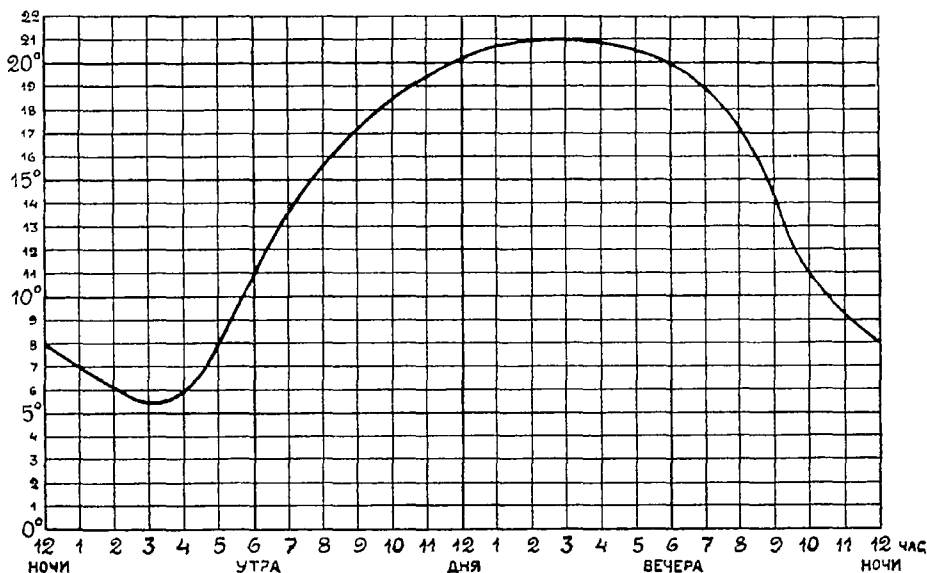


Рис. 580.

График изменений температуры воздуха в течение суток при ясной погоде в начале июня.

екая (невидимые для глаза) лучи в окружающее пространство. Эта потеря теплоты за каждую секунду тем больше, чем сильнее нагрета земля. Ясно, что в те промежуточные времена, когда земля получает теплоты больше, чем отдает, она нагревается. После полудня лучи солнца греют все слабее и слабее, «приход» теплоты уменьшается; но некоторое время этот приход все же остается больше «расхода», а потому происходит дальнейшее нагревание. Только с того момента (около 3 час. дня), когда «приход» делается меньше «расхода», начинается охлаждение. Наибольшая температура соответствует моменту, когда «приход» равен «расходу». Наименьшая температура — вскоре после восхода солнца также соответствует моменту равенства «прихода» и «расхода». Разница между этими двумя моментами — в том, что после полудня у бы в а ю щ и й «приход» сравнивается с «расходом» и потом делается меньше него (начинается остывание); а после восхода солнца в о з р а с т а ю щ и й «приход» делается равным «расходу», а затем делается больше него (начинается нагревание).

График, изображенный на рис. 581, представляет ход изменений температуры при нагревании некоторого количества свинца. По оси абсцисс отмечено время в минутах, а по оси ординат — температура. Свинец сперва нагревается в твердом виде до точки плавления ( $330^{\circ}$ ), затем расплавляется, а потом далее нагревается



в жидком состоянии. Через 25 минут после начала опыта нагревание прекращается, и жидкий свинец остывает, снова отвердевает и далее остывает в твердом виде до комнатной температуры.

Имея понятие о скрытой теплоте плавления (§§ 120 — 121), нетрудно сообразить, почему во время самого плавления температура остается неизменной в течение приблизительно 12 минут, соответствующих горизонтальному звену первой части графика (сплошная линия).

Точно также понятно, что и во время отвердевания свинца температура не меняется, как это видно по горизонтальному звену во второй части графика (пунктирная линия).

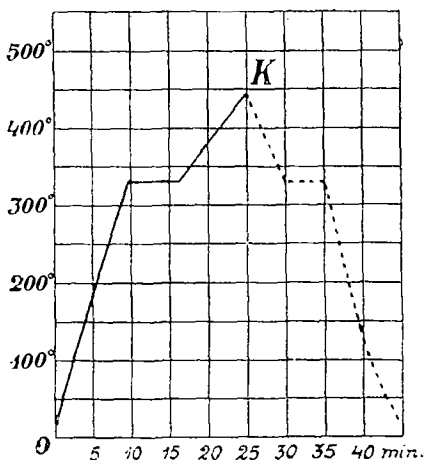


Рис. 581.

График хода температуры при нагревании и расплавлении свинца, а также при обратном остывании и отвердевании.

Точные опыты позволяют проследить и измерить, как изменяются объемы разных тел при плавлении. Результаты таких измерений часто изображаются в виде весьма наглядных графиков. Для примера рассмотрим график изменений объема свинца близ точки плавления (рис. 582). На этом графике по оси абсцисс отмечены температуры (каждое деление соответствует  $50^\circ$ ), а по оси ординат — объемы (каждое деление соответствует 0,01 единицы объема). Количество свинца предполагается такое, которое в момент начала плавления занимает ровно 1 единицу объема.

График состоит из трех прямолинейных звеньев. Первое звено соответствует расширению твердого свинца; второе звено соответствует значительноному расширению свинца во время самого плавления; а третье звено — расширению жидкого свинца.

В качестве второго примера рассмотрим график изменения объема льда при таянии (рис. 583). Можно считать, что график этот выражает изменения объема 1 грамма льда. Значения абсцисс и ординат понятны из чертежа.

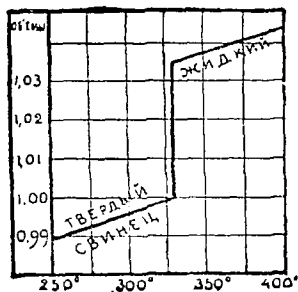


Рис. 582.

График изменений объема свинца при плавлении.

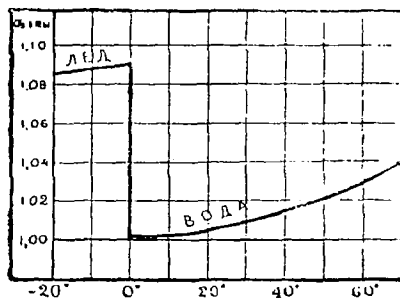


Рис. 583.

График изменений объема льда и воды.

Мы знаем, что лед (и еще очень немногие вещества) представляет ту особенность, что объем его при обращении в жидкость уменьшается. Кроме того, вода, как мы знаем, при нагревании от  $0^\circ$  до  $4^\circ$  сжимается, и только при дальнейшем нагревании начинает расширяться подобно всем другим веществам.

Сообразно с этим график имеет такой вид: сперва идет прямолинейная слегка повышающаяся часть, соответствующая расширению твердого льда при повышении температуры до 0°; потом идет звено, которое соответствует явлению таяния (при 0°) и имеет вид вертикальной прямой, немного не доходящей до горизонтали, соответствующей объему в 1 см<sup>3</sup>. Далее график имеет форму изогнутой книзу кривой, самая нижняя точка которой соответствует объему в 1 см<sup>3</sup> при температуре 4°.

На рис. 584 изображены графики, выражающие зависимость величины давления насыщающих паров от температуры для трех жидкостей: воды, алкоголя (винного спирта) и серного (этилового) эфира. Эти графики в более наглядной форме дают нам те величины, которые приведены были в таблице, помещенной в § 135.

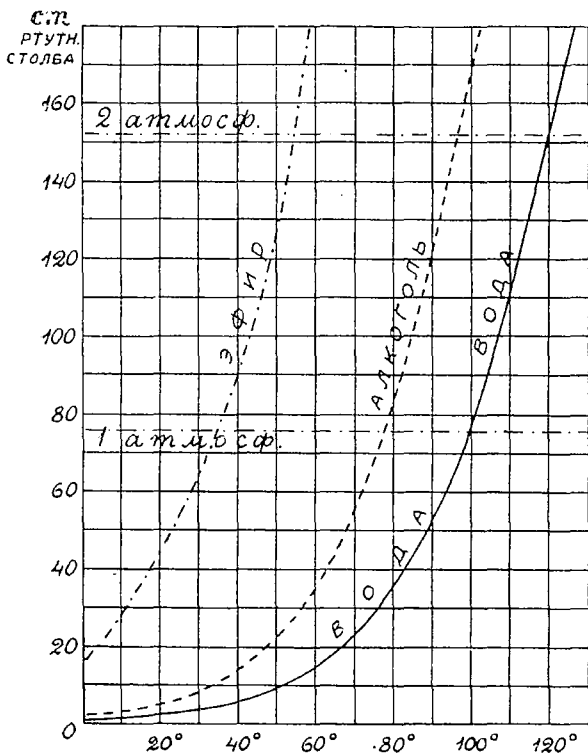


Рис. 584.

График давлений насыщающих паров при различных температурах.

Для определения абсолютной и относительной влажности воздуха требуется более точно знать давления насыщающих паров воды при невысоких температурах, при которых обычно производятся наблюдения. Такие более подробные и более точные данные имеются в таблице, приведенной в § 139. На рис. 585 эти же величины даны в виде графика, который представляет собою не что иное, как часть предыдущего графика, вычерченную в увеличенном масштабе (только той части графика, которая соответствует отрицательным температурам, нет на предыдущем чертеже).

- ? Начертите график, которым можно было бы пользоваться для перевода температур, выраженных в градусах Реомюра, в градусы Цельсия и обратно.
- ? Попробуйте приблизительно оценить скрытую теплоту плавления свинца при помощи графика (рис. 581), изображающего ход температуры при плавлении. Можно допустить, что количество теплоты, переходившее в каждую минуту от

нагревателя к свинцу, было одинаково. Уд. теплоемкость твердого свинца, как мы знаем (§ 117), равна приблизительно 0,03.

? При какой температуре давление паров эфира (рис. 584) равно 2 атмосферам? Во сколько раз меньше давление паров воды при той же температуре?

? Определите при помощи графика (рис. 585), какова должна быть «точка росы» в воздухе, в котором давление водяных паров равно 8 мм ртутного столба.

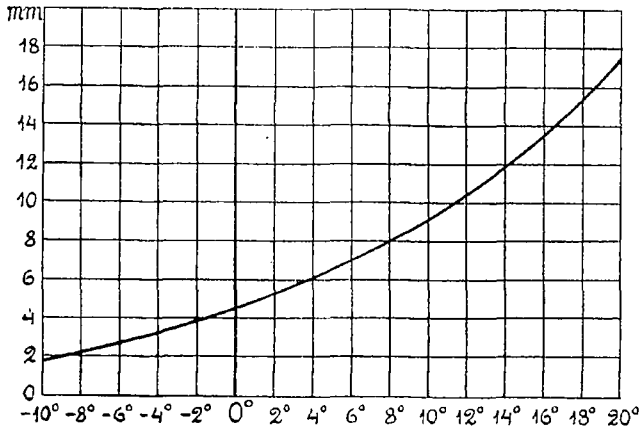


Рис. 585.

График давлений насыщающих паров воды при невысоких температурах.

**293. Графики, относящиеся к учению о магнитных явлениях (§§ 149 и 159).** Возьмем длинный, тонкий возможно более «правильно

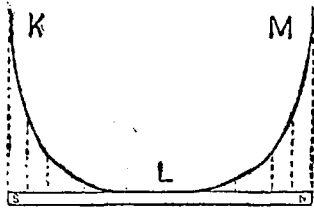


Рис. 586.

График, ординаты которого пропорциональны силам притяжения между магнитом и железом в разных местах магнитного стержня.

намагниченный стальной стержень (можно взять, например, стальную вязальную спицу). Будем прикладывать к этому стержню в разных местах кусочек железа и измерять (например, при помощи маленьких пружинных весов) ту силу, с которой железо притягивается в разных местах к магниту.

Мы знаем, что при этом наибольшая сила наблюдается в концах, у «полюсов» магнита, а наименьшая (равная 0) в середине. Результаты подобных измерений весьма наглядно могут быть выражены при помощи такого графика. В направлении

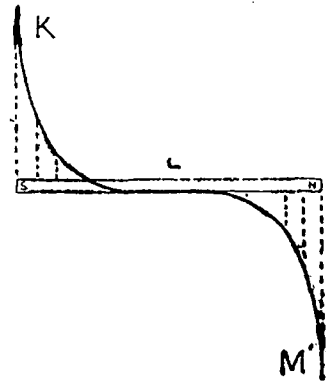


Рис. 587.

График, ординаты которого пропорциональны силам притяжения и отталкивания между магнитом и северным полюсом другого магнита в разных местах магнитного стержня.

оси абсцисс (рис. 586) откладывается длина магнита, изображенная в каком-нибудь, обыкновенно, уменьшенном — масштабе, а в направлении ординат откладываются отрезки, пропорциональные силам притяжения в соответствующих точках. Получается кривая *KLM*, наибольшие ординаты которой соответствуют полюсам магнита, а наименьшие (равные 0) — средней части.

Если вместо притяжения железа к магниту измеряется притяжение и отталкивание магнитом полюса (например, северного) другого магнита, и если при этом желательны, чтобы силы притяжения и силы отталкивания изображались различно, то ординаты, соответствующие притяжению, откладываются в одну сторону, а ординаты, соответствующие отталкиванию, — в противоположную (вниз). Получается кривая *KLM'* (рис. 587) с прямолинейным участком, соответствующим средней части магнита, и с кривыми, изогнутыми в противоположные стороны, концами.

Чтобы ознакомиться на примере с ходом «суточных» изменений земного магнетизма (§ 159), рассмотрим кривую изменений угла склонения магнитной стрелки (рис. 588), вычерченную по наблюдениям на одной из европейских магнитных обсерваторий. На графике видно, что наибольшей величины (слишком на 4 угле-

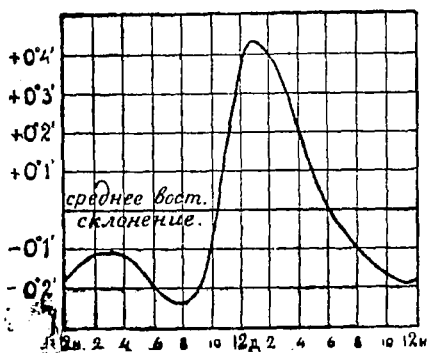


Рис. 588.

