

П.А.РЫМКЕВИЧ
А.П.РЫМКЕВИЧ

ФИЗИКА

П. А. РЫМКЕВИЧ
и А. П. РЫМКЕВИЧ

ФИЗИКА

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ
ДЛЯ КЛАССОВ
С УСКОРЕННЫМ
СРОКОМ ОБУЧЕНИЯ

КУРС ВОСЬМИЛЕТНЕЙ ШКОЛЫ

Издание 2-е

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПРОСВЕЩЕНИЕ»
Москва 1966

Пособие содержит материал первой ступени курса физики.

Отличительной особенностью пособия является сжатость изложения (14 авт. листов вместо 32 листов учебников детской школы), которая достигается в основном за счет использования жизненного опыта учащихся.

Пособие содержит достаточное количество политехнического материала. Каждое физическое явление по возможности иллюстрируется его применениями в технике и быту.

Книга содержит большое количество вопросов и задач для самостоятельного решения учащимися. При этом все упражнения, задания, лабораторные работы выделяются мелким шрифтом, даются в органической связи с теоретическим материалом и вовлекают учащихся в творческую работу при изучении физики.

Авторы стремились всемерно содействовать развитию диалектико-материалистического мировоззрения и чувства советского патриотизма у учащихся.

Введение и главы 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 20 и 21 написаны проф. П. А. Рымкевичем, главы 1, 2, 3, 5, 10, 14, 15, 16, 17, 18 и 19 доцентом А. П. Рымкевичем.

КАК РАБОТАТЬ С УЧЕБНЫМ ПОСОБИЕМ

Чтобы осмысленно изучать физику и понимать учебный материал, надо работать над ним систематически. Большинство вопросов физики тесно связаны друг с другом, поэтому нельзя усвоить новое, предварительно не изучив старого.

Старайтесь не пропускать ни одного урока, а в случае вынужденного пропуска узнайте, что было пройдено в ваше отсутствие, и с помощью книги наверстайте упущенное.

Приступая к работе с учебным пособием, прежде всего возобновите в памяти объяснения учителя, затем бегло посмотрите соответствующие параграфы, чтобы ознакомиться в общих чертах с их содержанием, и лишь после этого перейдите к обстоятельной проработке.

Тщательно проверьте записи, сделанные вами на уроке, и, пользуясь книгой, внесите соответствующие уточнения и добавления, если это требуется.

Особенное внимание обратите на задачи, так как умение их решать в значительной степени характеризует усвоение учебного материала.

В первую очередь разберитесь в решениях задач, сделанных на уроке, а также в решениях задач, которые приведены в качестве примеров в пособии. Затем приступайте к решению заданных на дом задач.

Помните, что каждую именованную величину обязательно надо сопровождать соответствующим наименованием. Все вычисления разумно округляйте, ограничиваясь двумя-тремя значащими цифрами.

Если вы занимаетесь самостоятельно, пользуясь только этим пособием, и не посещаете систематически школу, то заведите себе специальную тетрадь, в которую записывайте основные положения,

формулы и схематические изображения нужных рисунков из книги.

Не забывайте, что, написав формулу, необходимо отметить значение каждой буквы, стоящей в ней; без этого формула будет лишена смысла.

Задачи, предложенные для самостоятельного решения, необходимо решать по мере чтения, а не после изучения всей главы или даже параграфа, так как последующий материал часто бывает основан на решенной задаче. На все поставленные в тексте вопросы также отвечайте сразу, выписывая краткие ответы в тетрадь.

Окончив чтение нескольких параграфов пособия, охватывающих изложение какого-либо определенного вопроса, закройте книгу и сначала по сделанным вами конспективным записям, а потом без них постарайтесь восстановить в памяти изученный материал. Если что-либо вызовет у вас затруднение, вновь возвратитесь к соответствующему месту пособия.

Обязательно запишите все вопросы, оставшиеся не до конца понятными или вызывающие сомнение, и выясните их у учителя на ближайшей консультации.

ВВЕДЕНИЕ

Слово физика произошло от греческого слова «фюзис», что значит природа. В древности под физикой подразумевалась совокупность всех наук о природе, т. е. естествознание в самом широком понимании этого слова. Когда в дальнейшем сведений о природе стало накапливаться все больше и больше, отдельные части физики стали выделяться в самостоятельные науки. Так, например, учение о животном мире стало предметом зоологии, учение о растениях — ботаники, движение небесных светил и их природу стала изучать астрономия и т. д.

Какие же вопросы остались за физикой? Прежде чем ответить на это, введем несколько понятий.

§ 1. Некоторые сведения о телах. Все окружающие нас предметы носят название физических тел или просто тел.

То, из чего состоят тела, именуется веществом. Железо, медь, алюминий, пластмасса, вода — все это различные вещества.

Вещества в природе встречаются в трех состояниях — твердом, жидком и газообразном.

Твердые тела имеют определенную форму и постоянный объем, которые не изменяются, если не менять температуры и давления.

Жидкости имеют определенный объем, но не сохраняют своей формы. Молоко, перелитое из бутылки в кастрюлю, не изменяет своего объема, если не менять его температуры, но примет форму того сосуда, в котором оно находится.

Газы не имеют ни определенного объема, ни формы. Подобно жидкости, газ принимает форму соответствующего сосуда и при этом занимает весь предоставленный ему объем. Выпущенный из баллона сжатый газ распространится по всему помещению.

Вы хорошо знаете, что одно и то же вещество может находиться в различных состояниях.

Вода — жидкость, но при достаточном охлаждении она превращается в лед. Вспомните громадные пространства, занятые льдом в Арктике и Антарктике. Вода также встречается в газообразном состоянии. Водяные пары всегда имеются в атмосфере, из водяных паров образуются облака.



М. В. Ломоносов
(1711—1765)

Железо — твердое вещество, но его можно расплавить, а из жидкого железа можно отлить изделия различной формы. При достаточном нагревании жидкого железа оно закипит и будет обращаться в пар.

Приведите сами примеры веществ, которые встречаются в различных состояниях, и укажите на применения их на практике в том или ином состоянии.

Все изменения, которые происходят в природе, носят название явлений.

По эскалатору метро поднимается человек. Это явление движения. После теплого дня ночью выпадает роса. Происходит явление конденсации водяных паров. В классе услышали звонок. Это явление звука. Горят в печке дрова. Это явление горения. Оно изучается в химии. Какие же явления рассмат-

риваются в физике?

§ 2. Предмет физики. Физика изучает следующие явления:

Механические явления. Перемещается по полю трактор, несется по воде на подводных крыльях судно, приземляется прыгнувший с самолета парашютист, летит космический корабль. Какие силы действуют на эти тела, как влияют они на характер движения? Эти и другие подобные вопросы изучает отдел физики «Механика».

Тепловые явления. Поднимается уровень бензина в цистерне при повышении температуры. Плавится металл в печи на заводе, кипит вода в чайнике на газовой плите, работает на торфе тепловая электростанция. Явления такого рода изучаются в разделе «Теплота».

Звуковые явления. Громко звучит фабричный гудок. Играет оркестр. При помощи эхолота промеряется глубина. Все эти и многие другие вопросы подобного характера рассматриваются в отделе физики «Акустика».

Электрические явления. Электрический ток раскаляет спираль электроплитки, заставляет светить электрические лампы. При помощи тока получают чистый алюминий, производят никелирование и хромирование изделий. В стране работают сотни тысяч различных генераторов, электродвигателей, трансформаторов. Вот некоторые вопросы из курса «Электричество».

Световые явления. Лампа дневного света освещает рабочее место. Биолог рассматривает под микроскопом препарат, астроном наблюдает в телескоп небесные светила. Врач просвечивает рентгеновскими лучами легкие больного. Круг таких вопросов изучает «Оптика».

Строение атома. Как в атомном реакторе получают атомную энергию? Как приводится в движение ледокол «Ленин»? Как применяют на практике для различных целей «меченые атомы»? Изучению многих вопросов из этой области посвящен отдел физики «Строение атома».

§ 3. Задачи физики. Наблюдения и опыты. Перед физикой стоят следующие задачи: *1. Исследовать явление природы и найти законы, которым оно подчиняется. 2. Объяснить явление, т. е. ответить на вопрос, почему это явление происходит именно так, а не иначе. 3. Применить полученные знания для дальнейшего активного воздействия на природу.*

Практическое осуществление этой последней задачи, конечно, стоит перед техникой, но физика должна указать пути возможного использования явлений для целей развития народного хозяйства.

В дальнейшем вы узнаете более подробно о двустороннем характере связи физики с техникой. Всеми техническими науками используются достижения физики. В свою очередь техника выдвигает перед физикой те вопросы, в изучении которых она нуждается, и тем стимулирует ее развитие. Техника снабжает физику необходимыми для нее приборами и установками.

Физические явления можно изучать двумя путями: посредством **наблюдения** и при помощи **опытов**.

Наблюдение — это изучение явления в естественной обстановке, т. е. в таком виде, как оно происходит в природе. **Опыт, или эксперимент**, — это изучение явления в искусственной, лабораторной обстановке. Ученый, создавая необходимые условия, как бы заставляет природу ответить на поставленный перед нею вопрос.

Опыт экономит время, так как ученому не приходится ждать, когда это явление произойдет в природе, и позволяет создать его в лаборатории в нужный момент. В лаборатории можно использовать более сложные приборы, которые не всегда возможно применить при наблюдении явления в природных условиях.



А. С. Прпов
(1859—1906)



А. Н. Крылов
(1863—1945)

Иногда опыт позволяет расширить область изучаемого явления. Так, в земных условиях температура колеблется в очень небольших пределах, а в лаборатории можно искусственно создать очень низкие и чрезвычайно высокие температуры. Экспериментируя, можно осуществить сильные разрежения и громадные давления, создать большие освещенности, использовать мощные электромагниты и т. д.

§ 4. Развитие физики в нашей стране. Русские ученые внесли громадный вклад в мировую науку. Их труды, как правило, отличались большой глубиной, сами они самоотверженно работали, часто в очень тяжелых условиях, столь характерных для царского времени.

Отличительной чертой русских ученых являлась их безграничная любовь к родине, желание отдать все силы на ее благо. Ярким примером этого может служить деятельность гениального М. В. Ломоносова (1711—1765), выдающегося физика, химика, инженера, историка, географа, преобразователя русского языка. Он энергично боролся с иноземным засилием в Академии наук, которое тормозило развитие русской науки.

Отметим первого творца электрического телеграфа и многих других изобретений П. Л. Шиллинга, прославленного героя Отечественной войны 1812 г., и П. Н. Лебедева, измерившего в 1900 г. давление света, которому, как и многим другим русским ученым, предлагали отличные условия за границей и который не пожелал оставить своей родины, несмотря на большие трудности работы в царское время.

Электрическая дуга была открыта в 1802 г. русским ученым В. В. Петровым, а в семидесятых годах прошлого столетия ее впервые применил в качестве источника света П. Н. Яблочков. Лампочки накаливания как с угольной, так и с металлической нитью создал А. Н. Лодыгин. Недаром долгое время электрическое освещение именовалось за границей «русским светом».

Электрическая сварка впервые была осуществлена также нашим соотечественником Н. Н. Бенардосом в 1882 г. и усовершенствована спустя 6 лет Н. Г. Славяновым.

Русский ученый Ф. А. Пироцкий начиная с 1874 г. произвел ряд опытов по передаче электрической энергии на расстояние и теоретически обосновал выгодность такой передачи; в 1880 г. Д. А. Лачинов глубоко разработал этот вопрос. На практике первая линия электропередачи протяженностью в 175 км была осуществлена талантливым русским инженером-новатором М. О. Доливо-Добровольским, который впервые в мире применил трехфазный ток.

Первые трансформаторы были созданы П. Н. Яблочковым и И. Ф. Усагиным. Вот далеко не полный перечень работ наших ученых в области использования электрической энергии.

Из других областей мы укажем только на замечательные труды Н. Е. Жуковского (1847—1921), названного по праву отцом русской авиации, заложившего основы современной гидро- и аэродинамики.

А работы А. Н. Крылова (1863—1945) — гениального русского ученого, сыгравшего выдающуюся роль в деле развития кораблестроения? Он создал эту науку.

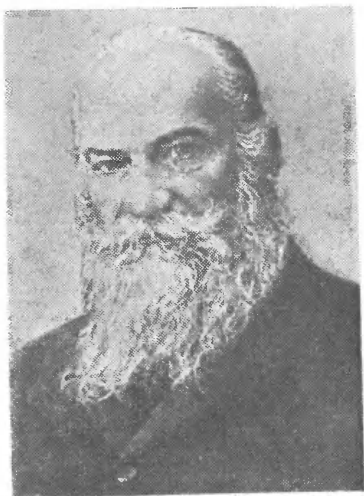
Нельзя не упомянуть также и К. Э. Циолковского (1857—1935), который впервые поставил и изучил вопрос о космических полетах.

Советская физика наследовала и развивала все лучшие традиции дореволюционной русской физики. Успехи ее за последние годы колоссальны.

Имена Д. Д. Иваненко, С. И. Вавилова, Д. В. Скобельцына, И. В. Курчатова, П. А. Черенкова, В. И. Векслера, И. Е. Тамма и многих других получили мировую известность.

Советская физика является самой передовой наукой, имеющей целью служение народу и укрепление дела мира. Ни в одной другой стране нет такой колоссальной армии ученых, дружно работающих на благо Родины и всего человечества.

§ 5. Понятие об измерении. Прежде чем перейти к изучению механики, рассмотрим вопрос о простейших измерениях, с которыми нам постоянно придется иметь дело в дальнейшем.



Н. Е. Жуковский
(1847—1921)



К. Э. Циолковский
(1857—1935)

Физической величиной называется все то, что может меняться количественно, т. е. быть в одних случаях больше, а в других меньше, и что при этом можно измерить.

Приведем пример. Продолжительность промежутка времени может быть больше или меньше. Первый полет в космос, осуществленный Ю. А. Гагариным, длился 108 минут, полет А. Г. Николаева продолжался около 100 часов. Урок в школе длится в два раза меньше, чем лекция в вузе. Длительность различных промежутков можно измерить. Значит, время — физическая величина. Основные единицы времени: секунда — *сек*, минута — *мин*, час — *ч*.

Длина, площадь, объем, вес, скорость движения — вот еще

несколько примеров физических величин, с которыми мы встретимся в самом начале изучения физики.

А что значит «измерить физическую величину»? Это значит сравнить ее с другой, однородной ей величиной, условно принятой за единицу. Чтобы измерить длину какого-либо предмета, надо сравнить ее с единицами длины — сантиметром или метром, т. е. узнать, какое число этих единиц уложится в данной длине.

Каждый из вас отлично понимает, какое громадное значение на практике имеют измерения. При изготовлении, например, какой-либо детали надо строго соблюдать заданные размеры. Имеются определенные допуски, выше которых не должно быть отклонения от заданных размеров.

§ 6. Метрическая система единиц. В царской России для измерения длины пользовались верстами, саженьями, аршинами, футами, вершками и дюймами; для измерения веса — пудами, фунтами, лотами и золотниками.

Как неудобно было раздроблять или превращать различные меры, учитывая следующие соотношения между ними: 1 верста = 500 саженьям; 1 сажень = 3 аршинам = 7 футам; 1 аршин = 16 вершкам; 1 фут = 12 дюймам; 1 пуд = 40 фунтам; 1 фунт = 32 лотам = 96 золотникам.

Вскоре после Великой Октябрьской революции у нас была введена метрическая система мер, разработанная еще в конце XVIII в. во Франции и получившая свое название от единицы длины метра. Важным преимуществом этой системы является

десятичное соотношение между единицами всех применяемых в ней мер. Добавлением соответствующих приставок к основным единицам достигается получение более крупных или мелких единиц.

Мега (М)	миллион	Деци (д)	одна десятая
Кило (к)	тысяча	Сант (с)	одна сотая
Гекто (г)	сто	Милли (м)	одна тысячная
Дека (да)	десять	Микро (мк)	одна миллионная

В настоящее время в СССР, так же как и в других странах, введена система интернациональных стандартов (система СИ), в основном соответствующая метрической системе единиц.

За единицу длины принят метр — это расстояние между двумя черточками, нанесенными на эталоне из платино-иридиевого сплава, хранящемся в Международном бюро мер и весов в Севре, вблизи Парижа¹.

§ 7. Измерение длины. Точность измерения. Для измерения длин пользуются масштабной линейкой (рис. 1). На рисунках 2 и 3 показаны различные приемы ее применения. Обращаем особое внимание на использование кронциркуля при измерении диаметров цилиндра и отверстия.

Каждое производимое нами измерение всегда носит приближенный характер. Это связано как с несовершенством наших органов чувств и возможностью ошибок при измерении, так и с неточностью самих измерительных приборов.

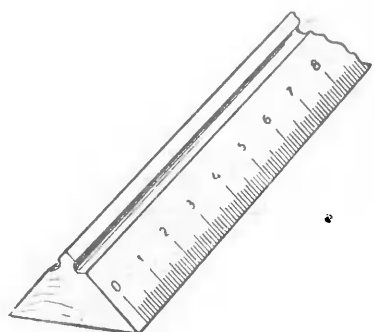
Если при определении длины карандаша в 20 см мы допустили ошибку в 1 см, то она составила $\frac{1}{20} = 0,05$, или 5%. Если та же ошибка в 1 см была допущена при измерении длины земельного участка в 100 м, то это составило только $\frac{1}{10\,000} = 0,0001$, или 0,01%.

Разность между истинным и измеренным значением какой-либо величины называется абсолютной погрешностью измерения.

Отношение абсолютной погрешности к измеряемой величине именуется относительной погрешностью.

Относительная погрешность дает более важную характеристику точности измерения, чем абсолютная. Действительно, на вопрос, большая ли погрешность была допущена при взвешивании, если она составила 1 кг, вы не сможете ответить. Если вес равнялся 2 кг, то относительная погрешность была чрезвычайно велика, составляя 50% веса. Если же взвешивалось тело в 100 кг, то погрешность составляла только 1%, а при весе в 1 т погрешность была столь ничтожна (0,1%), что в повседневном обиходе ею можно было бы пренебречь. При выполнении некоторых научных работ достигается весьма большая точность

¹ В настоящее время дается более точное определение метра, связанное со сложными оптическими явлениями.



a

Рис. 1. Масштабные линейки:
а — чертежная и б — школьная,



б

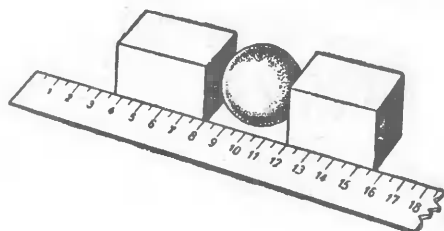
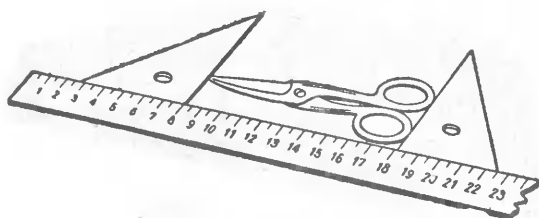
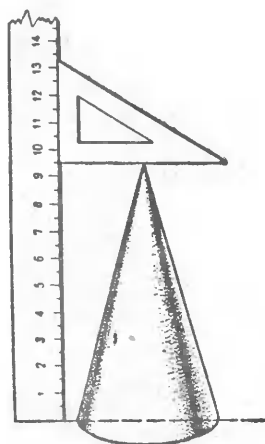


Рис. 2. Измерение высоты конуса, длины ножниц и диаметра шара.

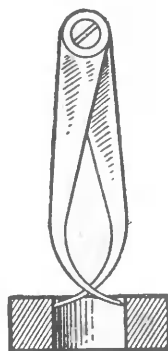
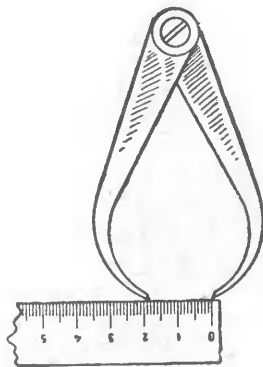
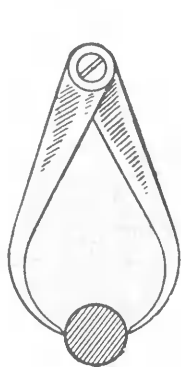


Рис. 3. Применение кронциркуля для измерения диаметра цилиндра и отверстия.

измерений, и ошибка даже в тысячные доли процента может являться недопустимой.

§ 8. Штангенциркуль. При измерении длин масштабной линейкой абсолютную ошибку полагают не превышающей величины половины самого мелкого деления линейки (цены деления). Обычно масштабная линейка имеет цену деления 1 мм, так что измерения ею производятся с точностью до 0,5 мм.