Кривая суточных колебаний угла магнитного склонения.

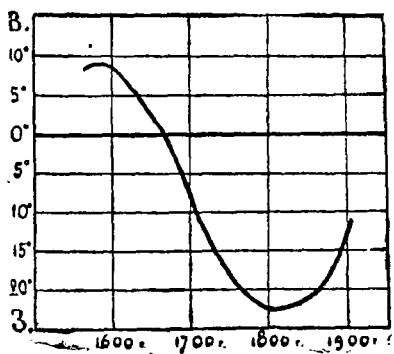


Рис. 589.

Кривая вековых изменений угла магнитного склонения в Париже.

вых минуты больше среднего) склонение достигало около 1 ч. дня, а наименьшей (почти на 2,5 минуты меньше среднего) — около 8 ч. утра.

Кривая, изображенная на рис. 589, дает приблизительный ход «вековых» изменений угла магнитного склонения по наблюдениям в Париже за период последних 350 лет. Этот график показывает, что около 1580 г. наблюдалось наибольшее восточное склонение (около 8°); около 1670 г. склонение было равно 0° (стрелка устанавливалась по географическому меридиану), а в начале XIX века склонение достигало наибольшей величины в противоположную сторону (около 23° к западу).

**294. Графики, относящиеся к учению об электрических явлениях (§§ 187 и 198).** Мы знаем, что на основании закона Ома сила тока (при неизменной электродвижущей силе) обратно пропорциональна сопротивлению. Если мы выразим эту зависимость между силой тока и сопротивлением графически, мы получим кривую (рис. 590), в которой нетрудно узнать равноугольную гиперболу, знакомую нам по графику закона Бойля-Мариотта. На нашем чертеже кривая построена в предположении, что электродвижущая сила равна 1 вольту.

График, изображенный на рис. 591, выражает зависимость между разностью потенциалов и длиной искры при разряде в воздухе при нормальном давлении и при электродах в форме шариков в 1 см диаметром (§ 198). В направлении оси абсцисс отложены разности потенциалов (каждое деление соответствует 10 000 вольт),

а в направлении оси ординат — длины искр (каждое деление соответствует 1 мм). График наглядно показывает, как быстро с увеличением разности потенциалов возрастает длина искры.

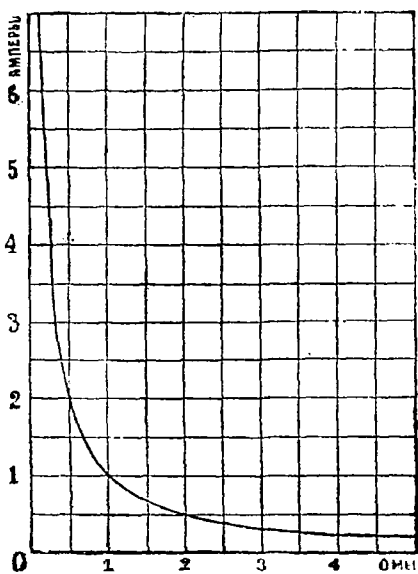


Рис. 590.

График зависимости силы тока от сопротивления (при неизменной электродвижущей силе).

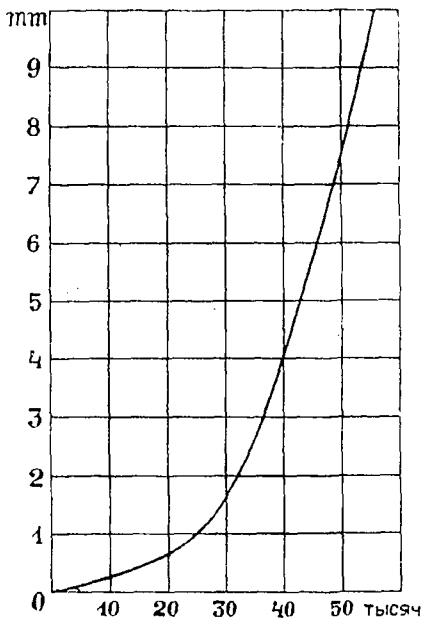


Рис. 591.

График зависимости длины электрических искр от разности потенциалов.

? Начертите график, выражающий зависимость силы тока от электродвижущей силы (при неизменном сопротивлении) согласно с законом Ома.

? Как изменился бы график, изображенный на рис. 590, если бы мы предположили, что электродвижущая сила равна не 1 вольту, а 2 вольтам, или, наоборот, 0,5 вольта?

### 295. Графики, относящиеся к учению о звуке (§§ 228 и 233).

Движение какой-нибудь точки звучащего камертона так же, как и движение груза маятника при небольших размахах, представляет собой особый, в некотором смысле простейший вид колебательного движения, называемого простым гармоническим колебанием. Не вдаваясь в математические расчеты, разберем некоторые особенности такого рода колебания и укажем способ его графического изображения.

Представим себе, что точка  $P$  (рис. 592) равномерно движется по кругу в направлении, обратном часовой стрелке. Проведем какой-нибудь, — например вертикальный — диаметр круга  $AB$  и будем представлять себе, что для каждого момента движения точки  $P$  из этой точки на диаметр  $AB$  опускается перпендикуляр  $PM$ . Основание перпендикуляра  $M$  будем, как это принято в геометрии, называть проекцией точки  $P$  на прямую  $AB$ .

По мере того, как точка  $P$  будет обегать окружность нашего круга, ее проекция  $M$  будет двигаться вверх и вниз по диаметру  $AB$ . Если движение точки  $P$  равномерное, то движение проекции  $M$  будет простым гармоническим колебанием.

Нетрудно видеть, что движение точки  $M$  не будет равномерным. Действительно, ясно, что при равномерном движении точки  $P$  точка  $M$  вблизи центра круга будет двигаться всего быстрее, а у концов диаметра  $A$  и  $B$  — медленнее.

Сравнивая колебания точки  $M$  по диаметру  $AB$  с колебаниями маятника или ножки камертона, видим, что центр круга  $M$  соответствует положению равновесия маятника. Радиус  $MA$  представляет собою амплитуду, а диаметр  $AB$  — размах колебаний. Время, за которое точка  $P$  обегает всю окружность, а точка  $M$  делает одно полное колебание, есть период колебания  $T$ .

График гармонического колебания точки  $M$  проще всего можно построить так. Отложим на прямой, идущей в направлении радиуса  $M_0P_0$  (рис. 593), какой-нибудь отрезок  $S_0T$ , который примем за графическое изображение промежутка времени, равного периоду колебания  $T$ . Отложим в том же направлении, которое будет для нас осью абсцисс, несколько таких же отрезков. Представим себе теперь, что период разделен на несколько — например, на  $S$  — частей. Разделим отрезок  $S_0T$  на столько же частей. Через восьмые доли периода точка  $P_0$  будет последовательно в  $P_1$ , в  $P_2$ , в  $P_3$ , в  $P_4$  и т. д.; а точка  $M_0$  — в  $M_1$ , в  $M_2$ , в  $M_3$ , в  $M_4$  и т. д. Если мы теперь в точках деления отрезка  $S_0T$  восставим ординаты, равные (или пропорциональные) расстояниям точки  $M$  от центра для данного момента, то мы получим ряд точек:  $S_1, S_2, S_3$  и т. д., намечающих кривую, которая и представляет собою график гармонических колебаний. Получающаяся кривая носит название синусоиды. Каждому обороту точки  $P$  по окружности, следовательно, каждому полному колебанию точки  $M$  по диаметру  $AB$  на графике соответствует одна волна синусоиды, состоящая из выгиба кверху и такого же выгиба книзу. Синусоида может состоять из какого угодно числа одинаковых волн.

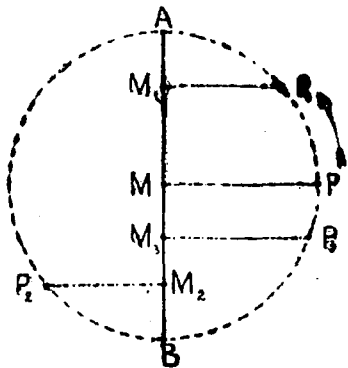


Рис. 592.

При равномерном движении точки  $P$  по окружности проекция  $M$  совершает простые гармонические колебания по диаметру  $AB$ .

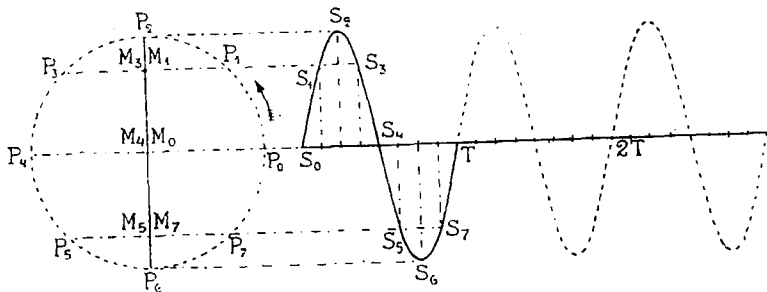


Рис. 593.

Построение графика гармонического колебания.

Нетрудно сообразить, что те волнистые кривые, которые мы получали на законченной пластинке при помощи острого, прикрепленного к камертону (§ 229), представляют собою тоже синусоиды — графики колебаний камертонной ножки.

Есть способы получать графики колебаний, соответствующих самым разнообразным звукам. Это можно сделать, например, так. Исследуемый звук производят перед рупором  $R$  (рис. 594), в котором звуковые колебания передаются пластинке  $K$  и прикрепленному к ней зеркальцу  $Z$ . На зеркальце падает луч света, который, отразившись, дает на поверхности вала  $B$  маленькое светлое пятнышко («зайчика»).

При колебаниях пластинки и зеркальца это светлое пятнышко, в увеличенном виде повторяя эти колебания, движется взад и вперед в вертикальном направлении. Если при этом вал *B* равномерно вращать вокруг его оси, то на светочувствительной (фотографической) бумаге, покрывающей вал, остается след в виде волнистой линии, представляющей собою график колебаний исследуемого звука.

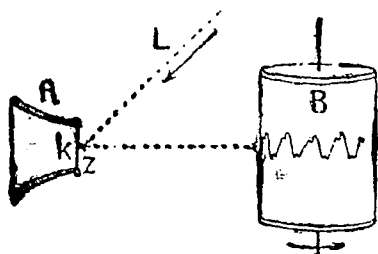


Рис. 594.

Расположение приборов для получения графиков звуковых колебаний на светочувствительной бумаге.

Подобным образом получают графики разнообразнейших звуковых колебаний. Рассмотрим несколько примеров таких графиков. Если перед рупором произвести звук резкого удара, стука или щелчка, получается график, состоящий из немногих несходных друг с другом изгибов (рис. 595, *a*), что соответствует колебаниям при немзыкальных звуках («шумах»). При звуке камертона получается знакомая нам синусоида с однообразными изгибами вверх и вниз (рис. 596, *b*). При одновременном звуке двух камертонов, дающих тоны с интервалом в октаву, получается кривая, представляющая собою как бы сумму двух синусоид, из которых одна состоит из волн вдвое более коротких, чем другая.

Такие две синусоиды, слагаясь, дают различной формы изгибы, смотря по тому, как синусоиды сдвинуты одна относительно другой, и по тому, насколько велики размахи того и другого колебания.

Если на скрипке при помощи смычка берется та самая нота ( $do_2$ ), которую давал наш первый камертон (рис. 595, *a*), то вместо изгибов синусоиды получается

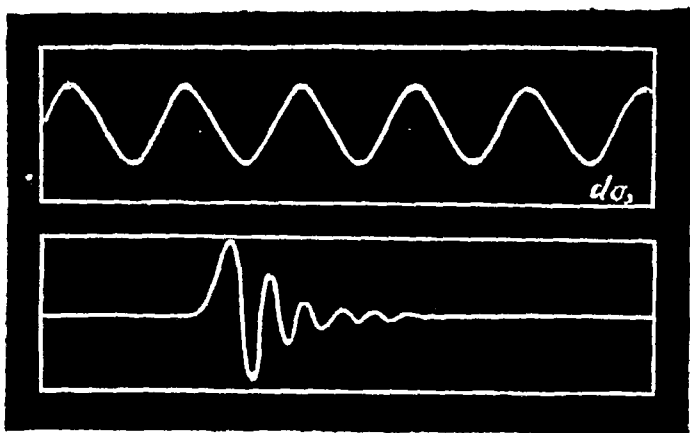


Рис. 595 (а).

График звуковых колебаний при стуке.

Рис. 596 (b).

График звуковых колебаний камертона.

такое же число прямолинейных зигзагов (рис. 598, *b*). Такой график представляет собою соединение целого ряда синусоид, соответствующих «обертонам» (§ 233), сопровождающим основной тон звука скрипки.

При звуке человеческого голоса, поющего на разные гласные буквы, получаются кривые, которых примеры изображены на прилагаемых чертежах (рис. 599, 600, 601 и 602). Кривые эти могут иметь весьма разнообразные формы изгибов в зависимости от тембра голоса певца и в зависимости от высоты той ноты, на которую поется гласная буква. Однако, как бы сложны ни были изгибы такой кривой, они всегда могут быть представлены как слияния некоторого числа синусоидаль-

ных колебаний. В соответствии с этим всякий музыкальный звук какого угодно тембра можно представлять себе как бы аккордом некоторого числа простых («камертонных») тонов, соответствующих простым гармоническим колебаниям.

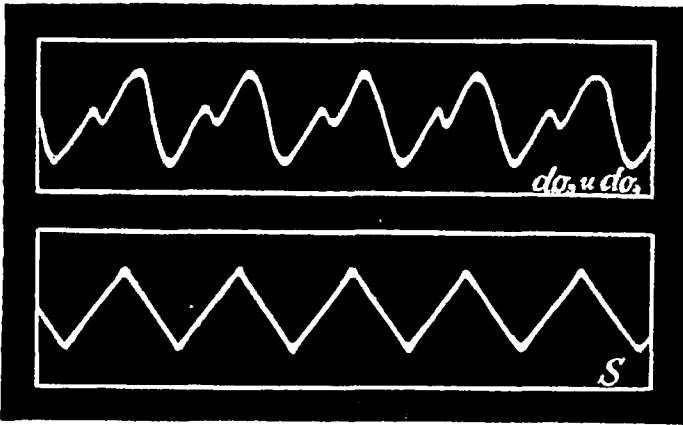


Рис. 597 (a).

График звуковых колебаний при одновременном звучании двух камертонов, дающих тоны с интервалом в октаву.

Рис. 598 (b).

График звуковых колебаний скрипичной струны (возбуждается: смычком).

? Постройте по отдельным точкам несколько синусоид по тому способу, которым мы пользовались в начале этого параграфа. Период оборота точки  $P$ , чтобы получить большее число точек, делите не на 8, а на 12, или на 16 частей. Отрезки

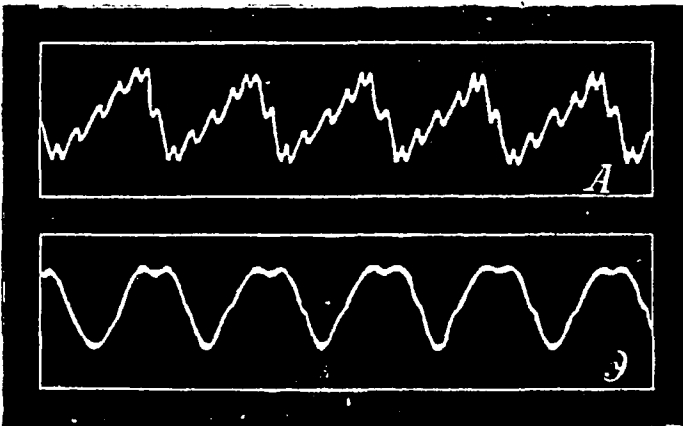


Рис. 599 (a).

График звуковых колебаний человеческого голоса, поющего на букву А.

Рис. 600 (b).

График звуковых колебаний человеческого голоса, поющего на букву Э.

в направлении оси абсцисс, выражающие период колебания, берите один раз покороче, другой раз — подлинней. Какая при этом будет разница в формах синусоид,



? Начертите на одной и той же оси абсцисс две синусоиды, периоды которых относятся, как 1 к 2 (как 1 к 3, или 2 к 3). Попробуйте построить кривую, соответствующую соединению колебаний, выражаемых этими синусоидами. Для этого

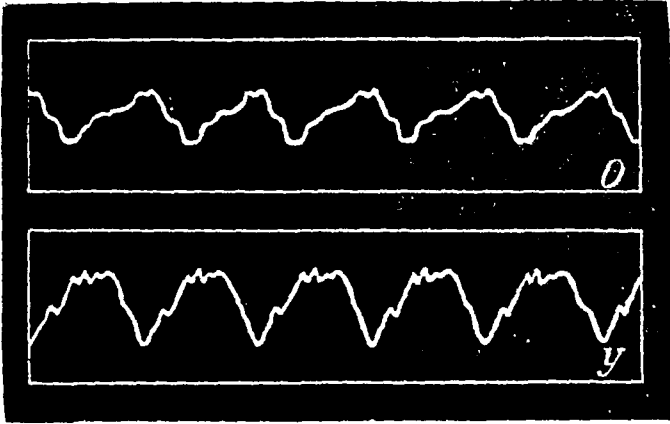


Рис. 601 (а).

График звуковых колебаний человеческого голоса, поющего на букву *o*.

Рис. 602 (b).

График звуковых колебаний человеческого голоса, поющего на букву *y*.

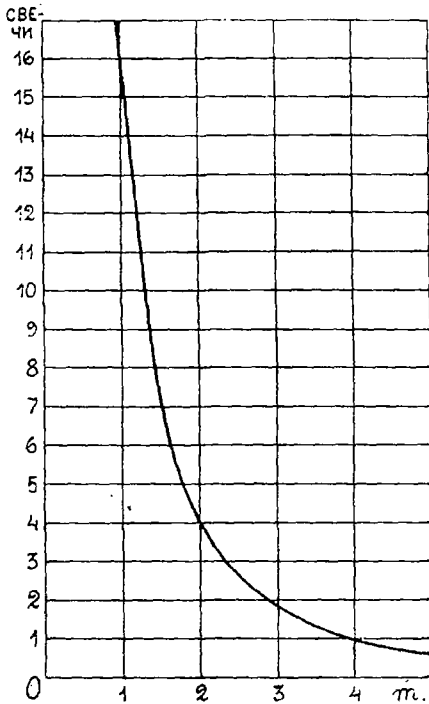


Рис. 603.

График, выражающий зависимость яркости освещения от расстояния до источника света.

надо брать сумму ординат в тех местах, где ординаты направлены в одну сторону, и разность ординат в тех местах, где они направлены в разные стороны.

**296. Графики, относящиеся к учению о свете (§§ 251 и 262).** Рассмотрим графики, выражающие убывание яркости освещения по мере увеличения расстояния от источника света. Зная, что яркость освещения *о б р а т н о* пропорциональна квадрату расстояния (§ 251), построить такой график по отдельным точкам не представляет затруднения. Наш график (рис. 603), в котором значения абсцисс и ординат ясны из указаний на чертеже, построен для частного случая источника света силою в 16 свечей, но подобную же форму имел бы и всякий график, построенный для источника любой яркости и для любых расстояний. Мало того, графики такой же формы служат для выражения ряда других физических законов. Сила звука, сила магнитных и электрических взаимодействий, наконец, открытая Ньютоном сила всемирного тяготения — все эти силы подобно яркости освещения убывают в обратном отношении квадратов расстояний от своих источников. Поэтому графическое изображение зависимости величины этих сил от расстояний будет, понятно, такое же, как для яркости освещения.

Пусть у нас имеется вогнутое сферическое зеркало с известным нам фокусным расстоянием  $F$ . Мы знаем (§ 262), что расстояния  $d_1$  (от зеркала до предмета) и  $d_2$  (от зеркала до изображения этого предмета) связаны формулой:

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} = \frac{1}{F}.$$

Если  $F$  нам известно, то для всякого заданного  $d_2$  мы по этой формуле можем найти соответствующее  $d_1$ . Зависимость между  $d_1$  и  $d_2$  нетрудно выразить графически. На рис. 604 представлен подобный график, в котором по оси абсцисс отложены расстояния  $d_1$ , а по оси ординат — расстояния  $d_2$  (по обоим направлениям каждое деление соответствует 10 см). Отрицательные  $d_2$  (для мнимых изображений за зеркалом) отложены вниз от оси абсцисс, а положительные (для действительных изображений) — вверх. График вычерчен для зеркала с фокусным расстоянием  $F = 20$  см (радиус  $R = 40$  см).

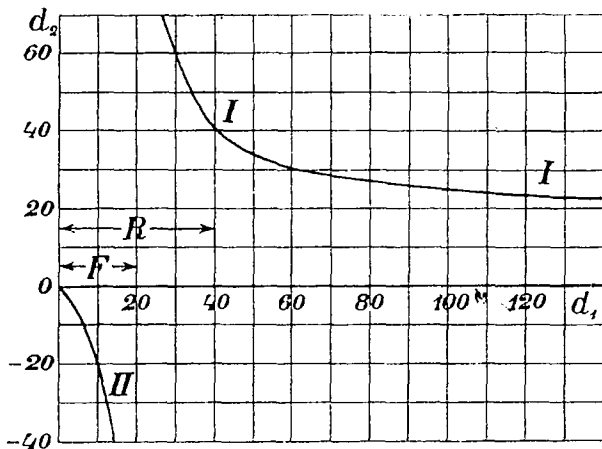
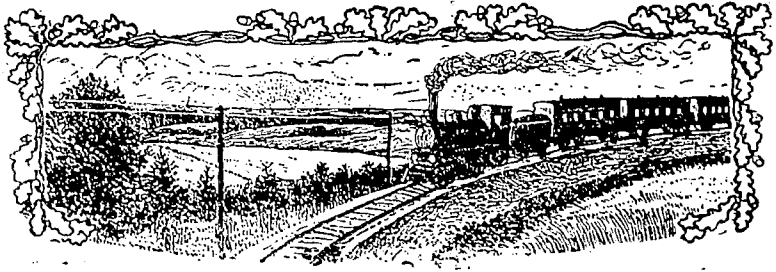


Рис. 604.

График зависимости между расстоянием от вогнутого зеркала до предмета ( $d_1$ ) и его изображения ( $d_2$ ).

График имеет форму знакомой нам равнобочной гиперболы, при чем на этот раз играет роль не только целиком вся ветвь I, но часть ветви II, соответствующая отрицательным  $d_2$ .

? Проследите на графике, что предмет и его изображение находятся всегда в сопряженных точках (§ 260).



## ПОСЛЕСЛОВИЕ.

### Кое-что из физики среди живой природы.

#### I.

Заканчивая учебную книгу, посвященную физике, я очень боюсь, что описанные явления, опыты и приборы представляются читателю чем-то выдуманным, непохожим на то простое, повседневное, что мы видим вокруг себя. Однако, подумайте немного, взгляните внимательно, и вы встретите физику, физические явления везде: и на уроке географии, и на уроке гимнастики, и на прогулке, и среди игры, и в доме, и в кухне, и на фабрике или заводе, и в беспредельной глубине звездного неба.

Приглядитесь к явлениям живой природы, ко всему, что окружает вас, и вам станет ясно, что наши хитро выдуманные приборы и приспособления служат для наблюдения явлений в упрощенной, схематической форме.

Окружающие нас со всех сторон явления, явления живой природы, представляют собой более или менее сложные сочетания тех простейших явлений, которые изучаются в физических и химических лабораториях.

Сообщая начальные сведения по физике, мне хотелось бы заронить в вас не один только интерес к физической науке, но и любовь к внимательному, вдумчивому наблюдению всего, что вы видите вокруг себя.

#### II.

Представьте себе, что вы проснулись в ясное летнее утро на даче. Пусть в предстоящий день у вас нет никакого обязательного дела. Попробуем посвятить этот день физике, но физике без всяких уроков, без книг, без приборов. Будем безза-



„Кучевые“ облака.

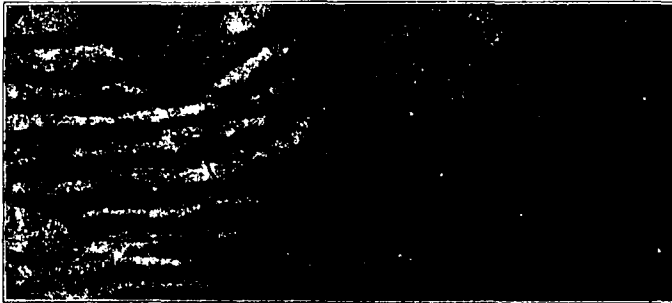
ботно проводить летний день, обращая внимание лишь на ту физику, которая сама будет попадаться нам на глаза,

Вы встаете и идете купаться. Взгляните на небо: оно ясное, светлое, только кое-где маленькими клочками белеют летние «кучевые» облака. Если бы встать пораньше, то на совершенно ясном небе не было бы видно и этих облачков. И теперь последите за каким-нибудь облачком, вы заметите, что оно постепенно растет. От земли, нагретой лучами солнца, поднимается «восходящий ток» воздуха, содер-



Голерхность моря облаков. (Фотография, снятая с аэростата.)

жащего водяные пары; поднявшись в более редкие слои, воздух расширяется, охлаждается, и пар сгущается в капельки настолько мелкие, что они удерживаются в воздухе, не падая.



„Барашки“.

Все облака снизу точно обрезаны на одном и том же уровне, они плавают на поверхности более плотного воздуха, на высоте в полторы-две версты. Иногда на границе между нижним, более плотным и верхним, более легким, воздухом, на поверхности «воздушного океана» образуются волны, гребни которых видны правильными рядами «барашков».

### III.

Вы подошли к речке... Если уж мы решили думать сегодня о физике, то нам не найти лучшего повода, как купанье.

Вот случай на самом себе испытать «потерю в весе» по закону Архимеда; но этого мало, на воде реки можно сделать целую кучу наблюдений и опытов чуть не по всем отделам физики.

Остановитесь на мостках купальни. Посмотрите, как разбегаются по воде волны, как они отражаются от свай купальни и переплетаются между собой. Обратите внимание, как мелкая рябь, не искажаясь, налагается на изгибы крупных волн. В такую поучительную картину переплетающихся волн так любили всматриваться Леонардо да-Винчи и Гельмгольц.

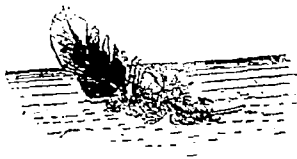
«Здесь наглядно представляется телесному оку то, что в случае звуковых волн, пересекающих воздух, открывается лишь умственно оку математика мыслителя»...

Подобным образом вы должны представить себе воздушное море концертной или танцевальной залы: оно — не по поверхности только, а по всем направлениям — пересечено пестрой толпой перекрещивающихся волн. Изо рта мужчин идут волны 6 — 12 футов длиною, из уст женщин более короткие  $1\frac{1}{2}$  — 3 фута. Шуршанье платьев вызывает мелкие вихри воздуха, всякий тон оркестра посылает свои волны, — все эти системы волн распространяются шарообразно вокруг своих исходных пунктов, пробиваются одна сквозь другую, отражаются стенами залы и так ходят вперед и назад, пока, наконец, не погаснут, пересиленные вновь возникшими волнами.<sup>1</sup>

## IV.

Недалеко от мостков, на небольшой глубине, полузарывшись в песок, лежит двустворчатая ракушка. Попробуйте попасть в нее концом тросточки. Вы направляет тросточку прямо в ракушку, но попадаете выше: вас обмануло преломление лучей. Обман тем больше, чем более полого придается вам смотреть.

Вот на поверхности воды плавает утино: перышко, конец которого загнут кверху, как маленький надутый парус. Дунул ветерок, и перышко скользит по воде словно парусная лодка.



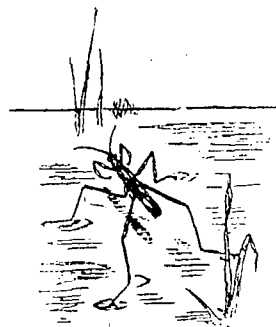
Перышко скользит по поверхности воды подобно лодке.