Для более точного измерения длины тела масштаб должен быть снабжен *нониусом*. Нониус — это линейечка, передвигающаяся вдоль масштаба. Деления на нониусе откладываются следующим образом: берут 9 делений масштаба и делят их на 10 частей; таким образом каждое деление нониуса составляет $\frac{9}{10}$ деления масштаба (обычно миллиметра).

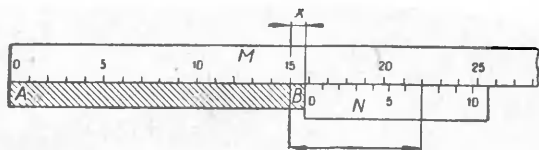


Рис. 4. Масштабная линейка с нониусом.

Пусть конец измеряемого тела AB (рис. 4) находится между 15-м и 16-м делениями масштаба M , на котором показаны в увеличенном виде миллиметровые деления. Плотнo придвинув к этому концу тела нониус N , смотрим, какое деление масштаба совпадает с делением нониуса. Пусть это будет 7-е деление нониуса. Вычислим, чему равен избыток длины тела AB сверх целого числа единиц (в нашем примере сверх 15 мм). Он равен разности между 7 делениями масштаба и 7 делениями нониуса. Каждое деление масштаба больше деления нониуса на $(1 - 0,9)$ мм, т. е. на 0,1 мм. Следовательно, 7 делений масштаба больше 7 делений нониуса на 0,7 мм, и длина измеряемого тела равна 15,7 мм.

Итак, если 9 делений масштаба (9 мм) разделены на 10 частей и эти деления отложены на нониусе, то при совпадении 2-го, 3-го, 5-го, n -го деления нониуса с делением масштабной линейки избыток длины измеряемого тела сверх целого числа единиц равен 0,2; 0,3; 0,5; $\frac{n}{10}$ миллиметров.

Иногда 19 делений масштаба делятся на 20 частей или 49 делений на 50 частей, и эти деления откладываются на нониусе. В таком случае при помощи нониуса мы будем отсчитывать двадцатые или пятидесятые доли тех делений, которые отложены на масштабе.

Нониус применяется в приборе, называемом *штангенциркулем* (рис. 5). Левая ножка прибора A соединена с масштабной линейкой, правая B — с нониусом. Когда ножки

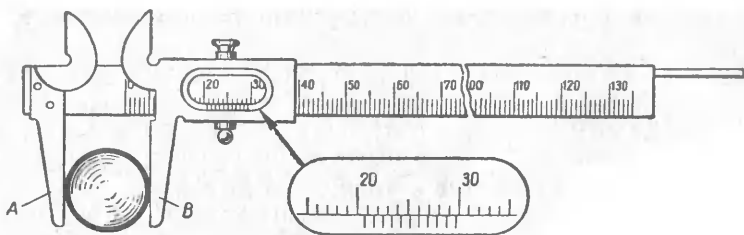


Рис. 5. Измерение диаметра цилиндра штангенциркулем.
Снизу показан в увеличенном виде нониус.

штангенциркуля плотно сдвинуты, то нулевые деления, нанесенные на обеих шкалах, совпадают. Измеряемое тело зажимают между ножками *A* и *B* прибора и смотрят, между какими делениями масштаба находится нуль нониуса, что позволяет определить целое число делений масштаба, заключающееся в длине тела. Замечая, какое деление нониуса совпадает с делением масштаба, определяют, сколько десятых, двадцатых или пятидесятых долей содержится в длине тела сверх целого числа единиц. На рисунке 5 показан цилиндр с диаметром 20,6 мм.

§ 9. Микрометр. Этот прибор (рис. 6) служит для измерения толщины различных пластинок, диаметров проволоки и т. д. Измеряемое тело зажимается между неподвижным выступом *a* скобы микрометра и ножкой *в*, являющейся окончанием микрометрического винта, имеющего пологую и тщательно изготовленную резьбу.

В том случае, когда ножка *в* соприкасается с выступом скобы *a*, срез головки винта *с* в точке, отмеченной нулем, совпадает с нулевым делением шкалы. При каждом полном обороте винта ножка *в* отодвигается от выступа *a* на 0,5 мм. Нижние деления шкалы *d* соответствуют числу целых миллиметров, а верхние деления, расположенные посередине между ними, указывают на половины миллиметров сверх их целого числа.

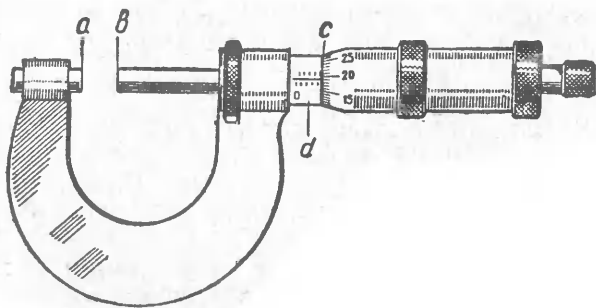


Рис. 6. Микрометр.

Судя по тому, против какого деления шкалы приходится срез головки *с*, можно судить о числе полных оборотов винта, т. е. о числе половин миллиметров, заключенных на расстоянии *ав*. Кроме того, окружность головки *с* разделена на 50 частей. Так как ее полный оборот соответствует передвижению винта на 0,5 мм, то поворот головки на одно деление изменяет расстояние *ав* на 0,01 мм. Таким образом, по шкале *d* можно судить о числе половин миллиметров, заключенных в длине *ав*, деления же на головке *с* указывают на сотые доли миллиметра сверх целого числа полумиллиметров. На рисунке 6 измеряемое тело имеет толщину 4,69 мм.

§ 10. Измерение площадей. Чтобы измерить площадь, надо узнать, сколько раз в ней уложится квадратная площадка, которая принята за единицу площади.

Если за единицу площади принять площадь квадрата со стороной в 1 м, то эта единица площади именуется квадратным метром, что сокращенно записывается 1 м².

Чтобы измерить прямоугольную площадь пола в комнате, надо величину длины комнаты помножить на ее ширину.

Площади больших земельных участков измеряются в квадратных километрах (км²).

$$1 \text{ км}^2 = 1000 \text{ м} \times 1000 \text{ м} = 1\,000\,000 \text{ м}^2.$$

Очень распространена единица площади гектар (га). Это площадь квадрата со стороной 100 м.

$$1 \text{ га} = 100 \text{ м} \times 100 \text{ м} = 10\,000 \text{ м}^2 = 0,01 \text{ км}^2.$$

Площадь квадрата со стороной 10 м именуется ар (или «сотка»).

$$1 \text{ а} = 10 \text{ м} \times 10 \text{ м} = 100 \text{ м}^2 = 0,01 \text{ га}.$$

Небольшие площади, например площадь листа бумаги, измеряются в квадратных сантиметрах (см²), еще меньшие площади — в квадратных миллиметрах (мм²).

$$1 \text{ м}^2 = 100 \text{ см} \times 100 \text{ см} = 10\,000 \text{ см}^2.$$

$$1 \text{ см}^2 = 10 \text{ мм} \times 10 \text{ мм} = 100 \text{ мм}^2.$$

§ 11. Измерение объемов. За единицу объема принимается 1 кубический метр (1 м³), т. е. объем куба, у которого ребро равно 1 м.

Кубический метр содержит 1000 кубических дециметров, так как $1 \text{ м}^3 = 10 \text{ дм} \times 10 \text{ дм} \times 10 \text{ дм} = 1000 \text{ дм}^3$.

Докажите, что кубический дециметр содержит 1000 см³, а кубический сантиметр содержит 1000 мм³.

Для измерения объема жидкостей основной единицей является литр (л). Он приблизительно равен объему 1 дм³.

Одна тысячная доля литра называется миллилитром (мл). Один миллилитр приблизительно равен 1 см^3 .

При измерении объемов жидкостей пользуются мензуркой (рис. 7).

Если нужно измерить объем твердого тела неправильной формы, то для этой цели также пользуются мензуркой, в которую предварительно наливают воду или какую-нибудь другую жидкость и отмечают ее уровень, который повышается после опускания в жидкость тела. Пусть до погружения в мензурку тела вода доходила в ней до деления, соответствующего объему 54 см^3 . После погружения тела уровень воды дошел до 76 см^3 .

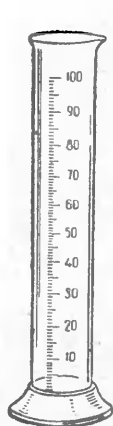


Рис. 7. Мензурка.

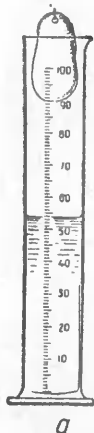


Рис. 8. Измерение объема тела при помощи мензурки.

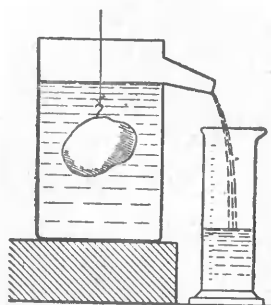
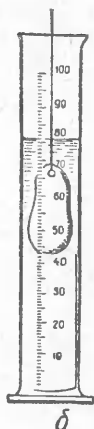


Рис. 9. Измерение объема тела с помощью отливного стакана.

Очевидно, объем тела равнялся $76 \text{ см}^3 - 54 \text{ см}^3 = 22 \text{ см}^3$. На рисунке 8 показано применение мензурки для определения объема твердого тела.

На рисунке 9 показано применение для этой же цели отливного стакана. С помощью рисунка дайте объяснение использования отливного стакана.

§ 12. Измерение масс. Мерой количества вещества, содержащегося в теле, является его масса.

Массы однородных веществ можно сравнивать, сопоставляя их объемы. Если объем монеты в 5 копеек в пять раз больше объема монеты в 1 копейку, изготовленной из того же материала, то, очевидно, и масса первой монеты в пять раз больше второй.

Для сравнения масс тел, изготовленных из различных веществ, пользуются известными всем рычажными весами (рис. 10).

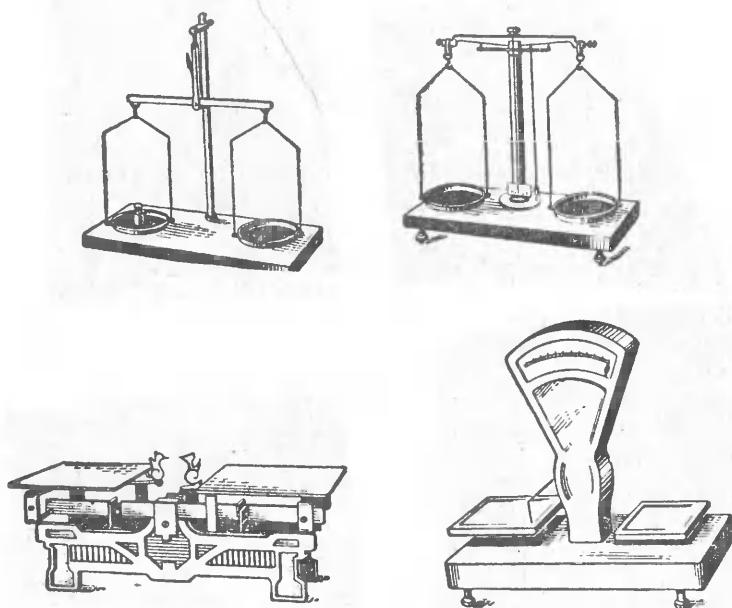


Рис. 10. Рычажные весы различного рода.

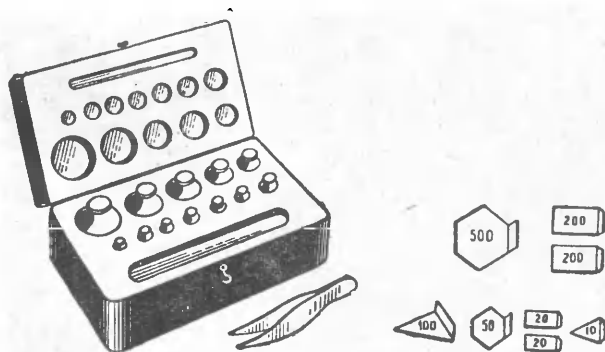


Рис. 11. Ящик с разновесками. Справа показаны разновески с массами 500 мг, 200 мг, 100 мг, 50 мг, 20 мг, 10 мг.

При их равновесии можно считать, что масса взвешиваемого тела равна массе уравнивающих его гирь.

За единицу массы принят килограмм (кг). Это масса так называемого международного прототипа, т. е. определенной гири, хранящейся в Международном бюро мер и весов в Севре.

0,001 кг называется граммом (г),
0,001 г » миллиграммом (мг).

При измерении масс в лаборатории пользуются набором гирь, называемых разновесками. На рисунке 11 показан набор разновесков с массами 500 г, 200 г, 200 г, 100 г, 50 г, 20 г, 20 г, 10 г, 5 г, 2 г, 2 г, 1 г, 500 мг, 200 мг, 200 мг, 100 мг, 50 мг, 20 мг, 20 мг, 10 мг, что позволяет измерять массы тел с точностью до 10 мг, помещая разновески только на одну чашку весов.

При взвешивании разновески надо брать пинцетом, а не руками.

Прежде чем взвешивать, надо убедиться в том, что весы правильно уравновешены, т. е. находятся в равновесии при отсутствии нагрузки.

Глава I
МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

§ 13. Относительность движения и покоя. *Механическим движением называют изменение положения изучаемого тела, относительно другого, которое мы условно считаем неподвижным.*

Чаще всего за неподвижное тело принимают поверхность Земли. Мы говорим, что автомобиль находится в состоянии покоя, если он не меняет своего положения относительно Земли, хотя он вместе с Землей участвует в движении вокруг Солнца, а вся солнечная система движется относительно звезд.

Абсолютного покоя в природе не существует. Если тело находится в покое относительно другого, то всегда можно найти такие тела, относительно которых оно движется.

Приведите примеры из вашей практики, подтверждающие относительный характер понятий «движение» и «покой».

§ 14. Движение прямолинейное и криволинейное. Говоря, что автомобиль прошел путь, равный 200 м, мы не учитываем при этом различное движение разных его точек: так, например, точки его корпуса A и B при повороте (рис. 12) двигались по-разному (путь AA_1 меньше BB_1).

Если размеры тела чрезвычайно малы по сравнению с пройденным расстоянием, то различные точки тела проходят приблизительно одинаковые пути, и в этом случае тело можно условно принять за точку, которую называют материальной точкой. В таком смысле спутник, движущийся вокруг Земли, да и самую Землю при ее перемещении вокруг Солнца можно принять за материальные точки.



Рис. 12. Точки A и B корпуса автомобиля при его повороте проходят разные пути.

Линия, по которой движется материальная точка, называется траекторией. На рисунке 13 пунктирной линией $ABCD$ пока-

зана траектория движения вертолета. Если траектория — прямая линия (участки AB и CD), то движение называют **прямолинейным**, если кривая линия (участок BC) — **криволинейным**.

Приведите примеры прямолинейного и криволинейного движения. Может ли быть движение **прямолинейным** относительно одного тела и **криволинейным** относительно другого? Постарайтесь привести примеры.

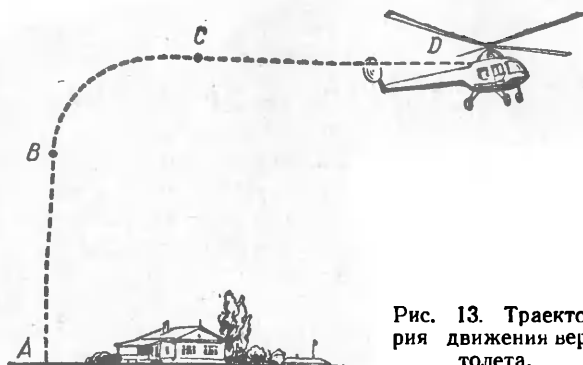


Рис. 13. Траектория движения вертолета.

§ 15. Переменное и равномерное движение. На рисунке 14 показано положение пешехода через каждую секунду. Движение, в котором тело в равные промежутки времени проходит разные пути, называется **переменным** (участки AB и CD). Переменное движение может быть **ускоренным** или **замедленным**.

Определите сами, какое движение называется **ускоренным**, какое **замедленным**.

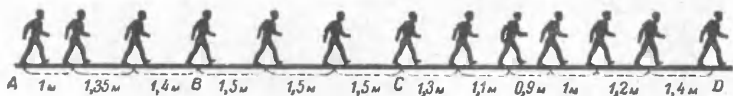


Рис. 14. Положение пешехода через равные промежутки времени.

Движение, при котором тело в равные, сколь угодно малые промежутки времени проходит одинаковые пути, называется **равномерным** (участок BC). Обратите внимание на необходимость слов: «в сколь угодно малые промежутки времени». Например, если поезд прошел в первый час 72 км , во второй и третий тоже по 72 км , то это еще не значит, что он двигался равномерно на всем пути; поезд мог, например, в первые полчаса пройти 42 км , а во вторые 30 км и т. д. Мы только тогда можем быть уверены в равномерности движения, если будем

знать, что в каждые полчаса поезд проходит по 36 км, в четверть часа 18 км, в каждую секунду 20 м (проверьте!), в каждые полсекунды 10 м и т. д.

Конец маятника часов проходит за время одного полного качания всегда один и тот же путь. Можно ли сказать, что его движение равномерно? Каков характер движения маятника на разных участках?

Приведите примеры равномерного и неравномерного движения из вашей практики.

§ 16. Скорость. Скорость есть особая характеристика движения тела; при равномерном движении она измеряется расстоянием, пройденным телом за единицу времени.

Для нахождения скорости тела (v) надо знать пройденный им путь (s) и разделить его на время движения (t).

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

отсюда

$$s = vt \text{ и } t = \frac{s}{v}.$$

Наиболее распространенные единицы скорости: см/сек, м/сек, км/сек, км/ч.

Например, скорость движения космического корабля «Восток-2» с летчиком-космонавтом Г. С. Титовым была около восьми километров в секунду, что сокращенно записывается $v = 8 \text{ км/сек}$ и означает, что корабль за каждую секунду проходил путь в 8 км.

Прочтите и поясните приведенные в таблице примеры скоростей.

Пешеход	около 1,5	$\frac{\text{м}}{\text{сек}}$
Трактор ДТ-54	до 8	$\frac{\text{км}}{\text{ч}}$
Тепловоз ТЭ-3	до 100	$\frac{\text{км}}{\text{ч}}$
Тепловоз ТЭ-7	до 140	$\frac{\text{км}}{\text{ч}}$
Самолет ТУ-104	до 1000	$\frac{\text{км}}{\text{ч}}$
Звук в воздухе (при 0° С) . . .	332	$\frac{\text{м}}{\text{сек}}$
Свет и радиоволны	300 000	$\frac{\text{км}}{\text{сек}}$

Движение любого вида транспорта может быть равномерным только на сравнительно небольших участках. При переменном движении скорость все время изменяется. Чтобы судить о

быстроте движения на отдельном участке пути, вводят понятие средней скорости на этом участке. Для ее нахождения условно считают, что этот участок пройден равномерно, поэтому надо длину участка разделить на время, в течение которого он пройден.

Пример 1. Пассажирский реактивный самолет ТУ-104 пролетает расстояние от Москвы до Ленинграда, равное 660 км, за 55 мин. Найти среднюю скорость самолета в $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$ и $\frac{\text{м}}{\text{сек}}$.

$$\begin{aligned} s &= 660 \text{ км} \\ t &= 55 \text{ мин} = \frac{55}{60} \text{ ч} \\ \hline \text{Найти } v. \end{aligned} \quad \begin{aligned} v &= \frac{s}{t} \\ v &= 660 : \frac{55}{60} = 720 \frac{\text{км}}{\text{ч}} \\ \frac{720 \text{ км}}{1 \text{ ч}} &= \frac{720 \cdot 1000 \text{ м}}{3600 \text{ сек}} = 200 \frac{\text{м}}{\text{сек}}. \end{aligned}$$

Пример 2. В течение какого времени автобус ЗИЛ-127 пройдет путь между городами в 36 км со скоростью 20 $\frac{\text{м}}{\text{сек}}$?

$$\begin{aligned} s &= 36 \text{ км} \\ v &= 20 \frac{\text{м}}{\text{сек}} \\ \hline \text{Найти } t. \end{aligned} \quad \begin{aligned} \text{Выразим скорость в } \frac{\text{км}}{\text{ч}} \\ 20 \frac{\text{м}}{\text{сек}} &= \frac{20 \cdot 3600 \text{ км}}{1000 \text{ ч}} = 72 \frac{\text{км}}{\text{ч}} \\ t &= \frac{s}{v} \\ t &= \frac{36}{72} = 0,5 \text{ (ч)}, \text{ или } 30 \text{ (мин)}. \end{aligned}$$

Скорость движения транспортных машин измеряется специальным прибором — спидометром, или скоростемером (рис. 15), где числа шкалы показывают скорость, выраженную в км/ч.