Не такое ли перышко наблюдал тот первобытный дикарь, который первый примостил к выдолбленному бревну звериную шкуру, чтобы ветер помог переправе через реку?

Поймайте перышко, оно совсем сухое: вода не смочила его жирной поверхности.

А вот проворно бежит по воде, точно по стеклу, сухопарый водяной клон (водомерка). Его тонкие ножки покрыты жирными волосками, к которым не пристает вода.

Умываясь, можете сделать еще наблюдение из области капиллярных явлений. Бросьте на поверхность воды комок мыльной пены, от него стремительно разбегаются в стороны мелкие пузырьки: их тянет сила поверхностного натяжения, которое больше у чистой воды, чем у мыльной.



Водяной клоп-водомерка (Hydro-metra), бегающий по воде.

## V.

Вы входите в воду: в свежее утро вода кажется вам теплее, чем была вчера среди дня. Почему вода остывает за ночь меньше, чем воздух?

Нырните поглубже. Насколько холоднее вода в глубине! Вот убедительная иллюстрация малой теплопроводности воды.

Правда, лучи солнца проникают до дна реки, но ведь верхние слои воды поглощают самую энергичную, самую греющую часть лучей (инфра-красные и красные лучи). Посмотрите на солнце из-под воды, каким тусклым, желто-зеленым оно представляется.

Вот кстати случай наблюдать преломление лучей света; посмотрите, как изменится высота солнца при взгляде из-под воды, посмотрите также, какими ломанными представляются прямые поручни купальной лестницы, концами погруженные в воду.

Вот еще забавное световое явление. Станьте по пояс в воде спиной к солнцу, пустите перед собой побольше мелких брызг, и вы увидите яркую радугу, получа-

<sup>1</sup> Из Гельмгольца.

ощуюся при преломлении лучей солнца в капельках воды совершенно так же, как настоящая радуга получается в каплях дождя.

Если ваши волосы не слишком коротко острижены, вы можете проследить, что, когда голова под водой, волосы торчат во все стороны, но как только вы подняли мокрую голову из воды, волосы слипаются друг с другом и плотно прилипают к голове. Вот прекрасный пример значения «поверхностного натяжения» в капиллярных явлениях. Волосы слипаются не тогда, когда между ними вода, а когда между ними получается водяная «пленка», стремящаяся сократиться.

Припомните, как расправляется в воде акварельная кисточка и как сжимаются ее волоски, когда она вынута из воды.

Обратите внимание на мягкие, дряблые стебли подводных растений, которые послушно гнутся по течению воды. Постоянно поддерживаемые давлением окружающей воды, эти растения не нуждаются в прочных стеблях.

К баллюстраде купальни присосалась улитка. Попробуйте отнять ее: как прочно удерживается она силой атмосферного давления!

Если вы умеете держаться на воде, лежа неподвижно на спине, попробуйте в таком положении сильно вдыхать и выдыхать воздух. Заметьте, как при этом погружается и поднимается из воды ваше тело.

Попробуйте слушать из-под воды какой-нибудь звук на берегу...

Впрочем, если проделать все физические опыты, какие можно сделать при купаньи, то придется, пожалуй, купаться до вечера. Пора вылезать из воды. Как странно! Вы из воды выходите в более теплый воздух, а вам делается не теплей, а холодней; особенно если есть хоть слабый ветерок. Может-быть, это только так кажется? Нет, вы могли бы сделать опыт с термометром и получилось бы то же. Термометр, вынутый из прохладной воды в теплый воздух, показывает сначала понижение температуры. Вспомните о скрытой теплоте парообразования, и вы легко объясните себе явление.

Однако, нора одеваться и спешить домой к чаю.

## VI.

Вы быстро идете домой. После купанья ходьба приятно разогревает вас.

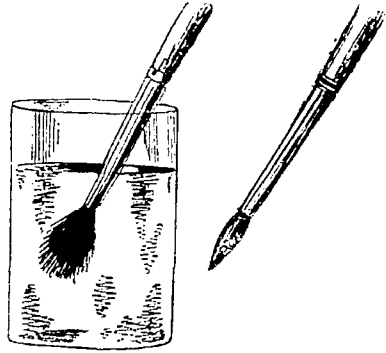
Постойте! Не кажется ли вам, что в этом явлении нарушается закон сохранения энергии? Ведь для работы требуется затрата теплоты. Затрачивая работу на передвижение своего тела, вы должны бы были терять теплоту — охлаждаться, а вы не только не охлаждаетесь, а еще разогреваетесь.

Нетрудно выяснить неправильность этого наивного соображения, которое выставлялось когда-то против учения о превращении теплоты в работу. При движении человека в его организме происходят усиленные химические реакции, при которых, как при горении, выделяется теплота. Как в паровой машине, только часть этой теплоты обращается в энергию движения.

Думать, что человек разогревается оттого, что производит работу, так же неправильно, как думать, что паровоз, стоявший без работы холодным, разогревается оттого, что везет поезд.

## VII.

Вы вернулись к дому. На террасе вас ждет горячий самовар. После легкой еды вам наливают чай, который еще слишком горяч (несмотря на то, что несколько охлаждался при растворении сахара).



Волоски кисти расходятся под водой и слипаются, когда кисть вынута из воды.

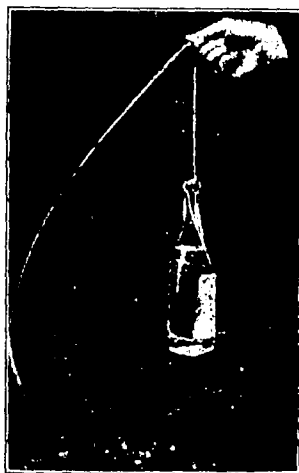
Вот вам физическая задача: чай слишком горяч, и вы знаете, что он будет еще слишком горяч и тогда, когда вы прилете к нему свежих сливок. Как же выгодней поступить, чтобы скорее можно было пить чай: сперва дать ему охладиться и потом влить сливок, или сперва влить сливок и потом дать охладиться? Сообразите, почему первое выгоднее.

Зачем у сливочника сделан «носок»? Вы хотите налить чай на блюдце, а струя чая соскальзывает по наружной поверхности чашки и попадает на скатерть. Почему здесь чай льется не туда, куда его тянет сила тяжести?

Зачерпните ложечкой мелкие пузырьки воздуха, выплывшие из сахара на поверхности чая. Вглядитесь, как эти пузырьки в неполной ложке прилипают к краям, а в переполненной «с верхом» собираются к с р е д и н е выпуклой поверхности.

Если за время этих физических опытов ваш чай еще не остыл, можете заняться изучением своего лица, так безобразно отражающегося в различных изгибах никкелированного самовара. Придвиньте лицо поближе к какому-нибудь сильно выпуклому месту. Как смешно вытягивается нос у вашего отражения!

По поводу самовара можно произвести целый экзамен по физике тепловых явлений. Для чего и как устроена тяга в средней камере (в «кувшине») самовара? Почему самовар «поспевает» скорей, когда над ним надставляется труба? Зачем самовар продувают? Почему ручки у всех частей самовара делаются деревянные? Отчего самовар «шумит», пока он горячий? Почему самовар распаивается, если в нем остаются горячие уголья, когда уже нет воды? и т. д. и т. д.



Бутылка с водой держится на изломанной соломинке.

## VIII.

Вы напились чаю и идете гулять. Чтобы не идти совсем без всякой цели, предположим, что вам поручили опустить письмо на ближайшей железнодорожной станции.

Вы идете мимо дачных заборов, из-за которых вытягиваются покрытые зелеными стручками ветви желтой акации.<sup>1</sup>

Вы, может-быть, умеете делать из стручка акации музыкальный инструмент, имеющий сходство с «тростью» гобоя или фагота.

Если поблизости нет зрителей, перед которыми вы стыдились бы этой мальчишеской забавы, и которым вы боялись бы терзать слух, откусите половину стручка, откройте, выложите из нее зерна и, вложив в рот откусенным концом вперед, дуйте не слишком сильно. «Музыка» получается не очень приятная. Хотите убедиться, что звучащие створки стручка колеблются? Коснитесь его кончиком языка, и вы почувствуете довольно противный зуд.

Легкая соломина ржи подерживает тяжёлый колос.

<sup>1</sup> Этот кустарник (*Caragana arborescens*) не относится к ботаническому роду акаций (*acaciae*). С различными интересными «настоящими» акациями можете ознакомиться где-нибудь в оранжерее. При случае можете теперь блеснуть сведением из ботаники, что желтая акация совсем не акация. Мало того, если уж говорить языком ботаники, то и стручки акации не стручки, а «бобы».

Вы вышли в поле. По сторонам дороги «волнуется желтеющая нива». Вы видите, как ветерок колышет морс тяжелеющих колосьев ржи. Вот волны, на которых так ясна разница между движением волны и движением той «среды», по которой бежит волна. Ведь колосья не бегут по ветру, бежит волна, а колосья только кланяются, стоя на своих местах.

Как удивительно прочны длинные тонкие стебли, поддерживающие тяжелые колосья. Как низко иногда пригнет их ветер, а они все выпрямляются во весь рост.

Ни в одной инженерной постройке не достигается такой прочности при таком ничтожном весе!

Принесите как-нибудь домой несколько длинных соломинок ржи. Если нижнюю часть соломинки надломить зигзагом и опустить в бутылку с водой (можно целый графин), то, потянув за соломинку, можно поднять бутылку, вся тяжесть которой будет держаться на надломленной соломинке.

Облака разрослись какими-то гигантскими белыми кустами и медленно движутся по синему небу, а по сияющему полю большими темными пятнами ползут за ними их тени.

Что больше, облако или тень? На много ли больше?

Или вот еще задача. Как можно смерить высоту облака? Это задачи не физические, а математические. Легче или труднее вам решить их, зависит от того, насколько велики ваши познания по геометрии и тригонометрии.

Вы смотрите на горизонт и у вас точно «рябит в глазах», воздух дрожит, мерцая и переливаясь. Лучи света преломляются в струях горячего воздуха, и вид дальнего леса искажается, как в неровном оконном стекле.

На большом расстоянии ясно заметна неполная прозрачность воздуха («воздушная перспектива»): дальний лес точно задержан легким туманом; его прозрачный синеватый тон резко отличается от сочной зелени более близкого перелеска, к которому вы подходите.

## IX.

На лужайке у опушки леса пестреет еще много цветов, хотя более ранние уже отцвели; здесь и там виднеются отцветшие головки в плодах; злаки пожелтели.

Нарвите себе пучок «душистых колосков»; во-первых, они так тонко, приятно пахнут «свежим сеном», особенно, когда немного просохнут на солнце; во-вторых,



Душистый колосок (*Anthoxanthum odoratum*).

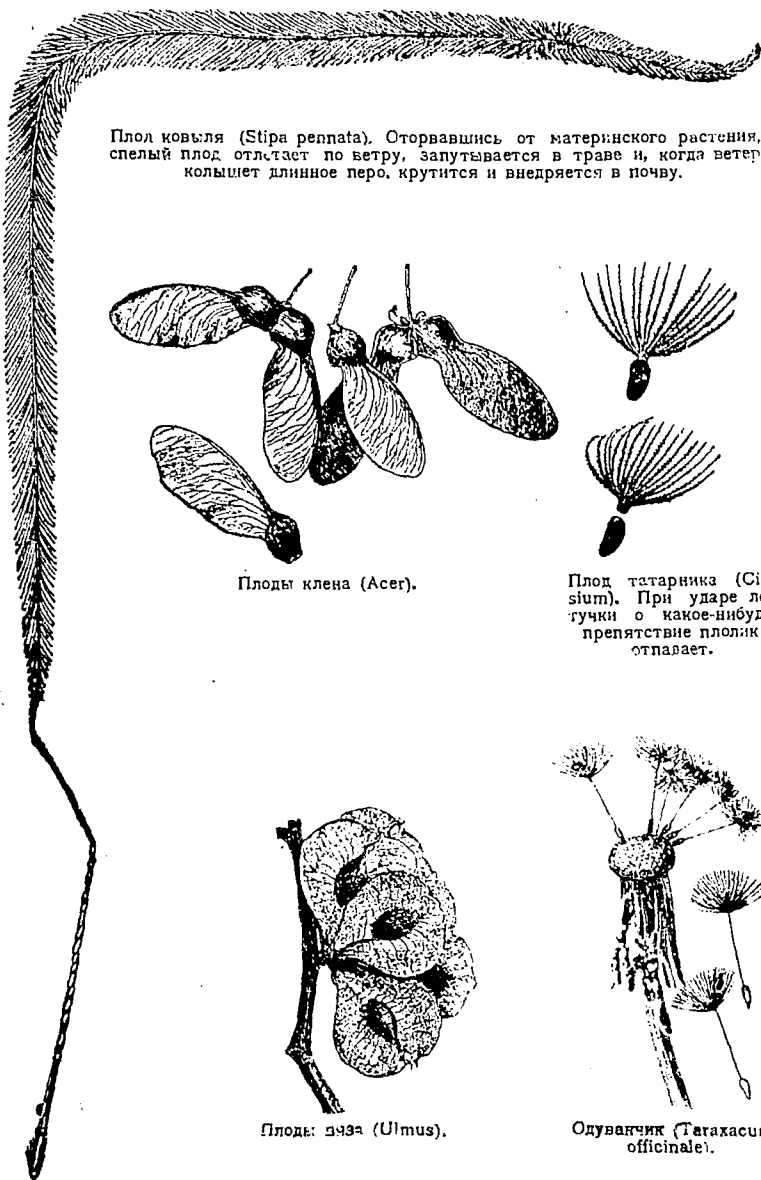


Цветок шалфея (*Salvia*) стряхивает пыльду на спинку шмеля.

их зрелые плоды обладают любопытным приспособлением для передвижения и зарывания в почву. Лизните себе ладонь и положите на нее несколько плодиков. Изогнутые коленом ости начнут от влаги раскручиваться, и плодиков



расползутся, точно живые.<sup>1</sup> Еще лучше сделать этот опыт дома на влажной бумаге.



Плод ковыля (*Stipa pennata*). Оторвавшись от материнского растения, спелый плод отлетает по ветру, запутывается в траве и, когда ветер колыхнет длинное перо, крутится и внедряется в почву.

Плоды клена (*Acer*).

Плод татарника (*Cirsium*). При ударе легучки о какое-нибудь препятствие плодик отпадает.

Плоды вяза (*Ulmus*).

Одуванчик (*Taraxacum officinale*).

Сколько любопытных механизмов, приспособленных для различных целей, можно наблюдать у растений.

<sup>1</sup> Еще лучше наблюдать это явление с плодами аистника (*Herodium cicutarium*) или «бешеного овса» (*Avena fatua*), чаще встречающегося в южной половине СССР.

Обращали ли вы когда-нибудь внимание на разнообразнейшие крылышки и парашюты, служащие для распространения семян различных растений при помощи ветра? Припомните пушок одуванчика, семечко березы, крылышко клена и т. п.

А вот вам пример приспособления, служащего для оплодотворения цвета при содействии насекомых. В цветке полевого шалфея спайка тычинки разрослась в рычажок, точно сделанный искусной рукой человека. Шмель удобно усаживается на нижней губе цветка и лезет внутрь венчика за нектаром; при этом он поднимает короткое плечо рычажка, а длинное опускается, и оплодотворяющая пыльца стряхивается на спинку насекомого, которое понесет ее на цветки других экземпляров.

Надо пересечь небольшой уголок леса. В стороне от дороги, внизу влажного лесного оврага вы могли бы найти и еще растение с замечательным приспособлением для разбрасывания семян. Это — бальзамин «не-тронь меня».<sup>1</sup> Под нежными зелеными листьями висят его полупрозрачные, нежные плоды. Нажмите пальцами кончик плода, стенки лопнут, скрутившись упругими завитками, и брызнут в стороны зрелыми семенами.

## Х.

В этих примерах нас поражает то, что природа вырабатывает приспособления, так похожие на дело человеческих рук, но иногда, наоборот, творческая изобретательность человека стремится подражать природе.



Чайки.

Вон над макушкой деревьев кружит коршун. Посмотрите, как на поворотах изменяется наклон его хвоста, который служит ему рулем. Он парит, почти не взмахивая крыльями.

Припомните чаек, которые при каком угодно ветре ловко шныряют по всем направлениям в воздухе.

Как изумительно и уверенно владеют птицы тем искусством, которым после стольких усилий и жертв едва начал владеть человек!

Четыреста лет тому назад универсальный гений Леонардо да-Винчи, пророк точного естествознания, первый приступил к научному решению смелой задачи сделать человека крылатым. Но только в наши дни, во всеоружии научных знаний и технического могущества XX века, празднует человечество первые победы, победы смелой отваги и строгой научной мысли.

<sup>1</sup> *Impatiens noli me tangere.*

Во что разовьется в будущем хитрый, опасный спорт воздухоплавания, до сих пор нашедший себе широкое поле технического применения почти в одном только страшном деле войны?

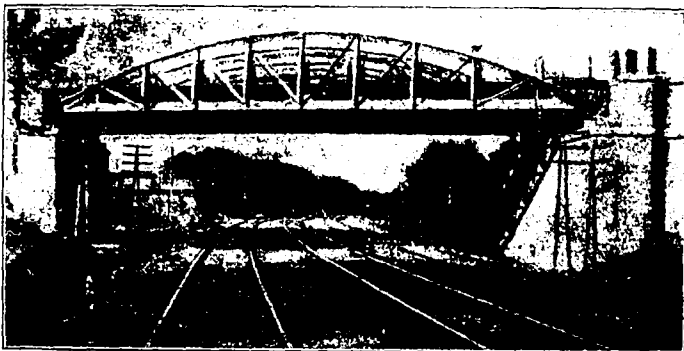


Состязание аэропланов в Иоганнискале осенью 1909 г.

Когда я думаю, как страшно было бы мне взлететь на аэроплане или на каком-нибудь цеппелине, мне вспоминается мой прадед, храбрый офицер, смелый охотник за дикими кабанами, который до конца жизни ездил на лошадях рядом с новой линией железной дороги, полный суеверного страха перед движущей «машиной».

## XI.

Вы вышли из лесу. Пересекая открывшуюся поляну, пролегла прямая полоса железнодорожного пути. Вы подходите к полотну, чтобы вдоль него дойти до вид-



Рельсы представляются сходящимися вдали.

неющейся станции, около которой сейчас остановился поезд. Вот одна за другой взвились над паровозом белые струйки пара; две-три секунды — тишина, пар рассеялся, но вот резкий двойной свисток достигает ваших ушей. Сколько времени шел звук от паровоза до нас? Нетрудно подсчитать: расстояние легко сообразить хоть по телеграфным столбам (расстояние между столбами обычно бывает 30 сажень), а скорость звука в горячем летнем воздухе надо считать круглым числом в 350 метров или 175 сажень в секунду.

Вы идете рядом с полотном. Блестящие на солнце параллельные полосы рельсов кажутся сходящимися вдали. Поезд идет почти прямо на вас; его движе-

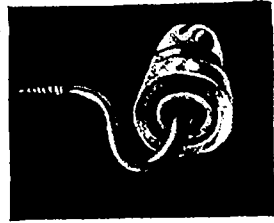
пне заметно только потому, что кажется, будто паровоз постепенно вырастает. Но вот, ритмически гремя колесами на стыках рельсов, поезд прошел мимо вас и удаляется в противоположную сторону.

Почему, пока поезд стоял у станции, дым из трубы высоким столбом поднимался кверху, а теперь он все время стелется почти на одной высоте с отверстием трубы?

Стук поезда постепенно затихает, но вы могли бы еще долго оглушительно громко слышать его, если бы положили ухо на рельсы. Однако, для наблюдения звукопроводности твердого тела вам нет надобности нарушать железнодорожные правила и входить на полотно да еще ложиться ухом на рельсы. Подойдите к телеграфному столбу и приложите к нему ухо; вы услышите громкое жужожание проволочек. Стоя у телеграфного столба, посмотрите кстати, как устроены фарфоровые изоляторы. Заметьте углубления, сделанные снизу для того, чтобы влага дождя, покрыв изолятор, не образовала соединений между проволокой и железным болтом, на который посажен изолятор.

Вы видите, как провисли проволоки в пролетах между столбами. Такой ли бывает прогиб в зимний морозный день?

Вы идете дальше... Вот линия телеграфа изменяет направление, и у столба на повороте вы видите подпорку. Зачем и с какой стороны она поставлена?



Телеграфный изолятор.

## XII.

Придя на станцию, вы опустили письмо и вышли на платформу, у которой стоит длинный товарный поезд. Подсчитайте вес поезда. Вес самого вагона («тара») и наибольшего груза написан на каждом вагоне.

Как по этому весу рассчитать силу, с какой тянет паровоз?

Вы подходите к паровозу, от которого пышет жаром за несколько шагов. Это не теплый воздух, это невидимые (инфра-красные) лучи, испускаемые паровозом.

Теплый воздух поднимается кверху, и над котлом вы видите колеблющиеся струи, как там, в поле над горизонтом.

Вы всматриваетесь в детали паровоза, отчасти понятные, отчасти еще непонятные вам. Зачем, например, на большом колесе паровоза приделан груз («балансир») против того места, за которое ведет колесо «шатун»?

Как много нужно было талантливого усердного труда, чтобы создать эту мощную машину, послушно работающую под управлением одного человека!

Вы возвращаетесь домой. Под живым впечатлением паровоза, постарайтесь проследить тот ряд превращений энергии, который приводит к движению поезда.

Колеса паровоза вертятся вследствие давления пара на поршень в цилиндре. Пар давит вследствие стремления расшириться, которое он получил благодаря нагреванию. Вода в котле нагревается и обращается в пар, получая теплоту от топки. В топке горит каменный уголь, при соединении которого с кислородом выделяется огромное количество энергии (теплоты).

Столб с подпоркой на повороте линии.

Откуда взялся каменный уголь, представляющий собой запас энергии для наших машин?

Прежде чем ответить на этот вопрос, подумайте о том, как углекислый газ, получившийся от горения угля в паровозе (да и тот, который выдыхаете вы), снова распадается на углерод и кислород, снова образуя запас энергии.

Вы вернулись к опушке леса. Смотрите, как из зеленой чащи тянется к солнцу каждая ветка, как каждый листочек силится захватить побольше горячих лучей.



Пейзаж каменноугольного периода. Лес из древовидных папоротников, гигантских плаунов (лепидодендроны) и хвощей (каламари). На первом плане громадная, давно вымершая саламандра (археозавр).

В этих зеленых листьях идет энергичная работа хитрого химического процесса. Энергия солнечного луча разлагает здесь углекислый газ на углерод, который входит в состав веществ, питающих растение, и на кислород, который возвращается в атмосферу.



Отпечатки листьев и ствола дерева, сохранившиеся в слоях каменного угля.

В углероде, отделившемся от кислорода, снова получился запас энергии, затраченной солнечным лучом.

Если когда-нибудь эти деревья в виде дров попадут в костер или в печь, энергия солнечного луча проявится снова в форме тепла и света.

Каменный уголь есть тоже запас энергии солнечного луча,

Этот запас сделан давно-давно, много миллионов лет назад. На тех местах, где раскинулись теперь наши поля, рощи и селенья, росли тогда бесконечные леса гигантских хвощей и папоротников. Еще не было тогда на земле человека, и хозяевами бродили в тех лесах неуклюжие «допотопные» чудища — гигантские саламандры, привольно гревшиеся в тогдашнем тропическом климате.

Как теперь наши кудрявые леса и зеленые поля, тянулись к солнцу и те допотопные растения.

Протекли бесчисленные вереницы веков, и тела этих растений, вскормленные лучами солнца, улеглись в недрах земли пластами каменного угля, храня в себе могучий запас энергии.

Человек тратит теперь эту энергию себе на услуги, а по уцелевшим отпечаткам восстанавливает картины той стародавней природы.

Солнечный луч движет паровоз поезда, да и все наши машины. Солнечный луч согревает наши печи и каминны и освещает в лампах в зимние вечера наш труд и досуг. Энергией солнечного луча движутся: и река, и стремительный водопад, и тихий ветерок, и мощный сокрушительный ураган. Энергией солнца живет и все живое на земле. Разве не солнечный луч создает на ржаных и пшеничных полях наш насущный хлеб?

Лишь в немногих процессах на земле (вулканические явления, приливы и отливы, сгорание метеоров) энергия не представляет собой превращенной энергии солнечного луча.

### XIII.

Нельзя ли, хоть приблизительно, подсчитать мощность Солнца, т.е. оценить всю энергию, ежесекундно испускаемую Солнцем в мировое пространство?

Если вы помните наизусть некоторые нужные числа, вы можете сделать подсчет сейчас же (арифметические выкладки можно писать тросточкой на пыльной дорожке).

Измерено, что солнечные лучи, падая перпендикулярно на 1 кв. метр земной поверхности, дают круглым числом 30 бол. калорий в минуту. Это составляет  $30 \times 425 =$  приблизительно 13 000 килогр.-метров работы в минуту, или около 215 килгр.-метр. в секунду, что соответствует мощности почти в 3 лошадиных силы. На всю поверхность земного шара (на площадь большого круга, равную 130 000 000 000 квадр. метров) получается невообразимо огромная мощность более

$$350\ 000\ 000\ 000\ 000 = 350 \text{ биллионов лошадиных сил!}$$

Мощность в 3 миллиона раз большая, чем совокупная мощность всех машин, людей и животных на земле!

А ведь это только та ничтожная часть мощности Солнца, которая попадает на землю. Полная мощность Солнца еще в 2 250 000 000 раз больше.

Откуда же само Солнце черпает энергию, которую оно веками непрерывно излучает без сколько-нибудь заметного истощения?

Глубокие, остроумные догадки многих исследователей не привели еще к бесспорному решению этой мировой физической задачи. С тех пор, как открыты явления радиоактивности, можно предполагать, что неисчерпаемым запасом энергии Солнца является присутствие в его составе радиоактивных веществ.

### XIV.

Придя домой, запасаясь энергией за обеденным столом, вы можете продолжать ряд сегодняшних физических наблюдений.

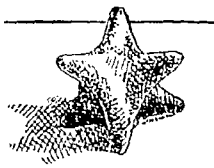
Суп слишком горяч, вы дуете на него, зачерпываете ложкой и льете обратно в тарелку. Почему это способствует остыванию? Почему жирный суп остывает медленней?

На столе, соблазняя вас своей свежестью, стоит запотевший графин холодного квасу. Откуда этот «пот» на холодном графине?

Почему мясо хорошо режется только острым ножом?

Почему мороженое скорее тает, если его разминать ложечкой? Может-быть, тут получается теплота, вследствие затрат механической работы при разминании? Сообразите, почему такое предположение нелепо.

После обеда скатайте себе из обломка черного хлеба рогатую фигурку: она оказывается неожиданно прочной, ее можно из всех сил ударить об пол, а она нисколько не помнется.



Рогатый комок хлеба, не мнущийся при падении.

После обеда вы уходите в тень повалиться на гамаке. Почему так мягко лежать на гамаке, несмотря на жесткость узловатых веревок?

Представьте себе, что вы лежите на мягком пуховике, и что этот пуховик сделался твердым, как камень, сохранивши все свои изгибы, какие получились под давлением вашего тела. Сообразите, что, если вы при этом будете лежать неподвижно, вы не должны ощутить жесткости.

Между макушками деревьев виден клочок неба.

Посмотрите на набежавшее облако: оно на ваших глазах редет, расплзается и исчезает. Теперь происходит процесс, обратный тому, что вы видели утром. Облака опускаются в более плотный слой атмосферы, сжимаются, нагреваются и «тают».

«И в тверди пламенной и чистой  
Лениво *тают* облака»

(Тютчев).

На обычном, разговорном языке и на языке поэзии «тают». Точнее было сказать — «испаряются». Ведь здесь жидкость обращается в пар. В буквальном смысле могут «таять» только те высокие перистые облака, которые состоят не из капелек воды, а из кристаллов льда.