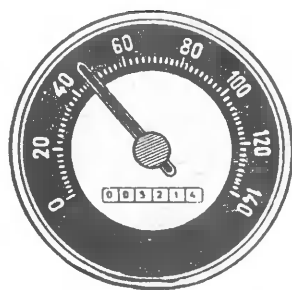


Рис. 15. Скоростемер (спидометр).

Каково показание спидометра автобуса на рисунке 15? Выразите эту скорость в $\frac{\text{м}}{\text{сек}}$.

Рассчитайте, какой путь пройдет автобус, сохраняя эту скорость, за 5 мин. Через сколько времени автобус прибудет в пункт назначения, до которого 90 км, если считать что скорость будет неизменной?

§ 17. Поступательное и вращательное движение. Мы рассмотрели виды движения материальной точки. Твердое тело состоит из множества точек, которые при движении тела могут двигаться по различным траекториям.

ям. На рисунке 16 показаны траектории движения нескольких точек (A, B, C, D) бруска.

Простейшими видами движения тела являются поступательное и вращательное движения.

При поступательном движении прямая, проведенная через две любые точки тела, перемещается параллельно своему первоначальному положению (AB на рис. 16, AC на рис. 17).

Обратите внимание, что поступательное движение не обязательно должно быть прямолинейным (см. рис. 17). Оба движения, изображенные на рисунках 16 и 17, являются поступательными. Сопоставьте их.

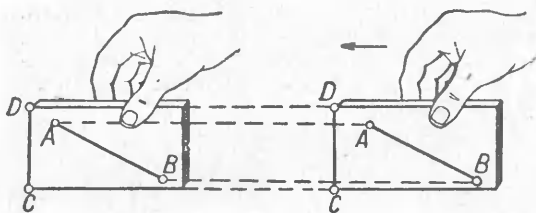


Рис. 16. Траектории движения различных точек бруска.

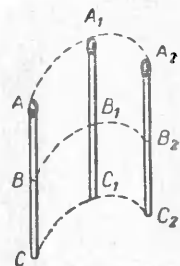


Рис. 17. Поступательное движение спички.

Легко заметить, что при поступательном движении все точки тела описывают одинаковые траектории и за одно и то же время проходят одинаковые пути, поэтому для изучения этого движения достаточно знать движение только одной, произвольно выбранной его точки. Все сказанное ранее о движении материальной точки применимо для поступательного движения тела.

Другой вид движения твердого тела, очень широко распространенный в технике, носит название вращательного движения. При вращательном движении все точки тела описывают окружности (рис. 18), лежащие в параллельных плоскостях, причем центры этих окружностей находятся на одной прямой, называемой осью вращения.

Приведите примеры вращательного движения.

Различные точки тела, находящегося во вращательном движении, имеют разные скорости (в отличие от поступательного движения). Например, если маховик за одну секунду (рис. 19) повернулся на угол AOA_1 , то скорость точки A численно равна длине дуги AA_1 , точки B — длине дуги BB_1 , точки C — длине дуги CC_1 . Скорость отдельной точки, измеряемую длиной дуги, пройденной точкой за единицу времени, называют линейной скоростью данной точки.

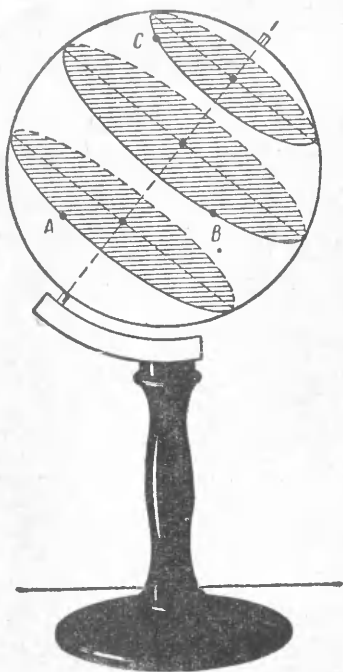


Рис. 18. При вращении различные точки поверхности глобуса (A , B , C) движутся по окружностям, которые находятся в параллельных плоскостях.

Линейная скорость не может характеризовать быстроту вращения тела в целом (почему?), поэтому вводится еще одна очень важная характеристика вращательного движения — частота вращения.

Частота вращения (обозначается буквой n) измеряется числом оборотов вращающегося тела за единицу времени (в технике, как правило, за 1 мин). Например, частота вращения рабочего колеса турбины Волжской ГЭС имени В. И. Ленина 68,5 об/мин, или $\sim 1,14$ об/сек, означает, что колесо за 1 мин делает 68,5 оборота, а за 1 сек около 1,14 оборота.

Частота вращения измеряется специальным прибором — тахометром (рис. 20), шкала которого указывает число оборотов в 1 мин.

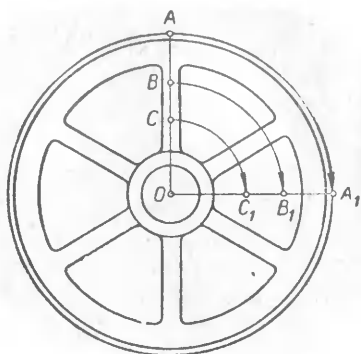


Рис. 19. При вращении маховика вокруг неподвижной оси точки его A , B и C имеют различные линейные скорости.

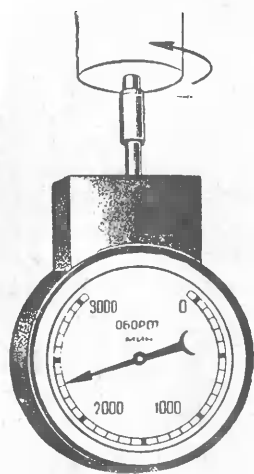


Рис. 20. Тахометр.

Линейная скорость точки, отстоящей на расстоянии R м от оси вращения, связана с частотой вращения следующей формулой:

$$v = \frac{2\pi R n}{60},$$

где n — число оборотов в 1 мин., v — линейная скорость в м/сек.

Обоснуйте рассуждением эту формулу, помня, что $2\pi R$ — это длина окружности радиуса R .

1. Рассчитайте линейную скорость на ободе рабочего колеса гидротурбины, диаметр которого 9 м, а частота вращения $62,5 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$, и паровой турбины с диаметром колеса 1 м и частотой вращения $3000 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$. (Ответ: $\sim 29 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$; $157 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$.)

2. Вычислите, сколько оборотов в минуту делает колесо электровоза Н-8 диаметром 1200 мм при движении поезда со скоростью $54 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. (Ответ: $\sim 240 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$.)

Глава II

МЕХАНИЧЕСКИЕ СИЛЫ

§ 18. Сила. В конце XVII в. английский ученый Ньютон сформулировал один из основных законов природы.

Всякое тело сохраняет состояние относительного покоя или равномерного и прямолинейного движения до тех пор, пока действие других тел не выведет его из этого состояния.

В земных условиях покой и движение обычно рассматриваются по отношению к Земле, что мы в дальнейшем не будем особо оговаривать.

Свойство тел находиться в состоянии относительного покоя или в состоянии равномерного прямолинейного движения получило название *инерции*.

Покой или равномерное и прямолинейное движение — это естественное состояние всех тел, изменить которое тело не может само по себе, для этого должна быть внешняя причина. Этой причиной является действие другого тела. Футбольный мяч будет находиться в покое до тех пор, пока другое тело, например нога футболиста, не выведет его из этого состояния. Если тело движется, то ему свойственно двигаться равномерно и прямолинейно. Изменение равномерности (увеличение или уменьшение скорости) или прямолинейности движения (искривление траектории) всегда вызывается внешней причиной, т. е. взаимодействием с другим телом. Мяч, летящий в ворота, отразили руки вратаря: взаимодействие с другим телом вызвало



И. Ньютон
(1643—1727)

изменение направления движения. Мяч, катящийся по траве, постепенно замедлял движение и остановился: другое тело — поверхность Земли — вызвало уменьшение скорости.

Причину, вызывающую изменение состояния покоя или равномерного прямолинейного движения, называют силой.

Вводя термин «сила», мы отвлекаемся от того, какое именно другое тело подействовало на первое. Вместо того чтобы сказать, что на мяч действовало другое тело — нога футболиста, мы говорим, что на мяч действует сила.

Всегда ли сила вызывает изменение движения тела? Рассмотрим такой пример. В кузнечном цехе молот ударяет по заготовке. Однако заготовка не из-

менила состояния покоя, но она изменила свою форму, или, как говорят, деформировалась. Следовательно, в данном случае сила вызвала деформацию.

Таким образом, силы возникают при действии одного тела на другое и являются причиной изменения движения тел или возникновения деформации.

Приведите примеры различного действия сил.

§ 19. Всемирное тяготение. Вес тела. Изучая движение планет вокруг Солнца, Ньютон пришел к выводу, что между Солнцем и планетами существуют силы взаимного притяжения. Действительно, мы уже знаем, что все тела обладают свойством двигаться равномерно и прямолинейно. Земля также должна была бы двигаться в пространстве прямолинейно. Однако какая-то причина искривляет траекторию движения Земли, заставляя ее обращаться вокруг Солнца, — это может быть только сила притяжения к Солнцу.

Ньютон показал всеобщность этого закона: *сила взаимного притяжения существует между всеми телами.* Этот закон носит название закона всемирного тяготения. Чем больше массы взаимодействующих тел, тем больше сила притяжения между телами. Сила притяжения быстро убывает с увеличением расстояния между телами,

Мы не замечаем притяжения между окружающими нас телами, так как массы этих тел сравнительно невелики. Например, даже два океанских судна массами по 50 000 т, находящиеся на расстоянии 200 м друг от друга, притягиваются с силой, которая не смогла бы разорвать даже самую тонкую рыболовную леску толщиной 0,1 мм.

Земля также притягивает все тела, находящиеся на ее поверхности. Масса Земли очень велика, около 6 000 000 000 000 000 000 т, поэтому сила притяжения тел к Земле становится достаточно большой.

Весом называется сила, с которой Земля притягивает тело. Эта сила, действуя на тело, лежащее на столе или висящее на нити, вызывает давление на стол или растяжение нити. Если же перемещению тела ничто не препятствует, то сила тяготения вызывает падение тела на Землю. В дальнейшем это определение веса будет уточнено.

Мы уже говорили, что сила притяжения между телами зависит от масс взаимодействующих тел. Поэтому, чем больше масса тела, тем сильнее оно притягивается к Земле.

§ 20. Единицы силы. Для того чтобы судить о величине силы и, в частности, веса тела, необходимо ввести соответствующую единицу измерения.

За единицу силы 1 килограмм-силы (записывается 1 кг) принята сила притяжения к Земле тела массой в 1 килограмм (1 кг) на широте Парижа и на уровне моря.

Почему мы добавляем: «на широте Парижа и на уровне моря»? Дело в том, что сила притяжения тела к Земле изменяется в зависимости от географической широты местности и высоты поднятия его над поверхностью Земли.

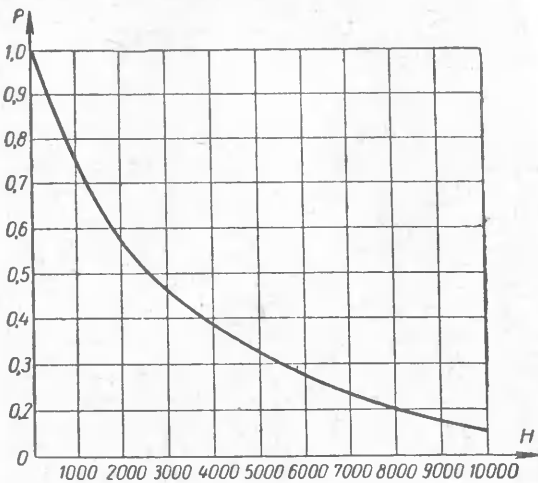
Земля несколько сплюснута у полюсов (рис. 21), поэтому тело, находящееся на полюсе, ближе к центру Земли, чем тело, находящееся на экваторе, а сила притяжения уменьшается с увеличением расстояния между телами. Следовательно, тело на полюсе весит несколько больше, чем то же тело на экваторе. Кроме того, на вес тела оказывает влияние вращение Земли вокруг своей оси.

На рисунке 22 дана диаграмма изменения веса тела с высотой поднятия над поверхностью Земли. На горизонтальной оси отложена высота (H) над поверхностью в километрах, на вер-



Рис. 21. Земля сплюснута у полюсов (на рисунке это показано с сильным увеличением).

Рис. 22. График изменения веса тела P ($\kappa\Gamma$) в зависимости от высоты его поднятия над Землей H (км).



тикальной — вес (P) тела массой в 1 кг , выраженный в килограммах¹.

Определите из графика (приблизительно), сколько весит тело массой в 1 кг на высоте 1000 км , 5000 км ; на какой высоте вес тела уменьшается вдвое.

Сейчас, когда замечательные достижения нашей Родины в деле освоения космоса сделали мечту о полете человека на другие планеты реальной, вопрос о весе тела за пределами Земли приобретает особый интерес. Например, на Луне вес выпела с Гербом Советского Союза приблизительно в 6 раз меньше, чем на Земле. Вес тела на Марсе в 2,6 раза меньше, чем на Земле.

В земных условиях вес тела на разных широтах изменяется сравнительно мало. Например, тело на полюсе весит больше, чем на экваторе, примерно лишь на 0,5%. Поэтому мы можем считать, что численные значения массы и веса приблизительно совпадают. Например, тело массой 2 кг весит 2 $\kappa\Gamma$, массой 10 кг весит 10 $\kappa\Gamma$ и т. д.

Подумайте, в каких местах Земли численные значения массы и веса в точности совпадают, где численное значение веса несколько больше массы, где, наоборот, меньше.

Кроме килограмма силы, другими весьма распространенными единицами являются тонна (T), грамм (Γ) и миллиграмм ($\text{м}\Gamma$).

$$1T=1000 \kappa\Gamma,$$

$$1\Gamma=0,001 \kappa\Gamma,$$

$$1\text{м}\Gamma=0,001 \Gamma.$$

¹ Необходимо ясно представить себе, что, несмотря на одинаковое название (килограмм), единицы массы (кг) и силы ($\kappa\Gamma$) совершенно различны по своей природе.



Рис. 23.
Динамометр.

В настоящее время в СССР принята международная система единиц (СИ), в которой единицей силы является ньютон (н).

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

$$1 \text{ н} \approx 0,102 \text{ кг}.$$

§ 21. Измерение сил. Если к пружине прикладывать различные силы, то ее удлинение будет прямо пропорционально приложенной силе, иными словами, во сколько раз увеличится растягивающая сила, во столько же раз возрастет растяжение пружины.

На этом основано устройство приборов для измерения сил. Их называют **динамометрами**. На рисунке 23 показан один из видов динамометра. Верхний конец пружины закреплен неподвижно, к нижнему концу подвешивают тело, которое требуется взвесить, или на этот конец действуют растягивающей силой. Указатель, скрепленный с нижним концом пружины, передвигается по шкале прибора и указывает величину приложенной силы.

§ 22. Графическое изображение сил. Для многих физических величин, которые мы ранее изучали (длина, площадь, объем, масса, время), достаточно знать только их численное значение, чтобы иметь о них полное представление. Достаточно ли знать только численное значение силы, чтобы судить о том действии, которое она произведет на тело?

Пусть нам известно, что на контейнер (рис. 24) подействовали силой в 800 кг. Какое действие окажет эта сила? Если в контейнер положить груз в 800 кг (в этом случае сила направлена вниз), то контейнер будет давить сильнее на опору. Если силу направить вверх, то контейнер можно поднять. Если силу направить горизонтально, то его можно сдвинуть или опрокинуть. Значит, кроме численного значения силы, надо знать направление ее действия.

Но и этих двух данных (численное значение силы и ее направление) оказывается недостаточно для полного представления о действии силы. Например, если на контейнер действует горизонтальная сила в 800 кг, при-

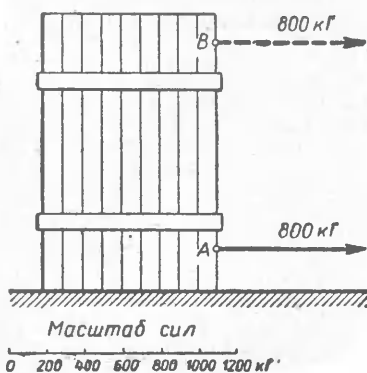


Рис. 24. Сила, приложенная к разным точкам тела, производит различные действия.

ложенная в точке A (см. рис. 24), то контейнер сдвинется с места, а если приложенная в точке B , то опрокинется. Таким образом, третьей характеристикой силы является ее точка приложения.

Итак, действие силы на тело определяется численным значением силы, направлением ее действия и точкой приложения.

На чертеже силу принято изображать графически в виде стрелки, выходящей из точки ее приложения и направленной в сторону действия силы, причем длина стрелки пропорциональна численному значению силы. В связи с этим под чертежом надо обязательно указывать, какой силе соответствует единица длины стрелки.

Определите вес грузов, лежащих на прицепе и на самом грузовике (рис. 25). С какой силой тянет грузовик прицеп?

§ 23. Плотность. Если взять несколько различных веществ одинакового объема и определить их массу с помощью весов, то она окажется различной. Кусок железа имеет большую массу, чем такой же по объему кусок алюминия, а масса куска алюминия больше массы такого же куска дерева.

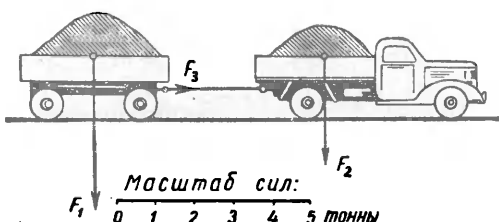


Рис. 25. Определите величину сил F_1 , F_2 и F_3 .

Плотность вещества измеряется его массой в единице объема. Принято массу выражать в кг, а объем в m^3 .

Вот примеры округленных значений плотностей в $(кг/м^3)$, некоторых веществ при $0^\circ C$.

Твердые тела

Алюминий	2 700	Платина	21 500
Гранит	2 600	Пробка	200
Железо	7 900	Свинец	11 400
Золото	19 300	Серебро	10 500
Кирпич	1 800	Сталь	7 900
Лед	900	Стекло	2 600
Медь	8 900	Чугун	7 000

Жидкости

Бензин	700	Керосин	800
Вода	1 000	Нефть	760
Вода морская	1 030	Ртуть	13 600

Чтобы найти плотность вещества (D), надо его массу (m) разделить на объем (V):

$$D = \frac{m}{V}.$$

Действительно, если сосновое бревно объемом $1,5 \text{ м}^3$ имеет массу 750 кг , то один кубический метр сосны будет иметь массу в $1,5$ раза меньше, т. е. плотность сосны составит:

$$\frac{750}{1,5} = 500 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right).$$

Пользуясь указанной формулой, можно найти массу тела, зная его объем и плотность. Например, надо найти массу гранитной плиты размерами $2 \times 1,5 \times 0,4 \text{ (м}^3\text{)}$. Определим сначала ее объем. Он оказывается равным $1,2 \text{ м}^3$. Из таблицы находим, что 1 м^3 гранита имеет массу 2600 кг . Значит, $1,2 \text{ м}^3$ будет иметь массу в $1,2$ раза больше, т. е.

$$2600 \times 1,2 = 3120 \text{ (кг)}.$$

Ту же задачу можно решить по формуле:

$$m = DV.$$

В том случае, когда известна масса тела и плотность того материала, из которого оно состоит, можно найти его объем, пользуясь формулой:

$$V = \frac{m}{D}.$$

Иногда бывает целесообразно измерять массу в граммах ($г$), а объем в кубических сантиметрах (см^3). Тогда плотность будет выражаться в $г/\text{см}^3$.

$$1 \text{ кг}/\text{м}^3 = 0,001 \text{ г}/\text{см}^3; \quad 1 \text{ г}/\text{см}^3 = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

Выразите плотности алюминия, железа и керосина в $г/\text{см}^3$.
Докажите, что $1 \text{ г}/\text{см}^3 = 1 \text{ кг}/\text{дм}^3 = 1 \text{ т}/\text{м}^3$.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Определение плотности вещества

Сначала взвесьте испытуемое тело на весах с коромыслом и запишите его массу, выразив ее в килограммах. Затем при помощи мензурки или отливного стакана измерьте объем тела и выразите его в кубических метрах. Пользуясь формулой, найдите искомую плотность. Рекомендуется каждое измерение проделать несколько раз (не менее трех) и в формулу ввести средние значения измерений.

§ 24. Удельный и объемный вес. С плотностью не следует смешивать удельный вес.