## XV.

Чем бы вы ни наполнили вторую половину дня: будете ли вы кататься верхом, на велосипеде или на лодке, будете ли играть в английский теннис или в русские городки, займетесь ли вы гимнастическими упражнениями, или будете развлекаться музыкой или пением, везде, на каждом шагу вы встретите физические явления, по поводу которых сами сумеете задавать себе вопросы и задачи.

Может-быть, вы пойдете посмотреть работу соседней фабрики? Что бы ни выработывалось на ней, там найдется много поучительных примеров того, как знание физических законов дает возможность расчетливо использовать разнообразные силы природы.

## XVI.

Наступает вечер. Желто-красное заходящее солнце уже не слепит глаз, как среди дня. Его лучи пронизывают теперь гораздо более толстый слой атмосферы, которая поглощает синие и фиолетовые лучи.

Вот солнце закрылось ажурной лиловой тучкой, и из-под нее прорываются светлые столбы лучей, веером расходящиеся по небу. Но разве могут расходиться «веером» лучи отдаленного солнца? Ведь они должны быть почти в точности параллельны. Они, конечно, параллельны; их кажущееся расхождение есть только впечатление перспективы. Помните, как казались вам сходящимися вдали заведомо параллельные рельсы железной дороги?

Вот солнце снова вышло из-за тучки и теперь почти касается горизонта. Вглядитесь. Вы видите не круглый диск, а заметно сплюснутый сверху и снизу. От преломления лучей в земной атмосфере («астрономическая рефракция») все небесные тела кажутся несколько более приподнятыми над горизонтом, чем на самом деле. Эта приподнятость тем сильнее, чем ближе наблюдаемая точка к горизонту. Сплюснутость солнечного диска получилась от того, что его нижний край кажется приподнятым больше, чем верхний.

Вы долго смотрели на солнце, и те места сетчатки ваших глаз, где получалось изображение солнца, слишком утомлены световым впечатлением. Закройте глаза; вам мерещится рой огненных пятен. Взгляните на светлое небо; пятна представляются фиолетовыми («дополнительного» цвета).

Солнце зашло. Свет медленно угасающей летней зари долго борется с наступающими сумерками. На огромной высоте еще долго рдеет маленькое облачко, для которого солнце еще не зашло. Сообразно такому отблеску лучей, зная положение солнца, можно оценить высоту облака над землей.

Небо постепенно темнеет. Вот уж глаз различает светлую мерцающую точку. Что это звезда или планета? Погодя немного, по всему небу загорятся наиболее яркие звезды, и тогда, если вы знакомы с звездной картой, вы легко решите этот вопрос.

Есть что-то чарующее и возвышающее в вечной величественной картине звездного неба. В самых названиях созвездий и ярких звезд в мифических именах, в звуках этих арабских, греческих, египетских слов как бы запечатлелось тысячекратнее стремление человека к тайнам неба.

Забудьте о земле и почувствуйте ясно, что эти светлые точки звезд — невообразимо далекие солнца, целые миры, от которых годами и десятками лет с своей молниеносной быстротой летит к нам свет.

Только слабый луч света связывает человека с этими мирами, но, исследуя этот луч, разложенный призмами спектроскопа, человек может так много знать об этих безмерно-далеких мирах.

И мы знаем, что там, в бесконечной отдаленности, на пределах постигаемого среди тех же элементов вещества царят те же законы природы, что и на нашей Земле, ничтожной пылинкой теряющейся в мироздании!





## АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.

	<i>Стр.</i>		<i>Стр.</i>
Аккомодация . . . . .	362	Вольтметр . . . . .	250
Аккумулятор . . . . .	238	Вольтова дуга . . . . .	261
Амперметр . . . . .	250	Вольтов элемент и столб . . . . .	233
А м п е р . . . . .	245	Вольт . . . . .	246
Ампер . . . . .	248	Ворот . . . . .	105
Амплитуда колебания . . . . .	292	Высота звука . . . . .	296
Анодные лучи . . . . .	267		
Ареометр . . . . .	127	Газы . . . . .	14, 125
А р и с т о т е л ь . . . . .	126	Галилеева труба . . . . .	362
Архимедово ведро . . . . .	124	Г а л и л е й . . . . .	108
А р х и м е д . . . . .	57, 122	Г а л ь в а н и . . . . .	233
Ар . . . . .	26	Гальванические элементы . . . . .	75, 233
Астрономическая труба . . . . .	361	Гальванометр . . . . .	242
Аэростатика . . . . .	110	Гальваноскоп . . . . .	242
Аэростат . . . . .	126	Гальванопластика . . . . .	259
		Гальваностегия . . . . .	259
Барометр . . . . .	135	Г е й с л е р . . . . .	264
Бароскоп . . . . .	125	Г е л ь м г о л ь ц . . . . .	293
Батавские слезки . . . . .	56	Гигрометр . . . . .	186
Б е к к е р э л ь . . . . .	270	Гигроскоп . . . . .	190
Б и о . . . . .	304	Гидравлический пресс . . . . .	116
Близорукость . . . . .	363	Гидростатика . . . . .	110
Б о й л ь . . . . .	147	Гидростатический парадокс . . . . .	119
Болонские склянки . . . . .	56	Г и л ь б е р т . . . . .	207, 212
Б у н з е н . . . . .	353	Глаз . . . . .	362
Буссоль . . . . .	198	Голос человеческий . . . . .	312
Буссоль наклоения . . . . .	207	Горизонтальное направление . . . . .	29
		Градуирование гальванометра . . . . .	243
Ватерпас . . . . .	30	Граммфон . . . . .	314
Вертикальное направление . . . . .	29	Грамм . . . . .	30
Вес тел . . . . .	28	Графики физических законов и явлений . . . . .	368
Весы . . . . .	32	Громоотвод . . . . .	273
Вечный двигатель . . . . .	293	Г э - Л ю с с а к . . . . .	155
Виды равновесия . . . . .	90		
Винт . . . . .	105	Давление . . . . .	110
Влажность воздуха . . . . .	185	Давление атмосферы . . . . .	134
Водяной барометр . . . . .	137	Давление жидкости . . . . .	111
Водяные насосы . . . . .	150	Д а г е р р . . . . .	357
Воздушное огниво . . . . .	193	Дальность . . . . .	363
Воздушный насос . . . . .	139	Д а л ь т о н . . . . .	182
Волны . . . . .	300	Движение . . . . .	60
Волны стоячие . . . . .	307	Движение молекул . . . . .	54
В о л ь т а . . . . .	233, 245	Движение относительное . . . . .	60
Вольтаметр . . . . .	254		

	<i>Стр.</i>		<i>Стр.</i>
Движение сложное . . . . .	60	Ионы . . . . .	268
Деление магнита . . . . .	202	Искра электрическая . . . . .	218
Деформации упругие . . . . .	48	Испарение . . . . .	172
Д ж а у л ь . . . . .	252, 290	Калориметр . . . . .	161
Д ж о ñ а . . . . .	207	Калория . . . . .	161
Динамо-машина . . . . .	287	Камертон . . . . .	295
Динамометр . . . . .	83	Капиллярные трубки . . . . .	132
Диффузия . . . . .	54	Катодные лучи . . . . .	266
Длины звуковых волн . . . . .	305	Кинематограф . . . . .	364
Д э в и . . . . .	159, 262	Кипение . . . . .	172
Единицы веса . . . . .	30	К и р х г о ф . . . . .	353
Единицы длины . . . . .	18	Колебания в трубах . . . . .	311
Единицы объема . . . . .	26	Колебания пластинок . . . . .	311
Единицы площади . . . . .	23	Колебания струн . . . . .	310
Единицы работы . . . . .	102	Колесательное движение . . . . .	295
Единицы электрич. величин . . . . .	246	Колесо Сегнерово . . . . .	121
Естественные магниты . . . . .	197	Колесо Франклина . . . . .	221
Жидкие пленки . . . . .	131	Количество теплоты . . . . .	161
Жидкости . . . . .	13, 237	К о л ь б е . . . . .	33
Закон Архимеда . . . . .	122	Компас . . . . .	198
Закон Архимеда для газов . . . . .	125	Конвекция . . . . .	156, 160
Закон Бойля-Мариотта . . . . .	144	Конденсатор . . . . .	225
Закон Гэ-Люссака . . . . .	155	Кристаллы . . . . .	15
Закон Дальтона . . . . .	182	Критическая температура . . . . .	175
Закон Джауля-Ленца . . . . .	251	К р у к с . . . . .	264
Закон инерции . . . . .	69	Кулон . . . . .	249
Закон Ома . . . . .	245	К ю р и . . . . .	271
Закон Паскаля . . . . .	114, 118	Лампочка Дэви . . . . .	159
Закон сохранения энергии . . . . .	194, 289	Лампочка калильная . . . . .	252
Законы отражения света . . . . .	324	Лейденская банка . . . . .	227
Законы преломления света . . . . .	338	Л е н ц . . . . .	252, 283
Законы Фарадея . . . . .	257	Ливер . . . . .	149
З е е б е к . . . . .	291	Линейные меры . . . . .	20
Зеркала кривые . . . . .	336	Линия магнитных сил . . . . .	200
Зеркала плоские . . . . .	323	Линзы . . . . .	341
Зеркала сферические . . . . .	327	Литр . . . . .	26
Знаки телеграфные . . . . .	279	Л о м о н о с о в . . . . .	191
Зрение . . . . .	362, 363	Лупа . . . . .	361
Изменение объема при плавлении . . . . .	170	Лучи анодные . . . . .	267
Измерение . . . . .	18	Лучи закатодные . . . . .	267
Измерение времени . . . . .	35	Лучи катодные . . . . .	266
Измерение длин . . . . .	21	Лучи несветящис . . . . .	355
Измерение объемов . . . . .	27	Магдебургские полушария . . . . .	141
Измерение площадей . . . . .	24	Магнетизм земной . . . . .	206
Измерение сил . . . . .	82	Магнитная буря . . . . .	209
Изображение сил графическое . . . . .	83	Магнитная индукция . . . . .	199
Изображение скоростей графическое . . . . .	66	Магнитные полюсы . . . . .	198
Изолятор . . . . .	214	Магнитный спектр . . . . .	200
Инерция . . . . .	69	Магнитный экран . . . . .	206
Индукция магнитная . . . . .	200	Манометры . . . . .	151
Индукция токов . . . . .	283	М а р и о т т . . . . .	146
Индукция электростатическая . . . . .	215	Масса . . . . .	71
Интервалы музыкальные . . . . .	298	Масштаб . . . . .	21
Инфра-красные лучи . . . . .	355	Мензурка . . . . .	28
Ионизация газов . . . . .	268	Меры квадратные . . . . .	23
		Меры кубические . . . . .	26
		Меры линейные . . . . .	20

	<i>Стр.</i>		<i>Стр.</i>
Метрическая система мер . . . . .	18, 32	Пористость вещества . . . . .	52
Метр . . . . .	18	Построение изображений в зер-	
Микроскоп . . . . .	361	калах . . . . .	324
Микрофон . . . . .	285	Построение изображений в лин-	
Миля морская . . . . .	23	зах . . . . .	346
Молекулярная гипотеза . . . . .	50	Правило Ампера . . . . .	241
Молния . . . . .	273	Правило Ленца . . . . .	282
Молния шаровая . . . . .	274	Превращение энергии . . . . .	290
М о р з е . . . . .	278	Предохранитель . . . . .	253
Мощность . . . . .	106	Предел упругости . . . . .	48
М у а с с а н . . . . .	263	Предельный угол . . . . .	340
Муассана печь . . . . .	263	Преломление света . . . . .	337
Музыкальная гамма . . . . .	298	Пресс гидравлический . . . . .	116
Нагревание лучами . . . . .	160	Прилипание . . . . .	128
Наклонная плоскость . . . . .	105	Простые машины . . . . .	103
Намагничение . . . . .	200	Проекторный фонарь . . . . .	361
Насыщающие пары . . . . .	172, 184	Пульверизатор . . . . .	151
Неподвижный блок . . . . .	103	Работа . . . . .	101
Непроницаемость . . . . .	17	Работа при помощи машин . . . . .	103
Н ь ю т о н . . . . .	315	Работоспособность . . . . .	106
Объем удельный . . . . .	46	Равновесие жидкости . . . . .	111
Ом . . . . .	245, 246	Равновесие сил . . . . .	82
Ом . . . . .	247	Равновесие плавающих тел . . . . .	126
Оптика . . . . .	317	Равновесие тяжелых тел . . . . .	88
Оптические приборы . . . . .	359	Равнодействующая сила . . . . .	82
Опыт Гальвани . . . . .	232	Радий . . . . .	271
Опыт Плато . . . . .	128	Радиоактивность . . . . .	270
Опыт Торичелли . . . . .	135	Разложение света . . . . .	348
Отвес . . . . .	29	Разложение сил . . . . .	84
Отражение звука . . . . .	306	Размах колебания . . . . .	296
Отражение света . . . . .	323	Размеры молекул . . . . .	51
Очки . . . . .	363	Разновески . . . . .	34
Ошибки измерений . . . . .	22	Разрядник . . . . .	227
Падение тел . . . . .	75	Распространение колебаний . . . . .	300
Папинов котел . . . . .	173	Распространение теплоты . . . . .	156
П а п и н . . . . .	174	Рассеяние света . . . . .	327
Параллелограмм сил . . . . .	83	Расширение тел при нагрева-	37, 152
Пара сил . . . . .	87	Реакция вытекающей жидкости . . . . .	121
Паровая машина . . . . .	190	Резонанс . . . . .	309
Паровоз . . . . .	189	Резонатор . . . . .	308
Пары насыщающие . . . . .	178	Р е н т г е н . . . . .	269
П а с к а л ь . . . . .	115	Р е о м ю р . . . . .	38
Перемешивание (конвекция) . . . . .	156	Реостат . . . . .	250
Переохлаждение . . . . .	170	Р о б е р в а л ь . . . . .	34
Период колебания . . . . .	296	Рулетка . . . . .	21
Пикнометр . . . . .	42	Р у м к о р ф . . . . .	284
Пипетка . . . . .	150	Р у м ф о р д . . . . .	322
Пирометр . . . . .	152	Рычаги . . . . .	94
Плавление . . . . .	167	Свеча Яблочкова . . . . .	263
П л а т о . . . . .	128	Сегнерово колесо . . . . .	121
Плотность . . . . .	71	С е г н е р . . . . .	122
Поверхностное натяжение . . . . .	129	Секунда . . . . .	36
Подвижной блок . . . . .	103	Секундомер . . . . .	36
Полиспаг . . . . .	104	Силы . . . . .	69
Полное внутреннее отражение . . . . .	340	Сила звука . . . . .	296
Полушария магдебургские . . . . .	141	Сила тока . . . . .	231
Поляризация электродов . . . . .	258	Сила тяжести . . . . .	28