Удельный вес вещества измеряется его весом в единице объема.

$$d = \frac{P}{V}.$$

Так как вес принято измерять в n , а объем в $м^3$, то удельный вес выражается в $n/м^3$.

Однако на практике часто вес выражается не в n , а в $кг$, и удельный вес получается в $кг/м^3$.

Так как вес тела в различных точках земной поверхности и на разных расстояниях от Земли не одинаков, то изменяется соответствующим образом и удельный вес. Плотность же вещества всюду при постоянных температуре и давлении одна и та же. Однако если не учитывать крайне малое изменение веса тела в зависимости от географической широты, то можно (§ 20) для точек, находящихся вблизи поверхности Земли, полагать, что масса тела (в $кг$) и его вес (в $кг$) численно равны. Тогда можно воспользоваться приведенными в § 23 таблицами и считать, что удельный вес железа $7900 кг/м^3$, удельный вес алюминия $2700 кг/м^3$ и т. д.

Предположим теперь, что вам нужно определить вес $10 м^3$ сосновых дров. Из справочника вы узнали, что удельный вес древесины сосны $600 кг/м^3$. Правильно ли было умножить этот удельный вес древесины на объем дров? Конечно, нет. Дрова не вплотную прилегают друг к другу, и между ними имеются промежутки. Для решения подобных задач надо знать объемный вес соответствующего материала.

Объемный вес пористых, сыпучих и прочих материалов измеряется весом их единицы объема, причем объем определяется совместно с промежутками между частями тела. Так же как и удельный вес, его надо выражать в $n/м^3$, но на практике его часто дают в $кг/м^3$.

Приводим приближенные значения **объемных весов** некоторых веществ (в $кг/м^3$).

Глина	1800—2000	Песок (сухой)	1500
Дрова в поленьях	400—650	Сено сухое	50—70
Земля сухая	1500	Солома	85—100
Зерно пшеничное, ржаное, ячменное, насыпное	550—700	Снег свежий	80—100
Мука ржаная	400	Снег сырой	200—600
Овощи (картофель, морковь, репа, свекла)	500—700	Торф сухой	325—410
		Уголь древесный	150—220
		Уголь каменный	800—860

У п р а ж н е н и я

1. Копеечная монета имеет массу 1 г. Вычислите ее объем, если плотность материала $8800 \frac{кг}{м^3}$. (О т в е т: $\sim 0,11 см^3$)

2. Плотность растительного масла $920 \frac{кг}{м^3}$. Поместится ли 500 г масла в бутылку, емкость которой $520 см^3$. (О т в е т: нет.)

3. Определить массу стального троса, если длина его 2 км, а площадь поперечного сечения $0,4 см^2$. (О т в е т: 632 кг.)

4. Моток железной проволоки весит 30 кг. Какова длина проволоки, если площадь ее поперечного сечения 2 мм²? (О т в е т: $\sim 1,9 км$.)

5. Питонный грузовик перевозит глину на стройку. Сколько рейсов надо совершить, чтобы перевезти 75 м^3 глины? (Ответ: ≈ 30 .)

6. Сколько мешков картофеля заготовлено в подвале с площадью пола 40 м^2 , если слой картофеля имеет высоту 90 см , а в мешок помещается 50 кг картофеля? Объемный вес картофеля считайте равным $600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. (Ответ: 432.)

7. Объемный вес ржи в зернах $550 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Определить, какой процент от всего объема составляют промежутки между зернами, если удельный вес зерен ржи $1100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. (Ответ: 50%.)

§ 25. Сила давления и давление. На рисунке 26 показаны примеры, когда сила приложена не к одной точке тела, а распределяется на какую-то поверхность. Площадь, на которую действует сила, именуется площадью опоры, а сила, приложенная к площади опоры и направленная к ней перпендикулярно, называется силой давления.

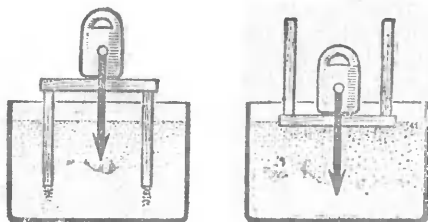


Рис. 26. Столик, опирающийся на ножки, значительно больше вдавливается в песок, чем тот же столтик, опирающийся на крышку. В первом случае площадь опоры меньше, чем во втором.

Действие, которое оказывает сила давления на опору, зависит как от величины этой силы, так и от размеров самой площади. Грузный автомобиль оставляет в мягком грунте более глубокий след, чем порожний. Человек, стоящий на лыжах, оставляет менее глубокий след на снегу, чем без лыж (рис. 27).



Рис. 27. Человек, идущий по снегу без лыж, глубоко проваливается.

Для характеристики действия силы на опору вводят понятие давления.

Давление измеряется силой, действующей на единицу площади опоры в направлении, перпендикулярном поверхности. Часто оно измеряется в кг/см^2 . Например, давление высотного здания на грунт составляет $4,5 \text{ кг/см}^2$ (читается «4,5 килограмма силы на квадратный сантиметр»).

Объясните, как вы понимаете, что давление шагающего экскаватора ЭШ-14/65 составляет $0,73 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$, а давление губок тисков на деталь $8 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$.

Если давление обозначить буквой p , силу давления F , а площадь опоры S , то для вычисления давления можно воспользоваться формулой

$$p = \frac{F}{S}.$$

Рассчитайте, какое давление производит трактор ДТ-54 на грунт, если его вес 5400 кг , а площадь опоры его гусениц около 1 м^2 .

В системе единиц СИ давление измеряется в н/м^2 . Помня, что $1 \text{ н} \approx 0,1 \text{ кг}$, а $1 \text{ м}^2 = 10\,000 \text{ см}^2$, легко подсчитать, что 1 н/м^2 меньше 1 кг/см^2 в сто тысяч раз.

§ 26. Передача давления твердыми телами. Твердое тело передает производимое на него давление в направлении действия силы, причем сила давления остается без изменения. Если, например, человек давит на ручку стамески с силой 10 кг , то и острие ее действует на обрабатываемую деталь с силой 10 кг (если не учитывать вес самой стамески). Однако давление, производимое острием стамески на обрабатываемую поверхность, будет во много раз больше, чем давление руки на рукоятку, так как площадь острия значительно меньше площади рукоятки.

Использование колющих и режущих инструментов (долото, зубило, кернер и др.) основано на принципе получения больших давлений путем уменьшения площади острия и увеличения площади рукоятки.

Однако очень часто приходится стремиться не к увеличению давления, а, наоборот, к его уменьшению. Так, например, все транспортные машины на гусеничном ходу давят на грунт с меньшей силой по сравнению с машинами на колесах.

Во сколько раз давление человека, идущего по снегу на лыжах, меньше, чем без них? Численные данные для решения задачи подберите самостоятельно.

Приведите примеры различных случаев передачи давления твердыми телами.

§ 27. Сила трения и сила тяги. При движении одного тела по поверхности другого, вследствие наличия неровностей в местах их соприкосновения¹, всегда возникает сила, препятствующая движению. Эта сила носит название силы трения. Она приложена к движущемуся телу и направлена в сторону, противоположную движению.

Чтобы вывести тело из состояния покоя, а затем поддерживать движение, к телу необходимо приложить силу, преодолевающую силу трения. Эта сила действует по направлению движения и носит название силы тяги. Характер движения любого тела зависит от соотношения этих сил.

Если на тело действуют две или несколько сил, их можно заменить одной, которая оказывает такое же действие. Эта сила называется равнодействующей.

Если мы имеем дело с двумя силами, направленными по одной прямой в противоположные стороны, то равнодействующая этих сил равна их разности и направлена в сторону большей силы.

Продумайте сами, чему равна равнодействующая двух или нескольких сил, направленных по одной прямой в одну сторону. Приведите примеры.

Равнодействующая сила направлена в сторону движения, если сила тяги больше силы трения, она вызывает ускоренное движение; если же сила тяги меньше силы трения — замедленное движение. В частном случае равенства этих сил их равнодействующая обращается в нуль, и движение тела будет равномерным и прямолинейным.

Электровоз Н-8 развивает силу тяги 35 200 кГ при силе трения 30 000 кГ. Каков характер движения состава на горизонтальном участке пути?

На рисунке 28 показаны силы, действующие на парашютиста. Какое движение он совершает?

Один и тот же железнодорожный состав при наличии силы трения в 20 000 кГ может приводиться в движение паровозом, развивающим силу тяги 25 000 кГ, и электровозом, сила тяги которого 30 000 кГ. Чем будут отличаться их движения? Во втором случае скорость будет возрастать быстрее, чем в первом.

¹ А также вследствие молекулярного взаимодействия трущихся поверхностей (см. далее, § 64).

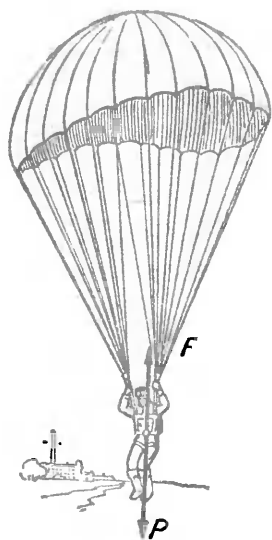


Рис. 28. Силы, действующие на парашютиста.

Шофер легкового автомобиля «Волга», двигающегося по горизонтальному шоссе, выключил мотор. При свободном качении действующая на него сила трения в 60 кГ вызовет медленное убывание скорости. Если же шофер затормозит и сила трения возрастет до 600 кГ, автомобиль быстро уменьшит скорость.

Таким образом, чем больше равнодействующая сила, действующая на некоторое тело, тем быстрее изменяется (возрастает или убывает) его скорость.

§ 28. Трение скольжения. Сила, возникающая при скольжении одного тела по поверхности другого, называется силой трения скольжения. Она зависит от силы давления и от рода трущихся поверхностей.

Для характеристики трущихся поверхностей вводят коэффициент трения скольжения. Он показывает, какую долю составляет сила трения ($F_{тр}$) от силы давления ($F_{давл}$):

$$f = \frac{F_{тр}}{F_{давл}}.$$

Например, коэффициент трения стали о лед 0,02. Это значит, что при движении саней со стальными полозьями по льду сила трения по горизонтальной поверхности составляет 0,02 от веса саней.

Поясните, как понимать, что коэффициент трения резины (шины) по асфальту равен 0,5, а деревянных полозьев по снегу 0,035.

Рассчитайте силу трения при аварийном торможении (колеса не вращаются!), действующую на грузовой автомобиль ЗИЛ-150 весом 8000 кГ, движущийся по асфальту горизонтальной поверхности шоссе. Какая сила трения действует при торможении на тот же автомобиль при мокром асфальте ($f=0,35$) и в гололед ($f=0,2$)? Почему опасна езда с большой скоростью в гололед?

Продумайте, как, имея деревянную доску, деревянный брусок и динамометр, определить коэффициент трения скольжения дерева по дереву. Почему брусок надо обязательно перемещать равномерно?

§ 29. Способы изменения сил трения. Трение качения. Различают трение полезное и вредное. Только вследствие трения возможно движение транспорта (вспомните буксование колес при недостаточном трении) и его остановка при торможении. Посредством приводного ремня передается движение от ведущего шкива к ведомому. Трение позволяет удерживать предметы и т. д. Это полезное трение. В ряде случаев его целесообразно увеличить. Обледеную дорогу посыпают песком, на крышах автомобиля делают насечку, а иногда надевают цепи; локомотив должен обязательно иметь большой вес (сила трения зависит от силы давления), иначе колеса будут буксовать; приводные ремни смазывают специальной липкой пастой.

Приведите еще примеры полезного трения и способов его увеличения из вашего производственного опыта.

Однако в ряде случаев трение является вредным, и его стремятся уменьшить. От трения нагреваются и изнашиваются тру-

щиеся поверхности машин и механизмов. Большая сила трения вызывает необходимость применения более мощных двигателей.

Одним из способов уменьшения трения является применение смазки. Другим распространенным способом служит замена трения скольжения трением качения, так как при качении сила трения значительно меньше, чем при скольжении.

Число, показывающее, какую часть составляет сила трения от веса экипажа, движущегося по горизонтальной дороге, называют коэффициентом сопротивления качению. Например, для вагонов (железнодорожных и трамвайных) при их движении по горизонтальному рельсовому пути $k_{\text{сопр}} = 0,005$; для автомобиля с резиновыми шинами по асфальтовой дороге $k_{\text{сопр}} = 0,02$.

Рассчитайте силу трения при свободном качении автомобиля ЗИЛ-150 весом 8000 кг по асфальтовой горизонтальной дороге и сравните с силой трения при аварийном торможении, считая $f = 0,35$. (Ответ: 160 кг; 2800 кг.)

Даже при использовании колес остается скольжение в месте вращения колеса на оси. В современных установках и в этих местах стремятся заменить скольжение качением, применяя шариковые (рис. 29) или роликовые подшипники.

§ 30. Понятие о деформациях. На скамейку сел человек. Скамейка под его тяжестью прогнулась. Трос, к которому подвешен тяжелый груз, поднимаемый краном, удлинился. *Всякое изменение размеров или формы тела носит название деформации.* Таким образом, мы можем сказать, что и скамейка и канат деформировались. Изучая действие сил, мы должны коснуться вопроса и о деформациях, так как (§ 18) действия сил проявляются не только в том, что они изменяют скорость движения тела, но и в том, что производят деформации.

Возьмем тонкий медный стержень, положим его на две опоры и будем подвешивать к его середине различные грузы. Под влиянием веса грузов стержень будет прогибаться. Мы заметим, что при действии небольших грузов, после их удаления, стержень будет выпрямляться, т. е. возвращаться в свое первоначальное положение. Когда же вес груза достигнет некоторой величины, после его удаления стержень не выпрямится, а останется изогнутым.

Деформации, которые исчезают после прекращения действия деформирующей силы, носят название упругих. Вообще под упругостью подразумевают свойство тел восстанавливать временно измененные или форму, или объем. В различного рода сооружениях (мосты, путепроводы, подъемные краны и т. д.) и в частях машин могут допускать-

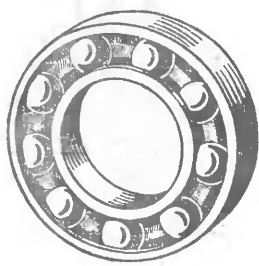


Рис. 29. Шарикоподшипник.

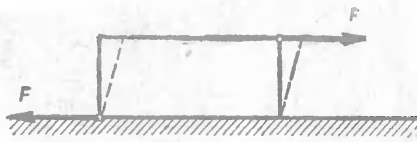


Рис. 30. Деформация сдвига.

ся только упругие деформации, так как остаточные деформации влекут за собой искажение формы тела и ослабление его сопротивления действию внешних сил.

Деформации, остающиеся в теле после прекращения действия силы, именуется остаточ-

ными или пластическими, а вещества, легко меняющие свою форму под действием внешних сил, носят название пластичных. При нагревании пластичность многих веществ сильно увеличивается. Так, например, раскаленная сталь становится пластичной, и на прокатных станах этим ее свойством пользуются при изготовлении из стали рельсов, балок и разных других изделий. Пластичность металлов используется при ковке, штамповке, чеканке.

Все разнообразные случаи деформации тел под действием внешних сил можно свести к следующим типам:

Деформация растяжения, когда внешние силы вызывают удлинение тела.

Деформация сжатия — тело под действием силы уменьшает свою длину.

В обоих случаях деформирующие силы направлены перпендикулярно поверхности тела.

Деформация сдвига обычно вызывается двумя силами, приложенными, как показано на рисунке 30, к противоположным граням тела. В результате этой деформации все слои тела, параллельные направлению сил, производящих сдвиг, не искривляясь и не изменяясь в размерах, смещаются параллельно друг другу.

Деформация изгиба (пример со скамейкой) происходит под действием силы, направленной перпендикулярно оси тела. При этом ось изгибается, вследствие чего внутренние слои тела несколько укорачиваются, а наружные — удлиняются.

При деформации кручения (рис. 31) поперечные сечения тела, оставаясь параллельными, поворачиваются относительно друг друга. Для её осуществления один конец тела закрепляется, а ко второму концу прикладываются силы, вызывающие его вращение.

Приведите из личного опыта примеры различных деформаций.

§ 31. Действие и противодействие. В земных условиях на всякое тело действует его сила тяжести (вес). Как нам известно, тело под

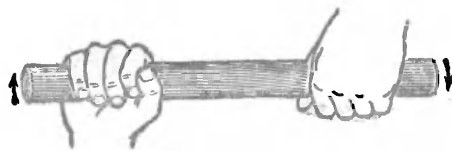


Рис. 31. Деформация кручения «резинка жгутов».

действием силы должно изменять свою скорость. Действительно, если удалить удерживающую тело опору, оно выходит из состояния покоя и падает на поверхность Земли, постепенно увеличивая свою скорость. Почему же тело, лежащее на опоре, не приходит в движение? Это может быть только в том случае, если равнодействующая всех сил, приложенных к телу, равна нулю.

Выясним, какие силы действуют на автомобиль, стоящий на горизонтальной дороге. К автомобилю приложена сила тяжести (P), направленная вертикально вниз¹. Автомобиль действует на поверхность Земли (дорогу) с силой давления $F=P$ — эта сила приложена к другому телу — к дороге. Но поскольку автомобиль находится в покое, на него должна действовать сила, равная по величине его весу, но противоположно направленная. Эта сила (Q) носит название реакции опоры. Следовательно, если автомобиль действует на опору с силой F , то опора действует на автомобиль с равной по величине и противоположной по направлению силой Q . Мы разобрали пример проявления одного из основных законов механики, данного Ньютоном еще в 1687 г. *При взаимодействии двух тел возникают равные по величине и противоположные по направлению силы, приложенные к взаимодействующим телам.*

Разберем еще один пример. Молот ударяет по заготовке. Согласно закону действия и противодействия на заготовку и на молот действуют одинаковые по величине, но противоположные по направлению силы F и Q . Сила F вызвала деформацию заготовки, а сила Q остановила молот, т. е. изменила его скорость.

Всякое движение в земных условиях основано на законе взаимодействия тел: ведущие колеса локомотива действуют на рельсы (сила направлена в сторону, противоположную движению), с такой же силой рельсы действуют на колеса; винт самолета действует на воздух, воздух — на винт самолета.

Приведите еще подобные примеры из вашей практики.

Глава III

РАБОТА, МОЩНОСТЬ, ЭНЕРГИЯ

§ 32. Механическая работа. Трактор тянет плуг, под действием силы давления газов перемещается поршень двигателя автомобиля, рабочий ударяет молотком по зубилу — во всех этих примерах производится механическая работа. Необходимым условием ее совершения является наличие силы и перемещения тела.

Как и всякую физическую величину, работу можно измерить. Для этого прежде всего надо выбрать единицу измерения.

¹ По мере чтения текста делайте пояснительный чертёж.

За единицу работы принимается работа силы в 1 ньютон на пути в 1 м, если направления силы и пути совпадают. Эта единица работы носит название джоуль.

Докажите сами рассуждением, что если сила равна не 1 н, а F н, а путь не 1 м, а s м, то работу (A) можно вычислить по формуле:

$$A = F \cdot s.$$

Механическая работа измеряется произведением силы, вызывающей движение, на пройденный телом путь в направлении действия силы.

Если силу измерять в килограммах ($\kappa\Gamma$), а путь в метрах, то единицей работы будет являться килограммометр ($\kappa\Gamma\text{м}$).

Так как $1 \kappa\Gamma \approx 9,8 \text{ н}$, то $1 \kappa\Gamma\text{м} \approx 9,8 \text{ дж}$ (округленно $1 \kappa\Gamma\text{м} \approx 10 \text{ дж}$).

Найдем работу, совершаемую трактором на пути в 100 м, если он перемещает сенокосилку, прикладывая силу тяги, равную 1000 $\kappa\Gamma$.

$$A = 1000 \cdot 100 = 100\,000 \text{ } (\kappa\Gamma\text{м}) \approx 1\,000\,000 \text{ (дж)}.$$

1000 дж именуются килоджоулем ($\kappa\text{дж}$), 1 000 000 дж — мегаджоулем (Мдж). В нашем примере $A = 1 \text{ Мдж}$.

Решите задачу. Какой вес должна иметь ударная часть свайного молота, чтобы при падении его с высоты 1,5 м была совершена работа 27 $\kappa\text{дж}$?

§ 33. Мощность. Чтобы охарактеризовать производительность той или иной машины, недостаточно указать, какую работу она совершает, надо еще знать, за какое время произведена эта работа.

Для этой цели вводят особую физическую величину — мощность (обозначается буквой N).

Мощность измеряется работой, которая совершается двигателем за 1 сек, и вычисляется по формуле:

$$N = \frac{A}{t},$$

где A — работа, t — время, в течение которого она произведена.