	Стр.		Стр.
Сила центробежная	80	Труба астрономическая	361
Сила электродвижущая	244	Труба Галллеева	362
Силомер	83	Труба органная	311
Сирена	297	Трубки Гейслера и Крукса	264
Сифон	143	Тело физическое	9
Сияния полярные	274	Тени и полутени	318
Склонение магнитной стрелки	207	<b>У а т т</b>	190, 291
Скорость движения	61	Удельная теплоемкость	163
Скорость звука	302	Удельное сопротивление	248
Скорость света	365	Удельный вес	42
Скрытая теплота парообразования	175	Удельный вес газов	46, 147, 149
Скрытая теплота плавления	168	Удельный объем	46
Сложение сил	83	Ультра-фиолетовые лучи	357
Сложение скоростей	66	Упругость	48
Смещение цветов	350	Уровень	30
Сообщающиеся сосуды	115	Ухо	313
Сопротивление удельное	248	<b>Ф а р а д е й</b>	257
Сопротивление электрическое	243	Фаренгейт	40
С о с с ю р	188	Фигуры Хладни	311
Сохранение энергии	194, 289	Физо	365
Спектральный анализ	352, 355	Флуоресценция	358
Спектроскоп	348	Фонограф	313
Спектр	348	Формула зеркала	334
Спектр магнитный	200	Формула линзы	347
Спектр электрических силовых линий	221	Фосфоресценция	358
Спнтерископ	272	Фотографический аппарат	359
Спираль Румкорфа	284	Фотография	257
Средняя скорость	62	Фотометр	322
Стереоскоп	364	Ф р а н к л и н	222
Столбик термоэлектрический	291	Фраунгоферовы линии	352
Стоячие волны	307	Ф р а у н г о ф е р	352
Струны	310	Химические действия света	357
Сферическая абберация	336	Химические действия тока	240, 254
Сферические зеркала	327	Химические обозначения	236
Сферондальное состояние	173	Х л а д н и	311
Сцепление молекулярное	53	Хронометр	36
<b>Т а л и</b>	104	Хрупкость	49
Таяние льда под давлением	171	<b>Ц в е т а</b>	350
Твердость вещества	47	Ц е л ь з и й	38
Телеграф электромагнитный	278	Центробежная машина	80
Телефон	285	Центр тяжести	87
Тембр звука	300	<b>Ш к а л а т в е р д о с т и</b>	47
Температура	37	Шкалы термометров	39
Тепловое расширение	37, 41, 152	<b>Э д и с о н</b>	313
Теплоемкость	163	Электрическая емкость	222
Теплопроводность	156, 158	Электрическая индукция	215
Термометр	37	Электрическая машина с трением	220
Термоэлектричество	290	Электрический ветер	220
Ток электрический	229	Электрический звонок	277
Тонна	31	Электрический потенциал	222
Т о р и ч е л л и	137	Электрический ток	229
Точка росы	185	Электрический ток в газах	260
Точки кипения	173	Электродвижущая сила	230
Точки плавления	167		
Точность измерения	22		
Траектория движения	65		

	<i>Стр.</i>		<i>Стр.</i>
Электролиз . . . . .	253	Элемент Вольты . . . . .	233
Электромагнит . . . . .	276	Элемент термоэлектрический . . . . .	291
Электромотор . . . . .	288	Элементы гальванические . . . . .	233
Электроны . . . . .	266	Элементы химические . . . . .	236
Электропроводность . . . . .	244	Энергия . . . . .	193, 289
Электроскоп . . . . .	213	Э р ш т е д . . . . .	241
Электроскоп с конденсатором . . . . .	228	Эхо . . . . .	306
Электростатика . . . . .	211	Я б л о ч к о в . . . . .	263
Электрофорная машина . . . . .	220	Явления физические и химиче- ские . . . . .	9
Электрофор . . . . .	217		
Электрохимический эквива- лент . . . . .	258		

## ОГЛАВЛЕНИЕ.

	СТР.
Предисловие . . . . .	5 — 6
Глава I. Предварительные сведения . . . . .	9 — 56
1. Физическое тело. Вещество. — 2. Явления. Явления физические и химические. — 3. Состояние вещества. — 4. Строение вещества. Кристаллы. — 5. Непроницаемость вещества. — 6. Измерения. — 7. Единицы длины. — 8. Измерение длин. — 9. Точность измерений. — 10. Единицы площади. Квадратные меры. — 11. Измерение площадей. — 12. Единицы объема. — 13. Измерение объемов. — 14. Сила тяжести. — 15. Направление силы тяжести. — 16. Единицы веса. — 17. Метрическая система. — 18. Веса. — 19. Разновески. — 20. Измерение времени. — 21. Температура. — 22. Расширение тел при нагревании. — 23. Ртутный термометр. — 24. Особенность теплового расширения воды. — 25. Замечания относительно теплового расширения тел. — 26. Удельный вес. — 27. Соотношение между объемом, весом и удельным весом. — 28. Удельный объем. — 29. Удельный вес газов. — 30. Твердость вещества. — 31. Упругость твердых тел. — 32. Упругость жидкостей. — 33. Упругость газов. — 34. Молекулярная гипотеза. — 35. Размеры молекул. — 36. Пористость вещества. — 37. Молекулярное сцепление. — 38. Движение молекул. — 39. Замечание относительно молекулярной гипотезы.	
Архимед . . . . .	57 — 58
Глава II. Начальные сведения из механики . . . . .	59 — 107
40. Предмет механики. — 41. Движение. — 42. Скорость равномерного движения. — 43. Относительное движение. — 44. Примеры сложных движений. — 45. Изображение скоростей в виде отрезков (векторов). — 46. Сложение скоростей. — 47. Понятие о силах. Закон инерции. — 48. Понятие о массе. Различие между массой и весом. — 49. Действие сил на движущиеся тела. — 50. Действие и противодействие. — 51. Падение тел. Влияние сопротивления воздуха. — 52. Законы свободного падения тел. — 53. Движение тела, брошенного горизонтально или наклонно. — 54. Движение по кругу. — 55. Равновесие сил. — 56. Измерение сил. — 57. Изображение сил в виде отрезков (векторов). — 58. Правило параллелограмма сил. — 59. Разложение сил. — 60. Равнодействующая параллельных сил. — 61. Случай, когда две силы не имеют равнодействующей. Пара сил. — 62. Центр	

тяжести. — 63. Равновесие тела, укрепленного в одной точке. Определение положения центра тяжести опытом. — 64. Три вида равновесия. — 65. Равновесие тел, опирающихся на горизонтальную плоскость. — 66. Рычаги. — 67. Рычаг как простая машина. — 68. Понятие о механической работе. — 69. Единицы работы. — 70. Работа, совершаемая при помощи машин. — 71. Простые машины. — 72. Вредные сопротивления. Коэффициент полезного действия. — 73. Понятие о мощности машин.

Г а л и л е й . . . . . 108 — 109

ГЛАВА III. Свойства жидкостей . . . . . 110 — 133

74. Предварительные замечания. Давление. — 75. Равновесие жидкости в сосуде. — 76. Давление тяжелой жидкости на дно, на стенки сосуда и внутри жидкости. — 77. Закон Паскаля. — 78. Сообщающиеся сосуды. — 79. Гидравлический пресс. — 80. Закон Паскаля для газов. — 81. Давление жидкости на дно. Гидростатический парадокс. — 82. Равновесие различных жидкостей в сообщающихся сосудах. — 83. Движение, производимое давлением жидкости. — 84. Давление на тело, погруженное в жидкость. Закон Архимеда. — 85. Определение удельных весов на основании закона Архимеда. — 86. Равновесие тела внутри жидкости. — 87. Закон Архимеда для газов. — 88. Равновесие тел, плавающих на поверхности жидкости. — 89. Явления частичного сцепления в жидкостях. — 90. Прилипание жидкостей к твердым телам. — 91. Поверхностное натяжение. — 92. Явления, объясняемые поверхностным натяжением жидкости. — 93. Свойства жидких пленок. — 94. Капиллярные трубки.

ГЛАВА IV. Свойства газов. . . . . 134 — 151

95. Давление атмосферы. — 96. Опыт Торичелли. Барометр — 97. Водяной барометр. Высота атмосферного слоя. — 98. Барометры и их применения. — 99. Воздушный насос. — 100. опыты с воздушным насосом. — 101. Расчет величины давления воздуха. — 102. Сифон. — 103. Сжимаемость газов. Закон Бойля-Мариотта. — 104. Удельные веса газов. — 105. Некоторые приборы, основанные на свойствах газов.

ГЛАВА V. Теплота . . . . . 152 — 190

106. Тепловое расширение твердых тел. — 107. Тепловое расширение жидкостей. — 108. Тепловое расширение газов. — 109. Распространение теплоты. — 110. Теплопроводность различных веществ. — 111. Предохранительная лампочка Дэви. — 112. Замечание о распространении теплоты конвекцией. — 113. Замечание о нагревании лучами. — 114. Понятие о количестве теплоты. Калория. — 115. Смешение воды различной температуры. Калориметр. — 116. Теплоемкость тела. Удельная теплоемкость вещества. — 117. Определение удельных теплоемкостей различных веществ «способом смешения». — 118. Замечание относительно удельной теплоемкости газов. — 119. Плавление и отвердевание. Точка плавления. — 120. Скрытая теплота плавления. — 121. Определение скрытой теплоты таяния льда. — 122. Явление переохлаждения. — 123. Замечание относительно растворов. — 124. Изменение объема при плавлении. — 125. Таяние льда под давлением. — 126. Испарение. — 127. Кипение. — 128. Замечания относительно явления кипения. — 129. Кипение при увеличенном давлении. Папинов котел. — 130. Кипение под

СТР.

уменьшенным давлением. — 131. Понятие о критической температуре. — 132. Скрытая теплота парообразования. — 133. Понижение температуры при испарении. — 134. Пары, насыщающие пространство. — 135. Изменение давления пара в зависимости от изменения объема. — 136. Зависимость давления насыщающего пара от температуры. — 137. Закон Дальтона для газов и для насыщающих паров. — 138. Насыщающие пары растворов. — 139. Влажность воздуха. Точка росы. Влажность абсолютная и влажность относительная. — 140. Измерение абсолютной и относительной влажности. Гигрометры и гигроскопы. — 141. Понятие о паровой машине.

М. В. Ломоносов . . . . . 191 — 192

Добавление к главе V. Теплота, как форма энергии. . . . 193 — 196

142. Теплота не есть какое-нибудь вещество. — 143. Понятие об энергии. — 144. Превращения энергии. — 145. Понятие о сохранении энергии. — 146. Теплота, как молекулярное движение. — 147. Абсолютный нуль температуры.

ГЛАВА VI. Магнетизм . . . . . 197 — 210

148. Естественные и искусственные магниты. — 149. Магнитные полюсы и их взаимодействия. — 150. Магнитная индукция (влияние). — 151. Намагничивание. — 152. Магнитное поле. Линия магнитных сил. Магнитные спектры. — 153. Деление магнита на части. Гипотеза молекулярного магнетизма. — 154. Явления, подтверждающие гипотезу молекулярного магнетизма. — 155. Магнитный экран. — 156. Магнетизм земли. Исторические замечания. — 157. Склонение и наклонение магнитной стрелки. — 158. Намагничивание действием земного магнетизма. — 159. Изменения и аномалии земного магнетизма. — 160. Дополнительные замечания к главе о магнетизме.

ГЛАВА VII. Электричество . . . . . 211 — 293

I. Электростатика. — 161. Что называется «электричеством». — 162. Электрическое притяжение и отталкивание. Два рода электричества. — 163. Электроскоп с листочками. — 164. Отведение заряда («в землю»). Проводники и непроводники электричества. — 165. Положительное и отрицательное электричество. — 166. Явление электрической индукции (влияния). — 167. Электрофор. — 168. Распределение электричества на поверхности проводника. — 169. Электрические машины. — 170. Некоторые электростатические явления. — 171. Количество электричества, электрический потенциал и электрическая емкость. 172. Конденсатор. — 173. Лейденская банка.

II. Электрический ток. — 174. Электрический ток. — 175. Электрические токи различных видов. — 176. Историческая заметка об открытии явлений «галванизма». — 177. Гальванический элемент Вольты. Вольтов столб. Гальваническая батарея. — 178. Поляризация элемента Вольты. — 179. Наиболее употребительные элементы. — 180. Цепь электрического тока. — 181. Действия электрического тока. — 182. Явления Эрштеда. Правило Ампера. — 183. Гальваноскопы и гальванометры. — 184. Градуирование гальванометра. — 185. Зависимость силы тока от сопротивления цепи и от электродвижущей силы. — 186. Электродвижущая сила и внутреннее сопротивление элементов. — 187. Закон Ома. — 188. Практические единицы электри-



ческих величин. — 189. Амперметры и вольтметры. Реостаты. — 190. Тепловые действия тока. Закон Джауля-Ленца. — 191. Технические применения нагревания током. — 192. Электрический ток в жидкостях. Явление электролиза. — 193. Примеры электролиза. — 194. Законы Фарадея. — 195. Электрохимический эквивалент. — 196. Поляризация электродов. — 197. Технические применения электролиза. — 198. Электрический ток в газах. — 199. Вольтова дуга. — 200. Технические применения вольтовой дуги. — 201. Электрический разряд в разреженных газах. Трубки Гейслера и Крукса. — 202. Катодные лучи. Электроны. — 203. Лучи положительного электричества. Закадодные и анодные лучи. — 204. Ионизация газов. — 205. Икс-лучи Рентгена. — 206. Радиоактивные вещества. — 207. Электрические разряды в атмосфере. Молния.