Единицей мощности служит ватт (вт). Ватт — это мощность, при которой совершается работа в 1 дж за 1 сек.

$$\begin{aligned} 1000 \text{ вт} &= 1 \text{ киловатту } (\kappa\text{вт}); \\ 1000 \kappa\text{вт} &= 1 \text{ мегаватту } (\text{Мвт}). \end{aligned}$$

Применяется также единица мощности, которая носит название лошадиной силы (л. с.). Лошадиная сила — это мощность, при которой совершается работа 75 килограммометров за 1 секунду.

Укажем связь 1 *квт* с 1 *л. с.*:

$$1 \text{ квт} \approx 1,36 \text{ л. с.};$$

$$1 \text{ л. с.} \approx 0,736 \text{ квт.}$$

Запишите в таблице вместо черточек мощности двигателей и турбин.

Двигатели автомашин и турбин ГЭС	Мощность	
	л. с.	квт
Автомобиль «Москвич-407»	45	—
Автомобиль «Волга»	—	52
Автобус ЗИЛ-127	—	130
Самосвал МАЗ-530	450	—
Троллейбус МТБ-82	—	86
Тепловоз ТЭ-3 (одна секция)	2000	—
Турбина Днепровской ГЭС	—	75 000
Турбина Волжской ГЭС им. В. И. Ленина . .	156 000	—

Приведите примеры указанных в паспортах мощностей известных вам двигателей. Следует иметь в виду, что в паспорте дается максимальная мощность; двигатель (например, транспортный) развивает различную мощность в зависимости от режима работы.

Мощность человека при длительной работе порядка 0,06 *л. с.*, но временно он может развивать значительно большую мощность. Подсчитайте, какую мощность развивает штангист, поднимающий штангу весом 125 *кг* на высоту 1 *м* за 0,8 *сек.*

Для расчета мощности двигателя при равномерном движении удобно пользоваться формулой.

$$N = F \cdot v,$$

где N — мощность в *вт*, F — сила в *н*, v — скорость в $\frac{\text{м}}{\text{сек}}$.

$$\text{Действительно, } N = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot s}{t}, \text{ но } \frac{s}{t} = v.$$

Воспользовавшись этой формулой, рассчитайте, какую мощность развивает двигатель автомобиля ЗИЛ-110 при движении автомобиля по асфальтовому шоссе (коэффициент сопротивления 0,02) при скорости $72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ и сравните с его максимальной мощностью 140 *л. с.* Вес автомобиля 3 *т*. (Ответ: 16 *л. с.*)

§ 34. Момент силы. Попробуйте закрывать дверь, нажимая на нее рукой на различных расстояниях от петель. Вы заметите, что чем дальше от петель, через которые проходит ось вращения, вы прикладываете силу, тем легче будет закрывать дверь. Следовательно, *вращающее действие силы зависит не только от ее величины, но и от расстояния силы до оси вращения.*

Прделаем опыт. Возьмем легкий стержень, вращающийся около точки O (рис. 32). Будем подвешивать к стержню гири на нитях, по одной спра-

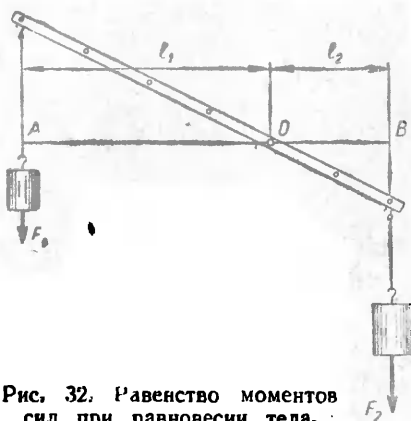


Рис. 32. Равенство моментов сил при равновесии тела.

ва и слева от оси вращения, добиваясь равновесия стержня. Измерим расстояния от нитей до точки O , через которую проходит ось вращения, т. е. длины перпендикуляров OA и OB , опущенных из точки O на направления нитей.

Длина перпендикуляра, опущенного из точки, около которой происходит вращение, на направление силы, носит название плеча силы.

Составим таблицу, в которой укажем величины сил, вращающих стержень по часовой стрелке и против часовой стрелки, и плеч этих сил. На основании ряда опытов мы придем к заключению, что при равновесии стержня величина произведения силы на соответствующее плечо должна быть одинакова как для силы, вращающей стержень по часовой стрелке, так и для силы, вызывающей вращение его в противоположном направлении, если стержень считать невесомым.

Произведение силы (F) на плечо (l) носит название момента силы (M) относительно данной точки. Момент силы характеризует вращательное действие силы.

$$M = F \cdot l.$$

Опыт привел нас к заключению, что при равновесии стержня моменты сил, действующих на него по часовой стрелке и против часовой стрелки, одинаковы.

Если бы мы подвесили к стержню не по одной, а по несколько гирь с правой и левой стороны от оси, условие равновесия

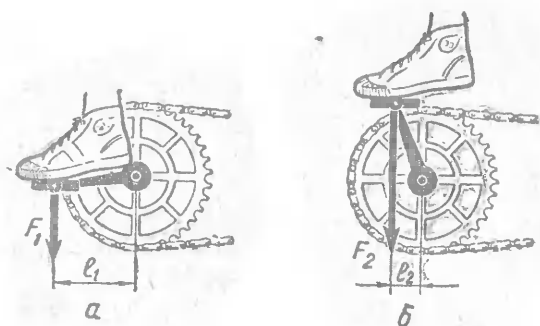


Рис. 33. Во сколько раз больше силы F_1 надо приложить силу F_2 , чтобы получить тот же вращающий момент?

осталось бы прежнее: *сумма моментов сил, вращающихся по часовой стрелке, должна быть равна сумме моментов сил, вращающих стержень против часовой стрелки.*

На рисунке 33 изображена педаль велосипеда в двух ее положениях и показаны соответствующие плечи l_1 и l_2 . Ответьте на вопрос: в каком положении педали и приблизительно во сколько раз надо приложить большую силу, чтобы создать одинаковый момент?

§ 35. Центр тяжести тела. Виды равновесия. Мы уже знаем, что вес тела — это сила, а всякая сила, кроме численного значения, характеризуется еще направлением и точкой приложения.

Направление действия силы тяжести в земных условиях носит название вертикального, или отвесного, направления, а простейший прибор, который служит для проверки вертикального направления, называется отвесом (рис. 34).

Направление, перпендикулярное вертикальному, называется горизонтальным — такое направление принимает свободная поверхность жидкости. Для проверки горизонтального направления служат ватерпас (рис. 35) и уровень (рис. 36).

Разберитесь самостоятельно в устройстве этих приборов и укажите, где они применяются.

Точка приложения силы тяжести носит название центра тяжести тела. Центр



Рис. 34. а — Отвес. б — Каменщик проверяет вертикальность стены отвесом.

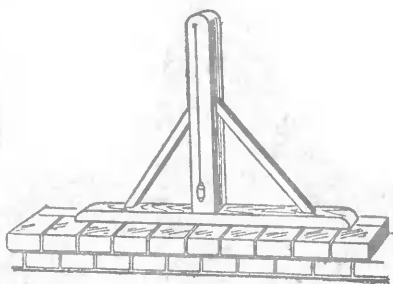


Рис. 35. Ватерпас.

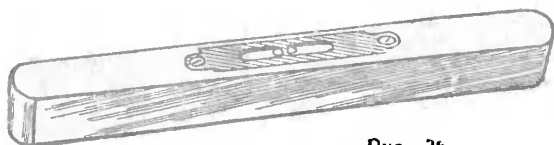


Рис. 36.

тяжести твердого тела, не изменяющего своей формы, всегда находится в одной и той же точке, независимо от положения тела.

Центр тяжести симметричных тел и фигур находится в их центре симметрии O (рис. 37).

Рассмотрим, какое положение принимает тело, подвешенное или подпертое в одной точке или имеющее ось вращения, если на него не действуют никакие внешние силы, кроме его собственного веса.

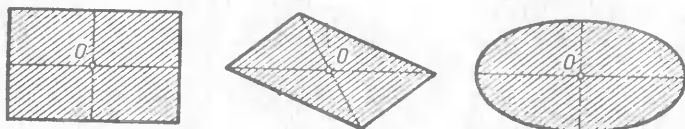


Рис. 37. Положение центра тяжести симметричных тел.

Оно будет только тогда в равновесии, когда момент силы тяжести P относительно точки опоры или подвеса A будет равен нулю, а это произойдет лишь при условии, когда плечо l обратится в нуль (рис. 38, б и г), т. е. если вертикаль, проведенная через центр тяжести тела O , будет проходить через точку опоры или ось вращения. В противном случае тело будет поворачиваться так, как показано на рисунке 38, а и в, до тех пор, пока момент силы тяжести P не обратится в нуль.

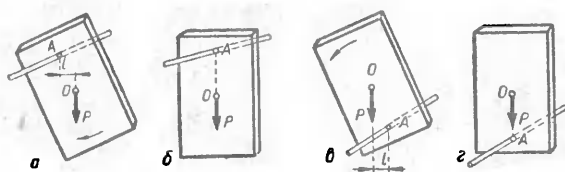


Рис. 38. Устойчивое и неустойчивое равновесие.

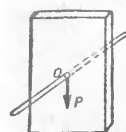


Рис. 39. Безразличное равновесие.

Рассмотрим два возможных случая взаимного расположения центра тяжести тела и точки опоры. Первый случай был показан на рисунке 38, а. Центр тяжести тела O был ниже точки опоры A , и момент силы тяжести при нарушении равновесия возвращает тело в прежнее равновесное положение. Такое равновесие носит название *устойчивого*. Во втором случае, когда центр тяжести тела O выше точки опоры A (рис. 38, в) при отклонении тела от положения равновесия, момент силы тяжести вызывает дальнейшее движение и перевертывание тела. Это равновесие называется *неустойчивым*. Может быть и такой случай, когда в любом положении тела момент силы тяжести равен нулю. Это равновесие называется *безразличным*.

ным (рис. 39). Оно будет только при условии совпадения точки опоры или оси вращения A с центром тяжести тела O .

Зная условие равновесия тела, имеющего точку подвеса или ось вращения, мы можем определить положение центра тяжести плоской фигуры. Вырежьте из картона какую-либо фигуру и подвесьте ее, прикрепив нить в некоторой точке (например, в точке O на рис. 40, а). Мы можем утверждать, что при равновесии тела центр тяжести находится на отвесной прямой, проходящей через точку подвеса тела, т. е. через точку O . Проведем эту линию, а затем подвесим тело к какой-нибудь другой точке, например к точке O_1 (рис. 40, б), и, добившись равновесия, мы снова можем утверждать, что центр тяжести тела находится на вертикальной прямой, проходящей через точку O_1 . Таким образом, центр тяжести тела может быть определен как точка S , в которой пересекаются линии действия силы тяжести при любых положениях тела. Учтите, что центр тяжести может лежать вне тела (рис 41).

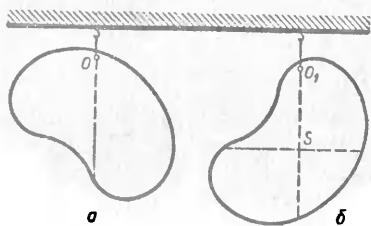


Рис. 40. Опытное определение центра тяжести плоской фигуры.

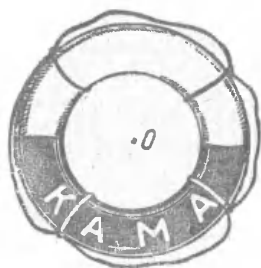


Рис. 41. Центр тяжести спасательного круга лежит в его центре, т. е. вне тела.

§ 36. Устойчивость тела. На практике мы чаще всего встречаемся с равновесием тел, которые опираются на поверхность (человек, стол, автомобиль, станок и проч.).

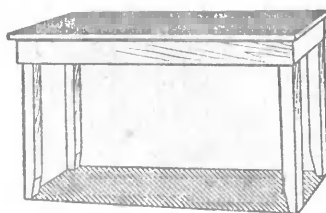


Рис. 42. Опорная поверхность стола.



Рис. 43. Опорная поверхность человека. Точка O — след вертикали, проходящей через его центр тяжести.

Если соединить крайние точки опоры, то полученная поверхность будет носить название площади опоры или опорной поверхности. На рисунке 42 показана опорная поверхность стола, рисунок 43 изображает опорную поверхность человека.

Отклоним тело, имеющее площадь опоры, на малый угол (рис. 44, а). Сила тяжести P даст момент относительно крайней точки опоры, который возвратит тело в прежнее положение. При некотором угле отклонения α (рис. 44, б) сила тяжести пройдет через крайнюю точку опоры A и тело будет в равновесии. Но достаточно отклониться ему в ту или иную сторону, как тело или возвратится в первоначальное положение, или опрокинется. Угол α , соответствующий этому случаю, носит название

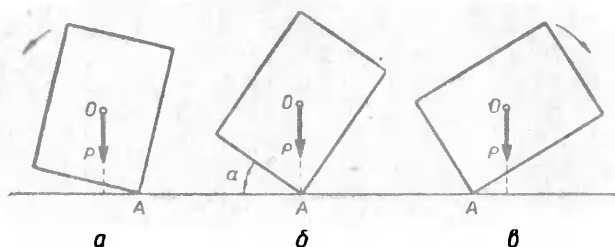


Рис. 44. Равновесие тела, имеющего опорную поверхность.

предельного угла устойчивости тела. При отклонении тела на угол больше предельного оно опрокидывается, что изображено на рисунке 44, в. Из рисунка 45 видно, что предельный угол устойчивости тела равен (как углы с взаимно перпендикулярными сторонами) углу, образованному прямой, соединяющей центр тяжести с крайней точкой опоры, и перпендикуляром, опущенным из центра тяжести тела на основание.

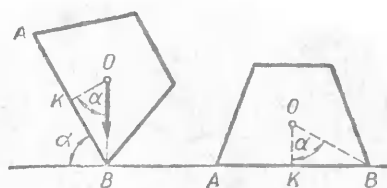


Рис. 45. Определение предельного угла устойчивости тела.

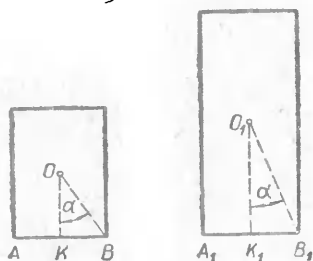


Рис. 46. Чем ниже центр тяжести тела, тем оно устойчивее.

Чем ниже центр тяжести тела и чем больше опорная поверхность, тем больше предельный угол устойчивости, а следовательно, тем устойчивее тело. На рисунке 46 представлены два тела с одинаковой опорной поверхностью; то тело, у которого центр тяжести ниже, имеет больший предельный угол устойчивости.

Чтобы увеличить устойчивость тела, его нижнюю часть де-

лают возможно более массивной и придают ей достаточно большую опорную поверхность. Так, например, изготавливаются настольные лампы.

Ответьте на следующие вопросы

1. Почему человек, несущий на спине большой груз, несколько нагибается вперед?
2. Почему воз, нагруженный высоко, опрокидывается при меньшем уклоне, чем нагруженный низко?
3. Почему стаканы, чашки и другая посуда на кораблях снабжаются прикрепленными к ним массивными подставками?

§ 37. Рычаги. На практике мы имеем дело с многочисленными и самыми разнообразными машинами. Как бы ни была сложна машина, она всегда состоит из сочетания ряда простых механизмов. *Механизм — это приспособление, предназначенное для преобразования силы.*

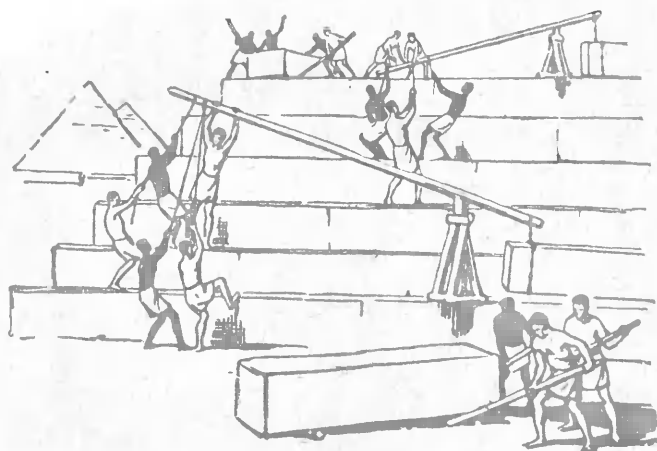


Рис. 47. Постройка пирамиды в древнем Египте.

В первую очередь рассмотрим весьма распространенный и знакомый нам механизм — рычаг. *Рычагом называется твердое тело, могущее вращаться вокруг неподвижной оси.*

Рычаги были известны в глубокой древности. Рисунок 47 изображает постройку пирамиды в древнем Египте. Вы видите людей, пользующихся различными рычагами для передвижения тяжелых камней и для подъема их со ступени на ступень.

На рисунке 48 показаны известные вам рычаги. У одних рычагов точка опоры расположена между точками приложения сил, а у других точка опоры на конце рычага, а обе силы, действующие на рычаг, приложены с одной стороны от точки опоры, но направлены в противоположные стороны. Во всех случаях рычаг будет в равновесии, если момент прикладываемой

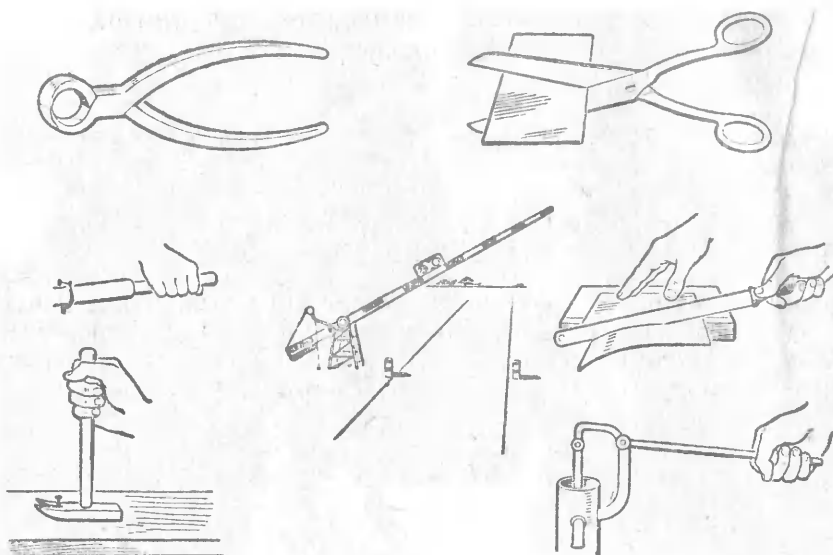


Рис. 48. Различное применение рычагов.

нами силы $F_{\text{дв}}$ (рис. 49, а) равняется моменту силы сопротивления $F_{\text{сопр}}$, т. е.

$$F_{\text{дв}} \cdot l_1 = F_{\text{сопр}} \cdot l_2,$$

где l_1 и l_2 — плечи соответствующих сил.

Из написанной формулы следует, что

$$\frac{F_{\text{дв}}}{F_{\text{сопр}}} = \frac{l_2}{l_1},$$

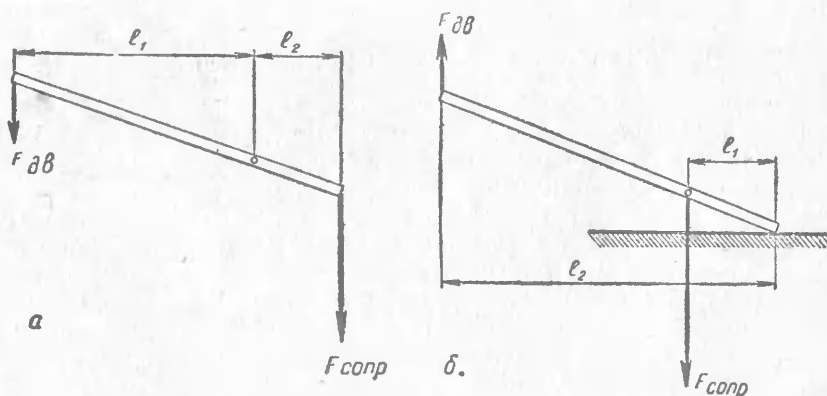


Рис. 49. Условие равновесия рычагов — равенство моментов сил $F_{\text{дв}}$ и $F_{\text{сопр}}$: а — точка опоры рычага расположена между точками приложения сил $F_{\text{дв}}$ и $F_{\text{сопр}}$; б — точка опоры на конце рычага.

т. е. движущая сила и сила сопротивления при равновесии рычага обратно пропорциональны плечам.

Напишите аналогичную формулу, используя рисунок 49, б.

Прикладывая силу $F_{\text{дв}}$ к большему плечу, мы получаем выигрыш в силе, но проигрыш в пройденном пути. В более редких случаях бывает важно, наоборот, выиграть в расстоянии, тогда движущую силу прикладывают к меньшему плечу. Так, например, действуют весло.

Однако, как это видно из рисунка 49, во сколько раз мы выигрываем в силе, во столько же раз проигрываем в расстоянии. Подсчитаем, какую надо было бы совершить работу, чтобы поднять груз в 50 кг на высоту 0,1 м, не пользуясь рычагом. Эту работу часто называют полезной и обозначают $A_{\text{полезн}}$:

$$A_{\text{полезн}} = 50 \cdot 0,1 = 5 \text{ (кгм)}.$$

Найдем работу, которую мы производим, пользуясь рычагом, если l_1 больше l_2 в 5 раз:

$$A_{\text{затр}} = 10 \cdot 0,5 = 5 \text{ (кгм)}.$$

Иными словами, пользуясь рычагом, мы не можем получить выигрыш в работе. Увеличение выигрыша в силе неизбежно влечет за собой соответствующий проигрыш в расстоянии.

Этот закон относится не только к рычагу. Это один из основных законов природы: *невозможно создать такую машину, которая давала бы выигрыш в работе*. Много веков люди стремились создать «вечный двигатель», пока открытие закона о невозможности получить выигрыш в работе не доказало бесплодности и невозможности этих попыток.

§ 38. Блоки. Закон о невозможности создания машины, дающей выигрыш в работе, разберем на примере другого простого механизма — блока.

На рисунке 50 изображен неподвижный блок. Как показывает опыт, для его равновесия необходимо равенство сил $F_{\text{дв}}$ и $F_{\text{сопр}}$. Нетрудно подтвердить это заключение, пользуясь правилом момента сил. Момент силы $F_{\text{дв}}$ равен $F_{\text{дв}} \cdot r$, где r — радиус блока. Момент силы $F_{\text{сопр}}$ равен $F_{\text{сопр}} \cdot r$.

$$F_{\text{дв}} \cdot r = F_{\text{сопр}} \cdot r, \text{ откуда} \\ F_{\text{дв}} = F_{\text{сопр}}.$$

Выигрыша в силе неподвижный блок не дает, его назначение — изменять направление силы.

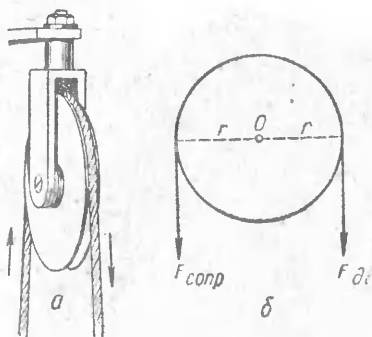


Рис. 50. а — неподвижный блок; б — схема равновесия сил на неподвижном блоке.

Значительно удобнее при подъеме груза тянуть веревку вниз, чем вверх.

И в блоке мы не получаем выигрыша в работе. Вербка, за конец которой тянет человек, проходит такой же путь, на какую высоту поднимается груз. Строго говоря, мы всегда даже проигрываем в работе, так как часть работы движущей силы идет на преодоление трения.

Подвижной блок (рис. 51) состоит из обоймицы, обращенной вниз, к которой подвешивается груз $P = F_{\text{сопр}}$. Один конец веревки, перекинутый через блок, закрепляется в неподвижной точке, за другой конец тянут вверх, прикладывая силу $F_{\text{дв}}$.

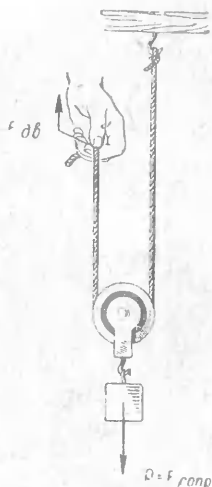


Рис. 51. Подвижной блок.

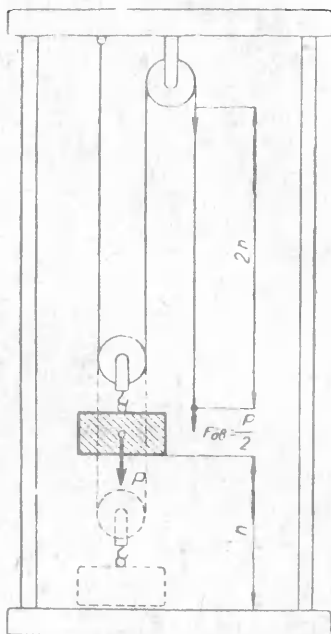


Рис. 52. Соединение подвижного блока с неподвижным.

Так как груз P висит на двух веревках, то каждая из них натягивается силой $\frac{P}{2}$. Следовательно, для равновесия подвижного блока надо приложить силу $F_{\text{дв}}$, вдвое меньшую веса груза P , т. е. $F_{\text{сопр}}$.

При подъеме груза на высоту h веревка, к которой приложена $F_{\text{дв}}$, вытягивается на высоту $2h$. Следовательно, и в этом случае (если не учитывать трения) выигрыш в силе равен проигрышу в пройденном пути, работа же силы $F_{\text{дв}}$ равна работе $F_{\text{сопр}}$, а если принять во внимание трение, а также дополнительную работу по поднятию подвижного блока и различного рода сопротивления, то $A_{\text{дв}} > A_{\text{сопр}}$.

Так как при подъеме груза удобнее тянуть веревку вниз, чем

вверх, обычно используют соединение подвижного блока с неподвижным (рис. 52).

§ 39. Винт. Очень большое распространение получил еще один простой механизм — винт. За один оборот винт перемещается на расстояние, равное его шагу (рис. 53), в то время как конец рукоятки винта проходит путь, равный длине описываемой им окружности. Второй путь значительно больше первого. Мы уже знаем, что во сколько раз мы теряем в пройденном пути, во столько же раз выигрываем в силе. Очевидно, сила,

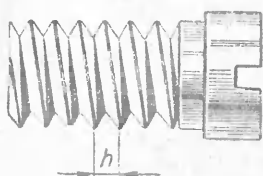


Рис. 53. Винт.
 h — шаг винта.

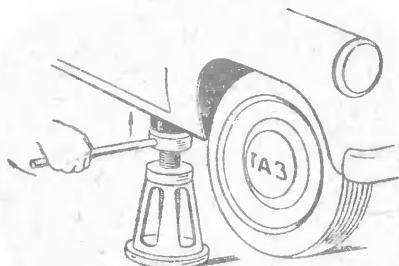


Рис. 54. Домкрат.

приложенная к концу рукоятки винта ($F_{дв}$), во столько раз меньше той силы, с которой винт при своем перемещении преодолевает сопротивление ($F_{сопр}$), во сколько раз шаг винта меньше длины окружности, описываемой концом рукоятки:

$$\frac{F_{дв}}{F_{сопр}} = \frac{h}{2\pi r},$$

где $2\pi r$ — длина окружности радиуса r ($2\pi \approx 6,28$), h — шаг винта.

Рассчитаем, какую силу должны мы прикладывать, поднимая при помощи винтового домкрата (рис. 54) автомобиль, если на домкрат приходится нагрузка 600 кг, шаг винта равен 3 мм, а длина рукоятки 30 см.

$$\frac{F_{дв}}{600} = \frac{0,3}{6,28 \cdot 30}; \quad F_{дв} = \frac{600}{628} \approx 1 \text{ кг}.$$

На самом деле нам надо приложить силу, примерно в 2 раза большую, так как при пользовании винтовым домкратом около 50% совершенной работы идет на преодоление трения.

§ 40. Наклонная плоскость. При подъеме груза на некоторую высоту часто пользуются наклонной плоскостью (рис. 55). Как и всякий простой механизм, она чаще всего применяется для выигрыша в силе.

Если бы мы непосредственно поднимали груз P на высоту h , мы совершали бы работу, равную $P \cdot h$. Для перемеще-

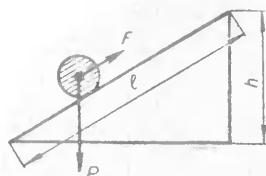


Рис. 55. Схема наклонной плоскости.

ния этого тела по наклонной плоскости мы прикладываем силу F , которая при передвижении груза по длине l совершает работу Fl . Если не учитывать трения, то

$$Fl = Ph$$

или

$$\frac{F}{P} = \frac{h}{l},$$

т. е. мы выигрываем в силе во столько раз, во сколько высота наклонной плоскости меньше ее длины.

Рассчитайте, какую дополнительную силу тяги должен развивать автомобиль весом 3000 кг при подъеме на гору высотой 10 м и длиной 300 м. (Ответ: 100 кг.)

§ 41. Коэффициент полезного действия механизмов. Мы уже отмечали, что при использовании любого простого механизма часть совершенной работы идет на преодоление трения и разного рода сопротивлений, поэтому затраченная работа всегда больше полезной.

Число, показывающее, какую часть полезная работа составляет от затраченной, называется коэффициентом полезного действия механизма (сокращенно к. п. д.).

$$\text{к. п. д.} = \frac{A_{\text{полезн.}}}{A_{\text{затр.}}}$$

Найдем к. п. д. подвижного блока, если при подъеме груза в 90 кг на высоту 5 м измеренная динамометром сила тяги оказалась равной 50 кг.

Полезная работа $A_{\text{полезн.}} = 90 \cdot 5 = 450$ (кгм). Затраченная работа $A_{\text{затр.}} = 50 \cdot 2 \cdot 5 = 500$ (кгм) (так как при применении подвижного блока мы проигрываем в пути в 2 раза):

$$\text{к. п. д.} = \frac{450}{500} = 0,9, \text{ или } 90\%.$$

Это означает, что 90% совершенной работы пошло на поднятие груза, а остальные 10% составили неизбежные потери (преодоление трения, подъем самого подвижного блока и проч.).

Еще пример. Какую силу надо приложить к рукоятке винтового домкрата длиной 32 см для подъема вагона трамвая, если на него приходится нагрузка 2000 кг, шаг винта 4 мм, а к. п. д. домкрата 40%.

Найдем полезную работу за один оборот рукоятки:

$$A_{\text{полезн.}} = P \cdot h = 2000 \cdot 0,004 = 8 \text{ (кгм)}.$$

Но по условию задачи $A_{\text{полезн.}}$ составляет 40%, или 0,4 от затраченной работы. Следовательно,

$$A_{\text{затр.}} = \frac{8 \cdot 100\%}{40\%} = 20 \text{ (кгм)}.$$

Путь, пройденный силой тяги (рукой за один оборот), равен $0,32 \text{ м} \cdot 6,28 \approx 2 \text{ м}$. Зная совершенную работу и пройденный путь, найдем силу $F_{\text{дв.}}$:

$$F_{\text{дв.}} = \frac{20}{2} = 10 \text{ (кг)}.$$

Кроме к. п. д. механизмов, важной характеристикой является *механическая выгода*, т. е. отношение развиваемой ими силы к силе, вызывающей движение механизма.

В только что рассмотренном примере механическая выгода (z)

$$z = \frac{2000}{10} = 200.$$

Ответьте на следующие вопросы и решите задачи:

1. Почему гайку легче отвернуть более длинным гаечным ключом?
2. На рисунке 56 показана гоночная лодка. Какую цель преследует установка уключин не на борту лодки, а отступя от борта?
3. Найти к.п.д. и механическую выгоду подвижного блока, если для подъема детали весом 50 кг требуется приложить силу 28 кг. (Ответ: $\sim 89\%$; $\sim 1,8$.)

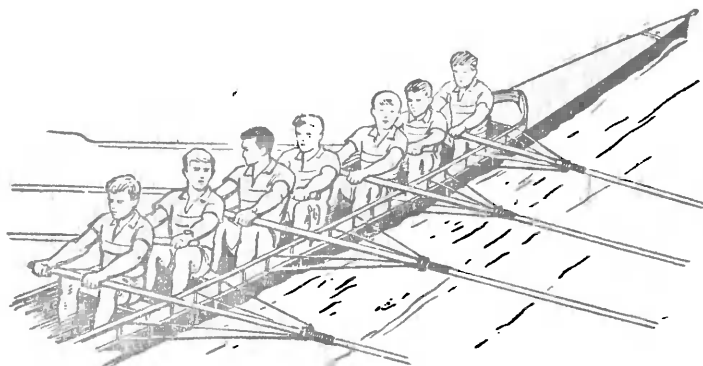


Рис. 56. Гоночная лодка.

4. Ящик весом 90 кг втаскивают по наклонной плоскости высотой 1 м и длиной 4 м. Какую надо приложить силу, если к.п.д. равен 75%? Какова механическая выгода? (Ответ: 30 кг; 3.)
5. Каков к. п. д. винтового пресса, если, для того чтобы подействовать на сжимаемую деталь силой 12 Т, надо приложить к рукоятке длиной 40 см силу 50 кг? Шаг винта 5 мм. (Ответ: $\sim 48\%$.)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Определение к. п. д. наклонной плоскости

При помощи динамометра (рис. 57) равномерно двигайте брусок по наклонной плоскости. По показанию динамометра определите силу тяги F , взвесьте брусок и запишите его вес P . Измерьте линейкой высоту h и длину l наклонной плоскости.

Найдите полезную и затраченную работу:

$$A_{\text{полезн}} = P \cdot h; \quad A_{\text{затр}} = F \cdot l$$

— и вычислите к.п.д., выразив его в процентах:

$$\text{к. п. д.} = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{затр}}}.$$

Ответьте на вопросы:

1. Зависит ли к.п.д. наклонной плоскости от угла наклона? Чтобы ответить, проделайте работу с тем же бруском три раза, изменяя каждый раз высоту и находя к.п.д. при различных углах наклона.

2. Зависит ли к.п.д. от веса поднимаемого тела? Для этого при одной и той же высоте три раза поднимайте брусок, нагружая его различными гирями.

3. Зависит ли к.п.д. от коэффициента трения? На этот вопрос ответьте, проведя соответствующие рассуждения, и наметьте, как можно было бы проверить сделанный вывод на опыте.

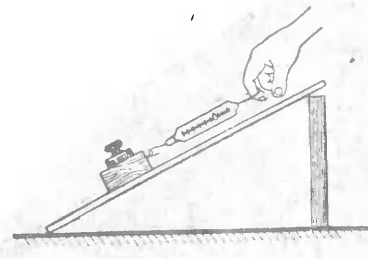


Рис. 57. Оборудование к лабораторной работе.

§ 42. Виды передач вращательного движения. Для передачи вращательного движения от двигателя к рабочим частям машины или от одной части машины к другой существуют механизмы, называемые передачами. Рассмотрим некоторые наиболее распространенные виды передач.

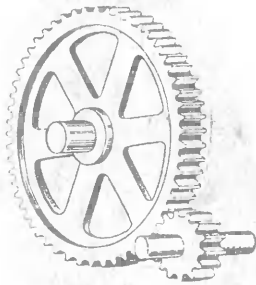


Рис. 58. Зубчатая передача.

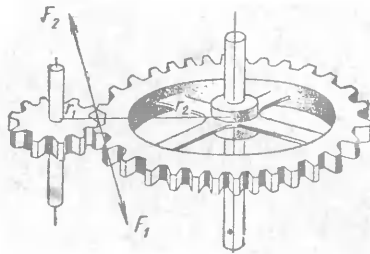


Рис. 59. Силы F_1 и F_2 , приложенные к соприкасающимся зубьям большой и малой шестерен, одинаковы, но радиусы шестерен r_1 и r_2 различны.

Зубчатая передача. В зубчатой передаче (рис. 58) применяются зубчатые колеса или шестерни. Шестерня, передающая движение, называется *ведущей*, а принимающая движение — *ведомой*. Частота вращения шестерни, т. е. число ее оборотов за единицу времени (за 1 сек или 1 мин) зависит от числа зубьев на ней.

Покажите рассуждением, что частота вращения каждой из сцепленных шестерен обратно пропорциональна числу имеющихся на ней зубьев.

Пользуясь зубчатой передачей, мы изменяем вращающий момент, так как силы (рис. 59), действующие на соприкасающиеся зубья шестерен, одинаковы (закон действия и противодействия), а плечи (радиусы шестерен) разные. Чем больше радиус шестерни, а следовательно, и число зубьев на ней, тем больший

вращающий момент мы получаем. Следовательно, для выигрыша во вращающем моменте передачу ведут от малой шестерни к большей, причем в этом случае мы проигрываем в скорости.

При передаче вращения от большей шестерни к малой выигрывают в скорости, но во столько же раз проигрывают во вращающем моменте.

Приведите из вашей практики примеры применения зубчатой передачи для выигрыша во вращающем моменте и для выигрыша в скорости.

Для чего используются зубчатые передачи, изображенные на рисунках 60 и 61?

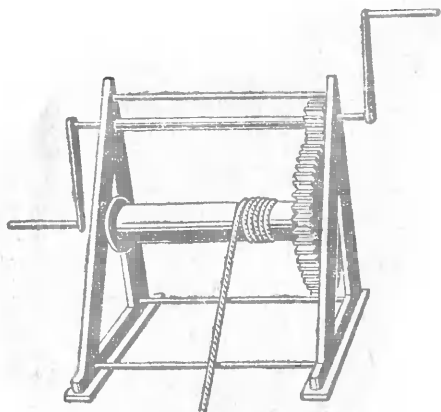


Рис. 60. Лебедка.

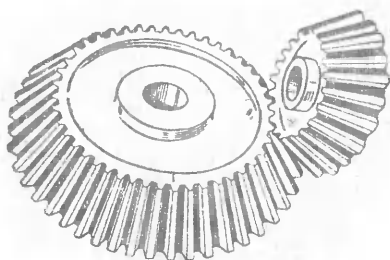


Рис. 61. Перемена направления вращения при помощи зубчатой передачи.

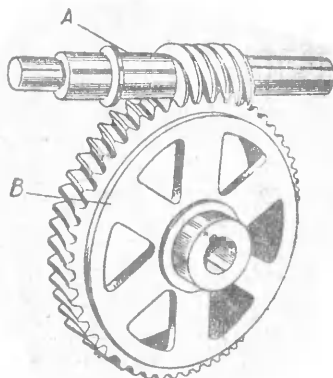


Рис. 62. Червячная передача:
А — червяк, В — шестерня.

Решите задачу. Вращающаяся часть двигателя электровоза совершает $720 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$. Ведущая шестерня имеет 20 зубьев, а ведомая — 80. Найдите частоту вращения ведомой шестерни и вычислите, во сколько раз и как изменится вращающий момент в этой передаче. (Ответ: $180 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$; увеличится в 4 раза.)

Червячная передача. Червячная передача (рис. 62) применяется для многократного выигрыша во вращающем моменте, конечно, за счет соответствующего проигрыша в скорости. Как правило, движение передается от червяка А — цилиндрического колеса с винтовой резьбой — к ведомой шестерне В. За один оборот червячного вала ведомая шестерня поворачивается на один зубец. Чтобы ведомый вал сделал один полный

оборот, ведущий должен сделать столько оборотов, сколько зубьев имеет шестерня, поэтому мы во много раз проигрываем в частоте вращения, соответственно выигрывая во вращающем моменте. Обратите внимание, что при червячной передаче ведущая и ведомая оси взаимно перпендикулярны.

Коэффициент полезного действия червячной передачи, определяющий процент передачи мощности от ведущего вала к ведомому, составляет 30—80%, что значительно ниже, чем при зубчатой передаче (90—98%).

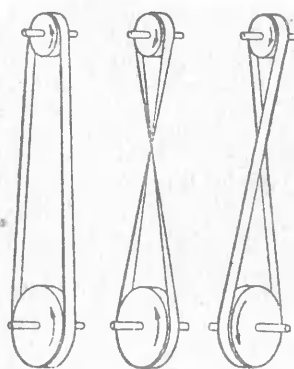


Рис. 63. Различные типы ременных передач.

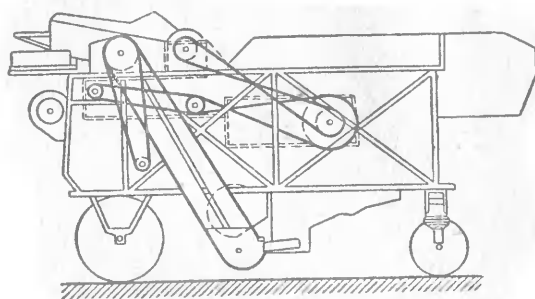


Рис. 64. Схема расположения ременных передач у молотилки МК-1-100.

Фрикционная передача. В фрикционной передаче используется трение. Она имеет низкий к. п. д. (не выше 70—80%) и применяется значительно реже зубчатой, так как может передавать только небольшие мощности, ввиду неизбежного проскальзывания при возникновении больших сил.