III. Электромагнетизм. — 208. Магнитное поле вокруг тока. — 209. Электромагнит. — 210. Электрический звонок. — 211. Электромагнитный телеграф Морзе. — 212. Электромагнитная индукция токов. Правило Ленца. — 213. Индуктивный ток при замыкании и размыкании первичной цепи. — 214. Спираль Румкорфа. — 215. Телефон и микрофон. — 216. Понятие о динамомашине и моторе.

IV. Электрическая энергия. — 217. Закон сохранения энергии. — 218. Энергия электрических зарядов. — 219. Энергия гальванического элемента. — 220. Превращение энергии тока в теплоту. — 221. Термоэлектричество. — 222. Электромагнитные явления. — 223. Рассеяние энергии. — 224. «Вечный двигатель» невозможен.

## ГЛАВА VIII. Звук (акустика) . . . . . 294 — 314

225. Различные звуки. — 226. Камертон. — 227. Колебания звучащих тел. — 228. Колебательное движение. — 229. Сила и высота звука. — 230. Измерение числа колебаний. Сирена. — 231. Музыкальные интервалы. — 232. Числа колебаний различных звуков. — 233. Тембр звука. — 234. Распространение колебаний. Волны. — 235. Скорость распространения звука. — 236. Длина звуковых волн в воздухе. — 237. Отражение звука. Эхо. — 238. Ослабление распространяющегося звука. — 239. Стоячие волны. — 240. Определение скорости звука в твердых телах по способу Кундта. — 241. Явление резонанса. Резонаторы. — 242. Колебания струн. — 243. Колебания пластинок. Фигуры Хладни. — 244. Колебания воздуха в трубах. — 245. Человеческий голос. — 246. Ухо. — 247. Фонограф.

## Н Ъ Ю Т О Н . . . . . 315 — 316

## ГЛАВА IX. Свет (оптика) . . . . . 317 — 367

248. Лучи света. Прямолинейность лучей. — 249. Тени и полутени. — 250. Изображения, получающиеся при помощи маленького отверстия. — 251. Изменение яркости освещения с расстоянием. — 252. Фотометры. — 253. Отражение света от плоского зеркала. — 254. Изображения в плоском зеркале. — 255. Отражение в нескольких зеркалах. — 256. Рассеяние света. — 257. Сферические зеркала. — 258. Главный фокус зеркала. — 259. Свойство лучей, проходящих чрез центр зеркала. — 260. Действительные и мнимые изображения. — 261. Геометрическое построение изображений. — 262. Формула зеркала. — 263. Сферическая аберрация. — 264. Отражения в различных кривых зеркалах. — 265. Преломление света. — 266. Преломление

СТР.

света в пластинке и в призме. — 267. Полное внутреннее отражение. — 268. Оптические стекла или линзы. — 269. Главные фокусы линз. — 270. Изображения, получаемые при помощи линз. — 271. Построение изображений, получаемых от линз. — 272. Формула линзы. — 273. Разложение света на цвета. Спектр. — 274. Смещение цветов радуги (спектра) дает белъ и цвет. — 275. Цвета и окраски. Дополнительные цвета. — 276. Спектр вольтовой дуги и спектр солнца. Фраунгоферовы линии. — 277. Три типа спектров. Спектральный анализ. — 278. Несветящиеся лучи. — 279. Химические действия света. Фотография. — 280. Флуоресценция и фосфоресценция. — 281. Оптические приборы. — 282. Глаз. — 283. Близорукость и дальновзорукость. Очки. — 284. Продолжительность зрительного впечатления. Кинематограф. — 285. Зрение двумя глазами. Стереоскоп. — 286. Скорость распространения света.

Глава X. Графика физических законов и явлений . . . . . 368 — 391

287. Построение графика, выражающего физическое явление. — 288. Примеры графиков различных явлений. — 289. Графики движений. — 290. Графики, относящиеся к гидростатике. — 291. Графики, относящиеся к учению о газах. — 292. Графики, относящиеся к учению о тепловых явлениях. — 293. Графики, относящиеся к учению о магнитных явлениях. — 294. Графики, относящиеся к учению об электрических явлениях. — 295. Графики, относящиеся к учению о звуке. — 296. Графики, относящиеся к учению о свете.

Послесловие. Кое-что из физики среди живой природы . 392 — 405

Алфавитный указатель . . . . . 406 — 410

**РАБОЧАЯ ШКОЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА  
ПО ФИЗИКЕ**

Под общей редакцией А. Бачинского

- Бачинский, А.** — Физико-технические справочные таблицы. Стр. 127.  
Ц. 1 р.
- Горячкин, Е. Н.** — Как рассчитать и сделать электрическую проводку. Допущ. ГУС'ом для школ II ступени. Стр. 104. Ц. 70 к.
- Ирисов, А. С.** — Звук и музыка. Допущ. ГУС'ом. Стр. 140. Ц. 80 к.
- Каменщиков, Т. Е.** — Паровые машины, паровые турбины, двигатели внутреннего сгорания. Стр. 88. Ц. 77 к.

**РАБОЧАЯ ШКОЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА  
ПО ХИМИИ**

Под общей редакцией П. П. Лебедева

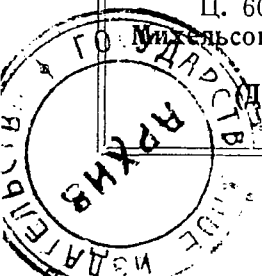
- Буткевич, А. А., и Е. Н. Горячкин.** — Простейшие работы с металлом. Стр. 55. Ц. 25 к.
- Дукельский, М. П.** — Естественное топливо. Дрова, торф, уголь, нефть. Допущ. ГУС'ом. Стр. 128. Ц. 55 к.
- Изгарышев, Н. А.** — Гальванопластика и гальваностегия. Стр. 79. Ц. 30 к.
- Лукьянов, П. М., проф.** — Серная кислота и сода. Важнейшие химические фабrikаты основной химической промышленности. Для школ II ступени. Стр. 100. Ц. 45 к.
- Малахов, Б. П.** — Вода, ее исследование и очистка. Допущ. ГУС'ом для школ II ступени. Стр. 92. Ц. 40 к.

**РАБОЧАЯ ШКОЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА  
ПО МЕТЕОРОЛОГИИ**

Под общей редакцией С. Н. Жаркова

- Гэмфриз, В. Дж.** — Народные приметы и парадоксы. Перев. с англ. М. Н. Жаркова. Стр. 78. Ц. 45 к.
- Жарков, С., и др.** — Ветер и его практические применения. Стр. 88. Ц. 60 к.
- Михельсон.** — Предсказание погоды по местным признакам.

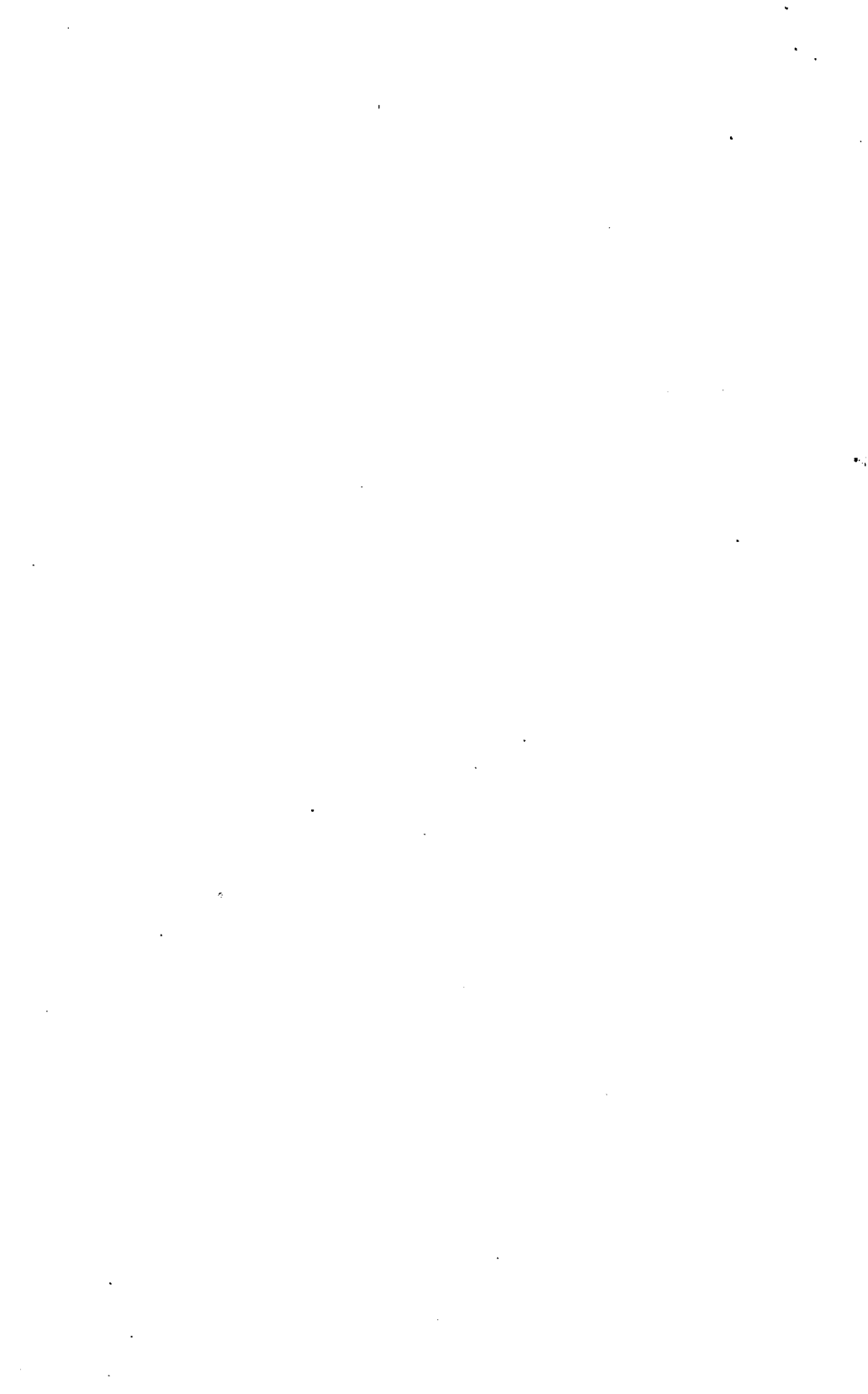
(Другие выпуски библиотек готов. к печати.)

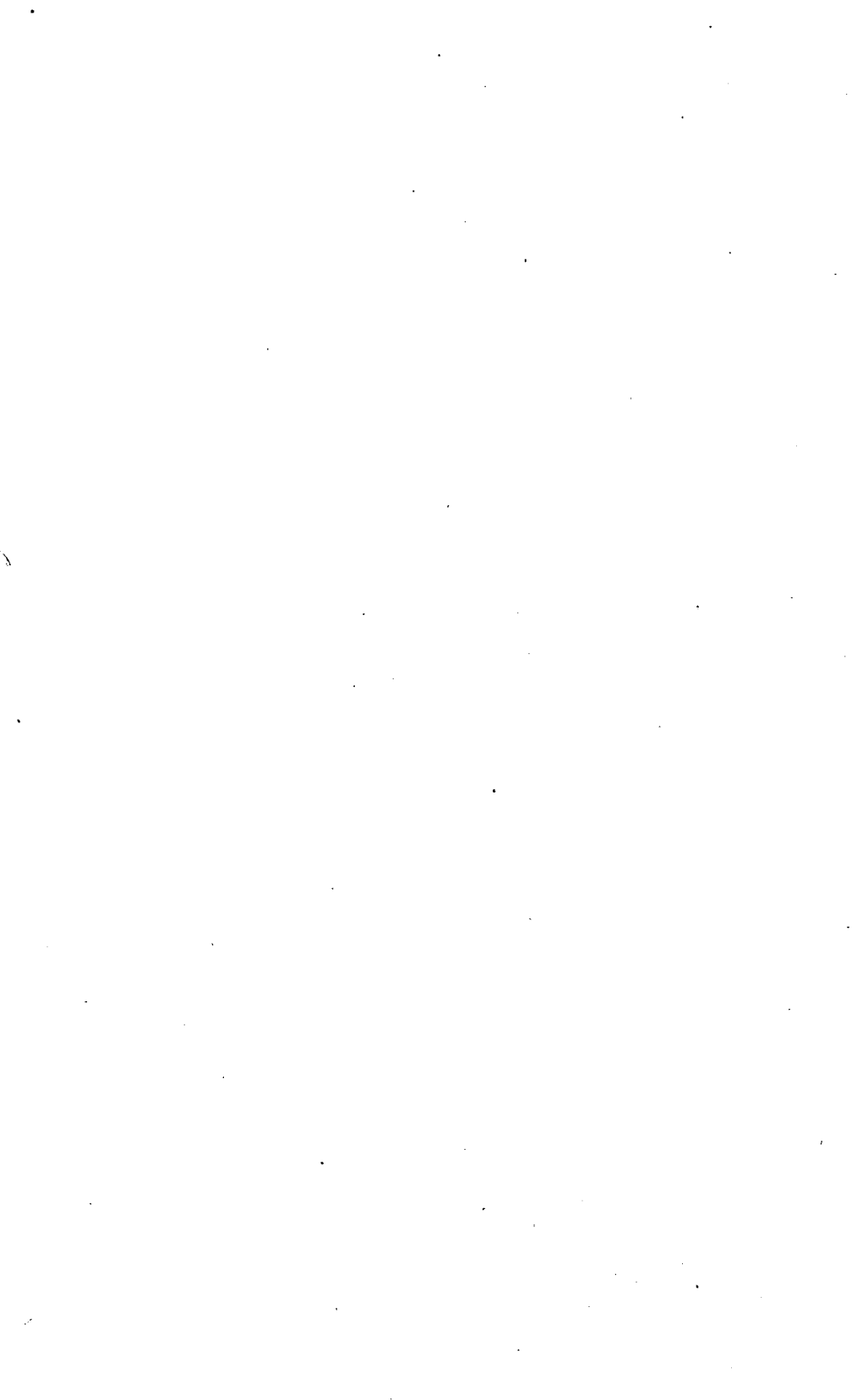


1

2

3







XK

41325