На рисунке 66 показано применение в швейной машине фрикционной передачи. Шпулькоматка *D* приводится в действие вращением колеса *C*.

Ременная передача. В ременной передаче движение от ведущего шкива (рис. 63) к ведомому осуществляется при помощи бесконечного ремня посредством трения, поэтому она также применяется при передаче не очень больших мощностей.

Преимущество этой передачи заключается в том, что ведущий и ведомый валы могут быть достаточно удалены друг от друга. Она применяется во многих сельскохозяйственных машинах (рис. 64), станках (рис. 65).

Линейные скорости поверхностей шкивов, соприкасающихся с ремнем, одинаковы, т. е. $v_1 = v_2$, или $2\pi r_1 n_1 = 2\pi r_2 n_2$, где n_1 и n_2 — число оборотов, r_1 и r_2 — соответствующие радиусы шкивов, а D_1 и D_2 — их диаметры,

откуда
$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{D_1}{D_2}.$$

Следовательно, частоты вращения шкивов обратно пропорциональны их диаметрам.

Найдите, какова частота вращения ведомого шкива (см. рис. 63) с диаметром 12 см, если ведущий шкив с диаметром 60 см делает $90 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$.

Рассчитайте частоту вращения ведомого колеса шпулькоматалки швейной машины (рис. 66), если число зубьев ведущей шестерни A — 30, ведомой B — 10, диаметр ведущего колеса C , сидящего на одном валу с ведомой шестерней, — 12 см, диаметр ведомого колеса D — 3 см и швея вращает рукоятку с частотой $30 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$. (Ответ: $360 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$.)

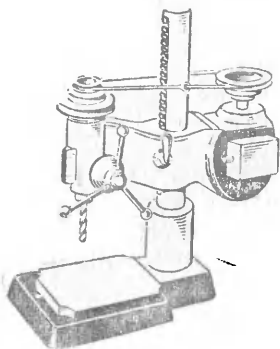


Рис. 65. Ременная передача у станка. Перемещение ремня с одного шкива на другой позволяет менять число оборотов.

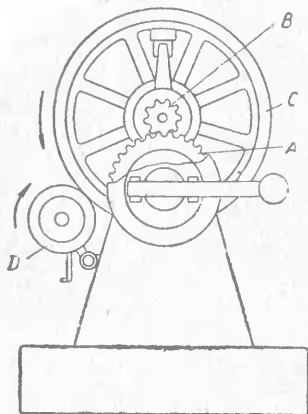


Рис. 66. К задаче на расчет частоты вращения ведомого колеса шпулькоматалки швейной машины.

§ 43. Механическая энергия. На рисунке 67 показаны два положения ударной части кузнечного молота. Чтобы перевести ее из положения I в положение II , надо совершить работу, равную произведению веса ударной части P на высоту поднятия h . Наоборот, при переходе ее из положения II в положение I будет совершаться работа, равная Ph . Говорят, что ударная часть молота, поднятая на высоту h , обладает энергией по отношению к своему первоначальному положению, равной Ph .

Слово «энергия» происходит от греческого слова «энергея» — деятельность. В обычной жизни мы называем энергичным деятельного, работоспособного человека. В подобном же смысле употребляется слово «энергия» и в физике.

Энергия — это свойство тела совершать

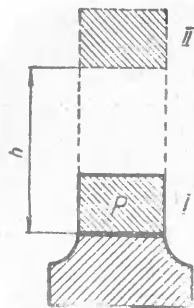


Рис. 67. Потенциальная энергия молота в положении II больше, чем в положении I .

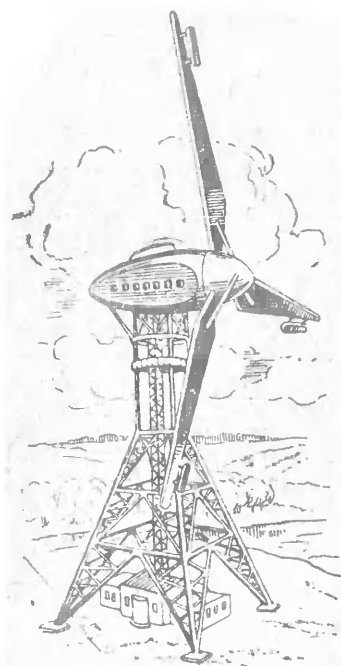


Рис. 68. Современный мощный ветродвигатель.

работу при переходе его из данного состояния в некоторое другое (условно принятое за нормальное состояние).

Единицы измерения энергии те же, что и для измерения работы, т. е. джоуль и килограмметр.

При заводе часов с пружиной мы совершаем работу, закручивая пружину. При этом она приобретает энергию, за счет которой будет совершаться работа при движении механизма часов.

Рассмотренный вид энергии у поднятой на некоторую высоту ударной части молота и деформированной пружины носит название *потенциальной* (от латинского слова «потенция» — возможность). *Потенциальная энергия зависит от взаимного расположения взаимодействующих тел или их частей.*

Другой вид механической энергии носит название *кинетической энергии* («кинема» — по-гречески — движение). *Кинетическая энергия — это энергия движущегося тела.*

Действительно, чтобы телу сообщить некоторую скорость, необходимо произвести работу; в свою очередь движущееся тело само может совершать работу, т. е. оно обладает энергией.

От чего же зависит кинетическая энергия? Чем больше масса движущегося тела и скорость его движения, тем большую работу оно может совершить. В дальнейшем вы узнаете, что кинетическая энергия тела W определяется формулой $W = \frac{mv^2}{2}$, где m — масса тела, v — скорость его движения.

Приведите примеры из вашей практики, подтверждающие то, что величина кинетической энергии зависит от массы тела и скорости его движения.

Жидкости и газы, так же как и твердые тела, могут обладать энергией. Вода, находящаяся на некоторой высоте, по сравнению с ее уровнем перед плотиной, обладает запасом потенциальной энергии. Текущая вода имеет соответствующую кинетическую энергию. Вспомните многочисленные гидроэлектрические станции, имеющиеся в нашей стране. Они используют водную энергию.

Кинетическая энергия ветра служит для приведения в движение ветродвигателей (рис. 68). Однако ветер часто дует порывами, что, очевидно, должно влиять на работу ветродвигателя. Чтобы избежать неравномерности его вращения, используют так называемый инерционно-кинетический аккумулятор (накопитель энергии), представляющий собой вращающийся на оси массивный маховик. При кратковременном ослаблении ветра маховик вращается за счет накопленной им кинетической энергии.



Г. Гельмгольц
(1821—1894):

§ 44. Закон сохранения и превращения энергии. Рассмотрим, какие превращения энергии происходят при выстреле из школьного пружинного «пистолета». Сжимая пружину, мы совершаем работу, за счет которой пружина приобретает запас потенциальной энергии. При освобождении пружины она распрямляется, сообщая некоторую скорость «снаряду»-шарику, который приобретает при этом соответствующую кинетическую энергию.

По мере поднятия уменьшается его скорость, а следовательно, и его кинетическая энергия, но соответственно увеличивается потенциальная энергия. В самой верхней точке шарик на мгновение останавливается — вся его кинетическая энергия превращается в потенциальную. При падении, наоборот, потенциальная энергия шарика переходит в кинетическую.

Мы рассмотрели процессы превращения механической энергии. В дальнейшем мы познакомимся с другими видами энергии и узнаем, что *все явления природы, сопровождаются превращениями энергии из одного вида в другой или передачей энергии от одного тела другому.*

Многочисленные неудачные попытки создания «вечного двигателя», т. е. такого двигателя, который мог бы производить работу, не затрачивая энергии, а также изучение процессов различного рода превращений энергии привели к заключению о сохранении энергии. *Энергия не создается и не уничтожается, а только переходит из одного вида в другой и передается от одних тел другим.*

Закон сохранения и превращения энергии — это важнейший закон природы. Он был впервые предсказан М. В. Ломоносовым и окончательно установлен Г. Гельмгольцем в 1847 г.



Б. Паскаль
(1623—1662).

СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

§ 45. Передача давления жидкостями и газами. Повторите § 26 и вспомните, как передают давление твердые тела.

Закон передачи давления жидкостями и газами был открыт французским ученым Б. Паскалем в 1653 г.: *жидкости и газы передают производимое на них давление по всем направлениям без изменения.*

Рассмотрим применение этого закона на упрощенной модели машины, называемой гидравлическим прессом (рис. 69). Он состоит из двух цилиндров различного диаметра, наполненных жидкостью и соединенных трубкой.

Пусть на малый поршень, площадь которого $S_1 = 2 \text{ см}^2$, мы действовали внешней силой $F_1 = 10 \text{ кг}$. Тогда он будет производить на жидкость давление

$$p = \frac{F_1}{S_1} = \frac{10}{2} = 5 \left(\frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \right).$$

Это давление, по закону Паскаля, будет передаваться по всем направлениям без изменения, т. е. на любую площадку (A , B , C , D) стенок цилиндра, соединительной трубки и большого поршня размером в 1 см^2 будет действовать сила давления в 5 кг . Рассчитаем, с какой силой F_2 будет действовать жидкость на весь большой поршень, если его площадь $S_2 = 50 \text{ см}^2$.

$$F_2 = pS_2 = 5 \cdot 50 = 250 \text{ (кг)},$$

$$\text{т. е. } \frac{F_2}{F_1} = \frac{250}{10} = 25, \text{ но } \frac{S_2}{S_1} = \frac{50}{2} = 25,$$

$$\text{следовательно, } \frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}.$$

В зависимости от соотношения площадей S_2 и S_1 гидравлический пресс дает соответствующий выигрыш в силе.

Закон Паскаля можно обосновать теоретически, используя закон сохранения энергии.

Пусть малый поршень под действием силы F_1 опустился на высоту h_1 . При этом была совершена работа $A_1 = F_1 \cdot h_1$, и объем жидкости $V_1 = S_1 h_1$ перешел в большой цилиндр. Большой поршень под действием силы F_2 поднялся на высоту h_2 , работа, совершенная при этом, равнялась $A_2 = F_2 h_2$, а жидкость, перешедшая из малого цилиндра в большой, заняла там объем $V_2 = S_2 \cdot h_2$.

Из закона сохранения энергии следует, что $A_1 = A_2$, или

$$F_1 \cdot h_1 = F_2 \cdot h_2, \quad \text{откуда} \quad \frac{F_2}{F_1} = \frac{h_1}{h_2}. \quad (*)$$

Так как жидкость практически можно считать несжимаемой, то $V_1 = V_2$ или $S_1 h_1 = S_2 h_2$, откуда

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{h_1}{h_2}. \quad (**)$$

Так как правые части равенств (*) и (**) одинаковы, то

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1},$$

или

$$\frac{F_2}{S_2} = \frac{F_1}{S_1}.$$

Но $\frac{F_2}{S_2} = p_2$; а $\frac{F_1}{S_1} = p_1$, т. е. $p_2 = p_1$.

Следовательно, давление передалось без изменения.

Рассчитайте, с какой силой действует жидкость на большой поршень и какая совершается работа, если площадь малого поршня $S_1 = 8 \text{ см}^2$, площадь большого поршня $S_2 = 16 \text{ дм}^2$ и малый поршень под действием силы $F_1 = 24 \text{ кг}$ опустился на $h_1 = 5 \text{ см}$.

Сопоставьте передачу давления твердыми телами (§ 26) и жидкостями.

Закон Паскаля применим также и к газам. На рисунках 70 и 71 показаны приборы, иллюстрирующие это.

Решите задачу. С какой силой давит воздух на внутреннюю поверхность футбольного мяча, равную 1000 см^2 , если площадь поршня ручного насоса для нагнетания воздуха в камеру мяча равна 4 см^2 и на него действуют с силой 8 кг ? (Ответ: 2000 кг .)

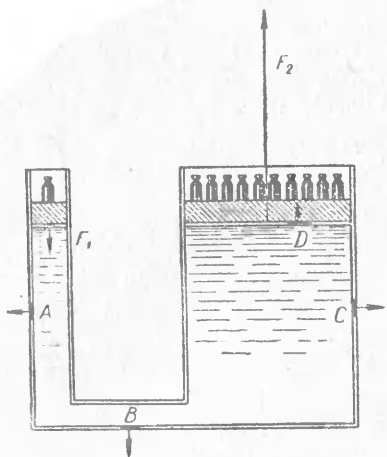


Рис. 69. Схема гидравлического пресса.

§ 46. Давление жидкости на дно и стенки сосуда. Выясним сначала, каково давление жидкости на дно и стенки сосуда, а потом и на погруженное в нее тело.

Для исследования давления жидкости служит прибор, изображенный на рисунке 72. Небольшая воронка, одна сторона которой затянута резиновой пленкой, при помощи резиновой трубки соеди-

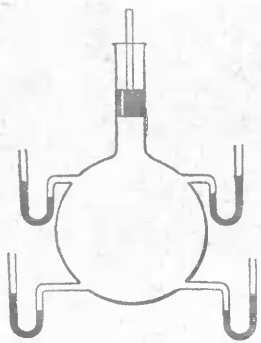


Рис. 70. При сжатии воздуха ртуть поднимается во всех трубочках одинаково.

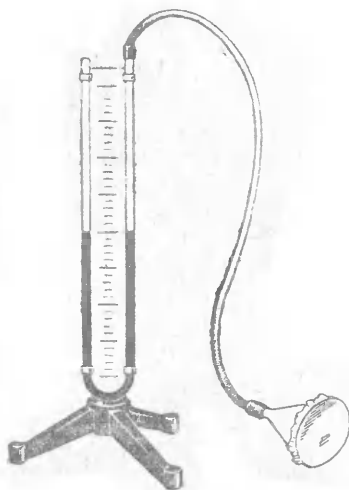


Рис. 72. Прибор для измерения давления внутри жидкости.



Рис. 71. Шар Паскаля.

нена с измерительным прибором — манометром¹. Чем большее давление будет произведено на резиновую пленку, тем больше будет разность уровней жидкости (h) в коленях манометра. Используя этот прибор, можно убедиться, что давление жидкости возрастает с глубиной, а на одной и той же глубине H одинаково для всех направлений. На рисунке 73 показаны различные положения воронки. Какой можно сделать вывод, рассматривая рисунок?

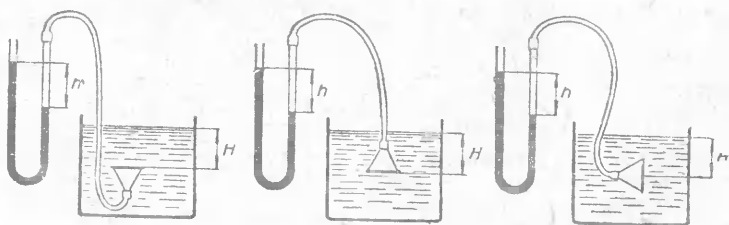


Рис. 73. Давление жидкости для определенной глубины одинаково во всех направлениях.

¹ Описание его дано в § 50.

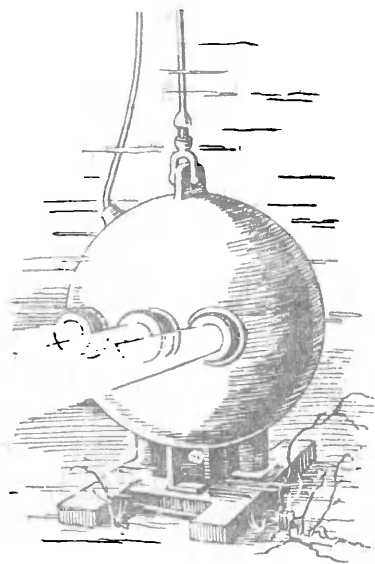


Рис. 74. Батисфера.

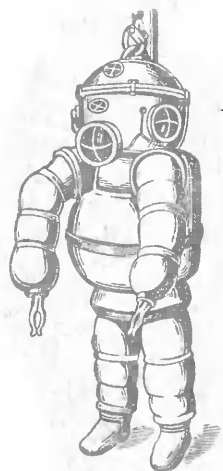


Рис. 76. Водолаз-
ный костюм для
глубоководных ра-
бот.

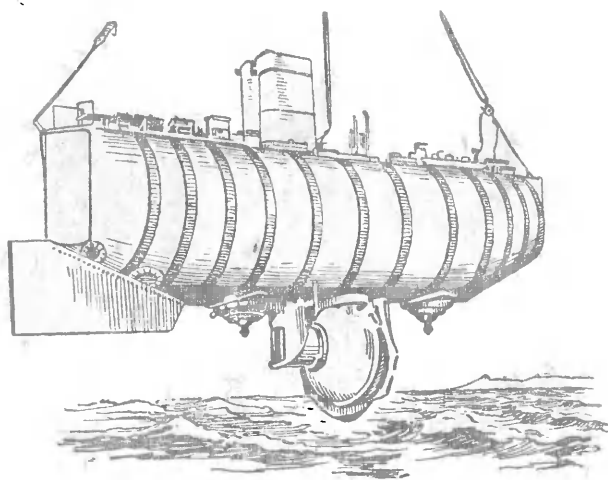


Рис. 75. Батискаф.

Давление жидкости на дно сосуда не зависит от его формы и количества жидкости в нем, а только от высоты столба жидкости над дном сосуда H и от удельного веса самой жидкости d и вычисляется по формуле:

$$p = d \cdot H.$$

Для исследований в морях и океанах на больших глубинах используются опускаемые на тросе с корабля батисферы (рис. 74) и батискафы (рис. 75), имеющие собственный двигатель. На рисунке 76 показан водолазный костюм для глубоководных работ.

Рассчитаем, какое давление воды испытывает стенка батискафа на глубине 4 км, какова сила давления на стекло прожектора площадью в 10 дм^2 .

Удельный вес морской воды $d = 1,03 \frac{\Gamma}{\text{см}^3}$, а высота столба в 4 км, выраженная в сантиметрах, составляет 400 000 см.

$$p = dH = 1,03 \cdot 400\,000 = 412\,000 \left(\frac{\Gamma}{\text{см}^2} \right) \approx 410 \left(\frac{\kappa\Gamma}{\text{см}^2} \right).$$

На площадь в $S = 10 \text{ дм}^2 = 1000 \text{ см}^2$ сила давления составит

$$F = pS = 410 \cdot 1000 = 410\,000 (\kappa\Gamma), \text{ или } 410 (T).$$

§ 47. Сообщающиеся сосуды. Жидкость, налитая в сообщающиеся сосуды (рис. 77), независимо от их формы и емкости устанавливается на одном уровне.

Докажите это, используя формулу для расчета давления жидкости ($p_1 = p_2$).

Сообщающимися сосудами являются колена жидкостного манометра (см. рис. 72), водомерное стекло парового котла (рис. 78).

На принципе равновесия однородной жидкости в сообщающихся сосудах основано устройство водо-

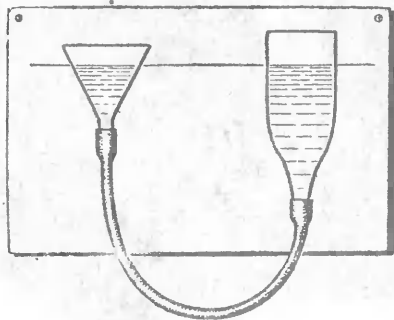


Рис. 77. В сообщающихся сосудах жидкость устанавливается на одном и том же уровне.

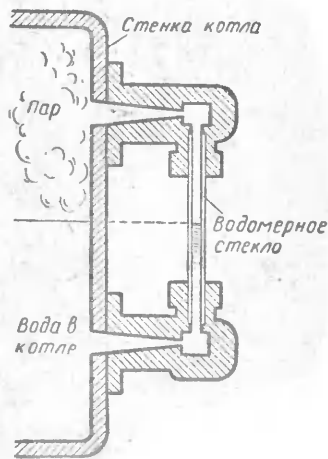


Рис. 78. Водомерное стекло.

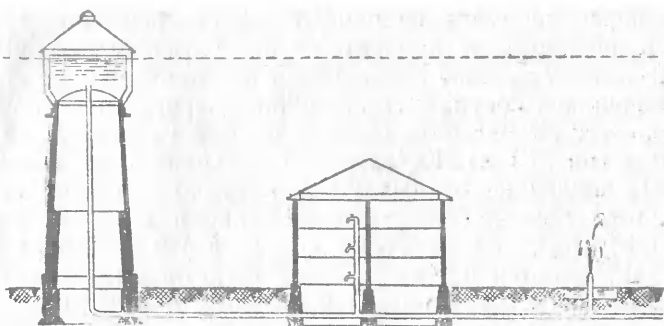


Рис. 79. Схема простейшего водопровода.

проводов простейшего типа (рис. 79). В бак или бассейн, расположенный выше окружающих зданий, накачивается вода, которая затем по трубам проводится до верхних этажей домов. Бассейн и поднимающиеся вверх трубы в отдельных зданиях представляют собой систему сообщающихся сосудов, в которых вода стремится стоять на одинаковой высоте. Если в одной из труб, идущих из бассейна, сделать небольшое отверстие, то вода из него будет бить фонтаном, стремясь достичь той высоты, которую она имеет в бассейне. Однако трение при движении воды по трубам и сопротивление воздуха вызывают уменьшение высоты ее поднятия.

В некоторых местностях фонтан можно получить, пробуравив в почве достаточно глубокую скважину. Может случиться, что дождевая вода, просачиваясь сквозь верхний слой почвы, попадает между двумя слоями глины или другого водонепроницаемого грунта. Если сделать скважину в верхнем водонепроницаемом слое в месте, расположенном в низине, то вода будет бить из скважины фонтаном, стремясь достичь уровня, который она имеет в соседних, более высоких местах. Источники подобного рода получили название артезианских колодцев (рис. 80).

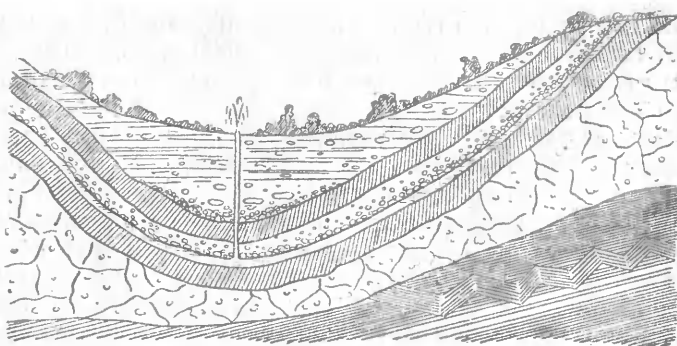


Рис. 80. Артезианский колодец.

Для перевода судов из одного участка реки или канала в другой с различными горизонтами воды пользуются шлюзами, действие которых также основано на принципе равновесия воды в сообщающихся сосудах. Пусть нужно перевести судно из участка реки *А* с высоким горизонтом воды в участок *В*, где горизонт ниже (рис. 81, *а*). Когда судно подходит к шлюзовым воротам № 1, последние открываются, и судно свободно входит в камеру, где уровень воды такой же, как и в верхнем участке (рис. 81, *б*). Как только судно вошло в камеру, ворота № 1 плотно закрываются и открывается отверстие (заслонка), через которое вода из камеры постепенно вытекает в нижний участок, пока уровень воды в ней не сравняется с горизонтом в этом участке. Тогда открывают ворота № 2, и судно переходит в нижний участок *В* (рис. 81, *в, г*).

Объясните, как следует поступить, чтобы перевести судно из участка реки *В* в участок *А*.

На рисунке 82 изображен трехкамерный шлюз.

В нашей стране много шлюзованных водных путей. Из них отметим Беломорско-Балтийский канал, соединяющий Онежское озеро с Белым морем, который был построен в предельно короткий срок — 1 год 8 месяцев. Канал имеет длину 227 км при 19 шлюзах. Канал имени Москвы протяжением 128 км соединяет реку Волгу с Москвой-рекой и имеет 9 шлюзов. Волго-Донской судоходный канал имени В. И. Ленина длиной 101 км имеет 13 шлюзов. Его верхняя часть лежит на 88 м выше уровня воды в Волге и на 44 м выше уровня воды Дона (рис. 83). Подъем воды в шлюзовые камеры производится мощными насосами.

§ 48. Атмосферное давление. Когда окружающий нас воздух неподвижен, мы не замечаем его присутствия, однако убедиться в существовании воздуха очень просто — стоит резко взмахнуть рукой около лица, и мы почувствуем его движение. *Слой воздуха, окружающий Землю, носит название атмосферы.*

Многочисленные факты заставляют нас прийти к заключению, что толщина атмосферы не менее 3000 км, впрочем, резкой границы атмосферы нет, так как по мере поднятия вверх воздух делается все реже и реже.

Воздух, так же как и все тела, имеет вес, а потому естественно предположить, что он, подобно жидкости, должен производить давление на поверхность Земли и на все тела, находящиеся на ней. Для проверки этого предположения необходимо создать такие условия, чтобы с одной стороны какой-нибудь поверхности был удален воздух. Откачивая воздух из сосуда, затянутого резиновой пленкой, мы замечаем, что пленка прогибается (рис. 84), причем на результат опыта не влияет расположение сосуда: вверх пленкой, вбок или вниз. Объясните причину этого, используя закон Паскаля.

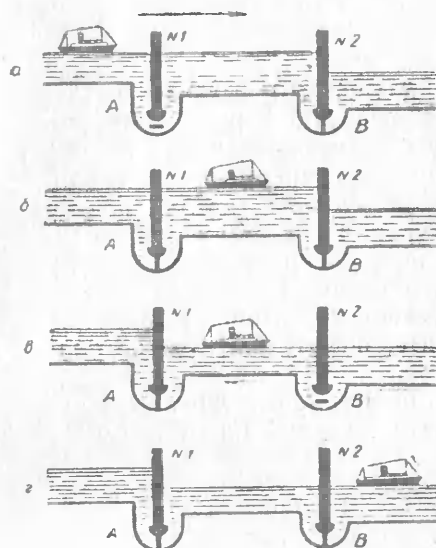


Рис. 81. Схема шлюзования судна.

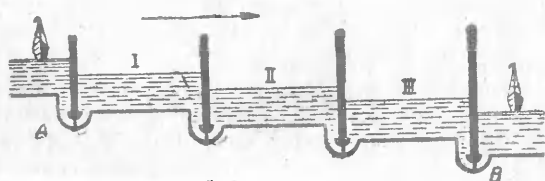


Рис. 82. Схема трехкамерного шлюза.

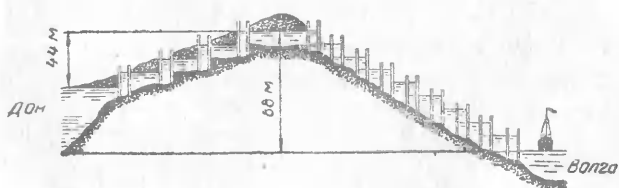


Рис. 83. Схема расположения шлюзов Волго-Донского судоходного канала имени В. И. Ленина.

Прodelайте сами еще такой опыт. Возьмите стакан, наполните его водой, положите на поверхность воды плотный лист бумаги и, придерживая его рукой, переверните стакан. Если вы затем отнимете руку, то заметите, что вода не выльется из стакана (рис. 85). Очевидно, воздух давит на бумагу снизу с силой, которая больше, чем сила давления столба воды в стакане сверху вниз.

Если из сосуда *P* (рис. 86) выкачать воздух, закрыть кран *q* трубки *a*, затем конец этой трубки погрузить в воду, то при открытии крана *q* вследствие давления атмосферы вода с силой устремится по трубе и начнет бить фонтаном.

Две чугунные неглубокие тарелки плотно прижимаются друг к другу хорошо прошифованными краями, и из пространства между ними выкачивается воздух (рис. 87, *a* и *b*).

Попробуйте теперь их оторвать одну от другой и объясните, почему вам это не удастся.

В XVII столетии в г. Магдебурге (Германия) был проделан подобный опыт. Несколько

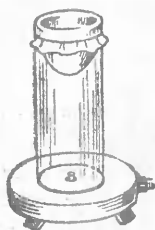


Рис. 84. Резиновая пленка вдавливается внутрь сосуда, из которого выкачивается воздух.



Рис. 85. Вода не выливается из стакана, закрытого листом бумаги.

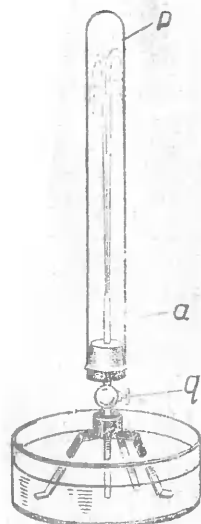


Рис. 86. Вода бьет фонтаном в сосуд с разреженным воздухом.

ко лошадей не могли оторвать полушария. При впуске же воздуха в полушария они легко разъединялись.

Каково же давление атмосферы? Чтобы дать ответ на этот вопрос, сделаем опыт, впервые произведенный в 1640 г. итальянцем Торричелли, учеником Галилея.

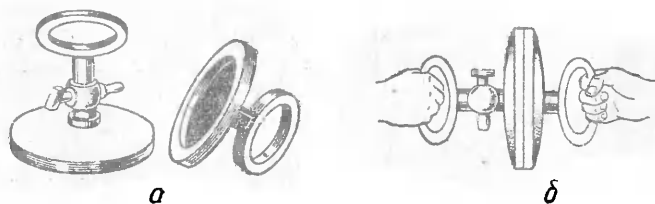


Рис. 87. Опыт с магдебургскими тарелками.

Возьмем стеклянную трубку длиной около 1 м, запаянную с одного конца и открытую с другого, напомним ее ртутью и, закрыв открытый конец пальцем, погрузим ее в сосуд с этой же жидкостью (рис. 88). Отняв палец, мы заметим, что уровень ртути в трубке понизится и установится на некотором определенном горизонте.

На поверхность ртути в открытой части сосуда давит атмосферный воздух, внутри же трубки воздуха нет и давление производит только столб ртути, уравнивающий давление атмосферы. Измерим высоту столба ртути в трубке; при нормальных условиях на уровне моря она окажется равной 76 см.

Атмосферное давление принято измерять в сантиметрах или миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.).

Для пересчета атмосферного давления, выраженного в мм рт. ст., в известные нам единицы кГ/см^2 надо воспользоваться формулой $p = dh$. Подставляем вместо d — удельный вес ртути $13,6 \text{ Г/см}^3$, вместо h — 76 см.

$$13,6 \cdot 76 \approx 1033 \text{ (Г/см}^2\text{)}, \text{ или } 1,033 \text{ (кГ/см}^2\text{)}.$$

Грубо говоря, можно считать, что атмосферное давление¹ при нормальных условиях составляет около 1 кГ/см^2 , или $10\,000 \text{ кГ/м}^2$, или приблизительно $100\,000 \text{ н/м}^2$. Оно изменяется в зависимости от состояния погоды и уменьшается с поднятием над поверхностью Земли. На высоте 10 км оно падает до 200 мм рт. ст., на высоте 20 км до 54 мм рт. ст., на высоте 30 км до 14 мм рт. ст., а на высоте 40 км до 4 мм рт. ст.

§ 49. Барометры. Опыт Торричелли послужил основой для создания барометров — приборов, предназначенных для измерения атмосферного давления.

В чашечном барометре (рис. 89) атмосферное давление измеряется по разности высот уровней ртути в трубке и чашке с ртутью. В сифонном барометре (рис. 90) по разности уровней в закрытом (длинном) колене и открытом (коротком).

Кроме ртутных барометров, весьма распространены анероиды². Внешний вид его показан на рисунке 91, а рисунок 92 показывает принцип его действия. Верхняя часть металлической коробочки, из которой выкачан воздух, оттягивается стальной



Рис. 88. Опыт Торричелли.

¹ В технике давление $1 \frac{\text{кГ}}{\text{см}^2}$ носит название технической атмосферы и обозначается ат. Давление же в 76 см рт. ст. именуется физической атмосферой и обозначается атм.

² Слово «анероид» в переводе с греческого языка буквально значит «безжидкостный», так как он не содержит ртути.

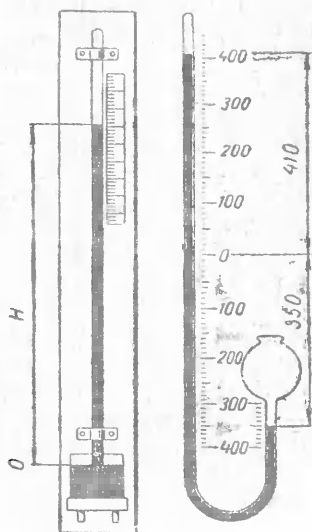


Рис. 89. Чашечный барометр.

Рис. 90. Сифонный барометр.



Рис. 91. Анероид.

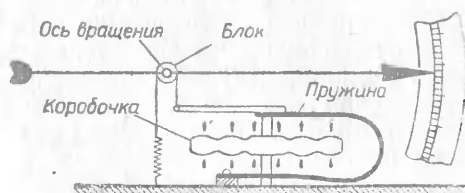


Рис. 92. Упрощенная схема действия анероида.

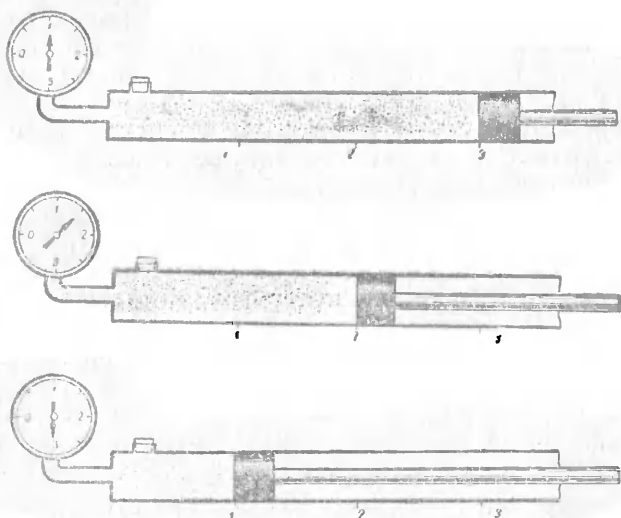


Рис. 93. Изменение давления газа при изменении его объема (температура постоянная).

пружиной. При возрастании атмосферного давления поверхность коробочки увеличивает свой прогиб, вследствие чего пружина опускается. Движение конца пружины с помощью передаточного механизма дает возможность стрелке перемещаться по шкале. Уменьшение атмосферного давления заставляет пружину и стрелку двигаться в противоположном направлении.

§ 50. Связь давления газа с его объемом. Манометры. На опыте легко убедиться, что при уменьшении объема воздуха или какого-нибудь другого газа его давление увеличивается, а при увеличении объема — уменьшается (рис. 93).

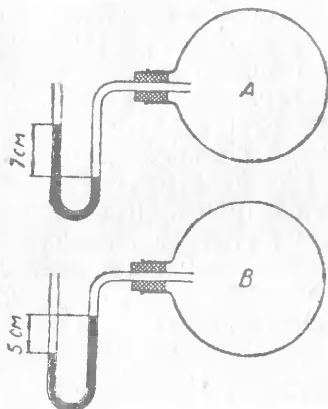


Рис. 94. Под каким давлением находится воздух в баллоне А? В баллоне В?

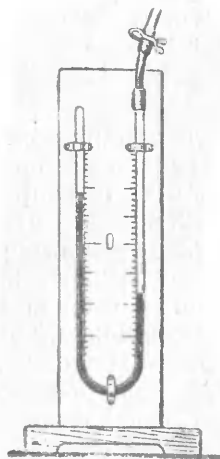


Рис. 95. Закрытый ртутный манометр.

В 1662 г. английский ученый Бойль установил на основании многочисленных опытов, что *при неизменной температуре объем некоторой массы газа обратно пропорционален его давлению*, т. е. во сколько раз увеличится давление газа, во столько раз уменьшится его объем.

Подсчитайте, какой объем занял бы сжатый углекислый газ, находящийся в баллоне объемом 20 л под давлением 100 ат, если бы он находился при нормальном давлении в 1 ат.

Для измерения давления сжатых или разреженных газов пользуются манометрами.

На рисунке 94 показан открытый ртутный манометр, которым можно пользоваться для измерения давления газов, если оно сравнительно мало отличается от атмосферного.

Определите, под каким давлением находится воздух в баллонах А и В, если атмосферное давление составляет 75 см рт. ст.

Для измерения давления разреженных газов применяют закрытый ртутный манометр (рис. 95). Правое колено манометра соединяется с сосудом, где находится разреженный



Рис. 96. Металлический манометр.

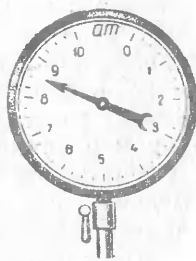


Рис. 97. Внешний вид металлического манометра.

газ. Левое колено предварительно заполняется доверху ртутью. При опускании ртути в этом колене над ее поверхностью отсутствует воздух. Давление разреженного воздуха измеряется разностью уровней ртути в коленях манометра.

Для измерения больших давлений в технике используется металлический манометр (рис. 96). Основной частью этого прибора служит изогнутая металличе-

ческая трубка, один конец которой запаян, а другой посредством крана соединяется с пространством, в котором находится сжатый газ или пар (например, с паровым котлом). Чем больше давление, тем сильнее выпрямляется трубка, и ее запаянный конец посредством изображенного на рисунке механизма приводит в движение стрелку-указатель. На шкалу наносятся деления, показывающие избыток давления сжатого газа или пара над атмосферным, которое считается равным 1 кг/см^2 .

Вообще в технике, как правило, указывается избыточное давление сверх атмосферного. Например, если говорится, что давление в задних шинах автомобиля ЗИЛ-154 4 ат , это значит, что оно на 4 кг/см^2 больше атмосферного.

Укажите, какое давление показывает изображенный на рисунке 97 манометр и как следует это понимать.

§ 51. Насосы. Для накачивания или разрежения воздуха, а также для накачивания воды пользуются насосами.

Рассмотрим действие воздушного поршневого насоса, который может одновременно служить как для накачивания, так и для разрежения воздуха. Насос (рис. 98) состоит из цилиндра A , в котором ходит поршень B , и двух клапанов C и D .

Клапаны служат для одностороннего пропускания воздуха или воды. На рисунке 99 (правом) изображен такой клапан воздушного насоса. При движении воздуха снизу вверх резиновая трубка отжимается и пропускает воздух. Обратное движение воздуха невозможно, так как резиновая трубка плотно прикрывает отверстие.

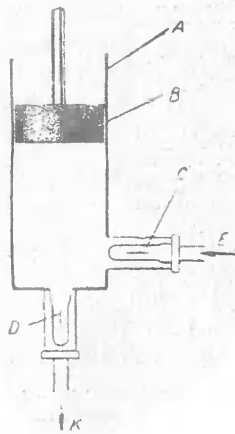


Рис. 98. Воздушный поршневой насос.

В изображенном на рисунке 98 насосе клапан *C* пропускает воздух только внутрь цилиндра, а клапан *D* — только из цилиндра наружу. При движении поршня вверх воздух поступает в цилиндр по трубке *E* через клапан *C*. При обратном движении поршня клапан *C* закрывается, и воздух выходит через клапан *D* по трубке *K*.

Если мы хотим воспользоваться насосом для нагнетания воздуха в какой-либо сосуд, мы должны присоединить этот сосуд к трубке *K*.

Для разрежения воздуха следует соединить сосуд, из которого выкачивается воздух, с трубкой *E*.

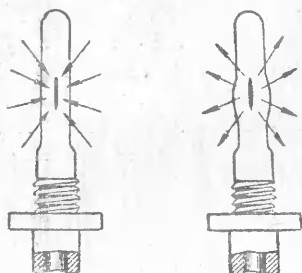


Рис. 99. Клапан воздушного насоса.

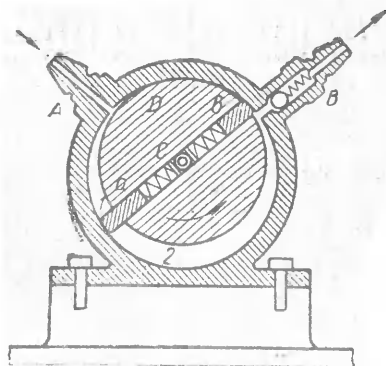


Рис. 100. Воздушный насос с вращательным движением.

В автомобильном или велосипедном насосе один из клапанов находится в ниппеле, т. е. короткой трубке, соединяющей камеру с насосом. Роль другого клапана играет сам поршень, который имеет форму колпачка. При движении поршня вниз колпачок плотно прижимается к стенкам цилиндра, при движении вверх наружный воздух свободно проходит в цилиндр, проликая между его стенкой и колпачком.

Для получения более значительных разрежений, чем дают поршневые насосы, следует воспользоваться насосом, в котором прямолинейное движение поршня заменено вращательным.

Цилиндр *D* (рис. 100) вращается вокруг оси, не совпадающей с осью коробки *C*. В стенке цилиндра сделаны прорезы, в которые вставлены пластинки *a* и *b*, прижимающиеся пружинами к стенкам коробки. Трубка *A* ведет к пространству, откуда выкачивается воздух; через отверстие *B* воздух выходит наружу.

При вращении цилиндра в пространство между пластинками *a* и *b* по трубке *A* поступает воздух из сосуда, в котором производится разрежение (первый полуоборот цилиндра); при втором полуобороте этот воздух выталкивается через отверстие *B*.

Насосы подобного типа дают возможность довести степень разрежения до 0,01 мм рт. ст.

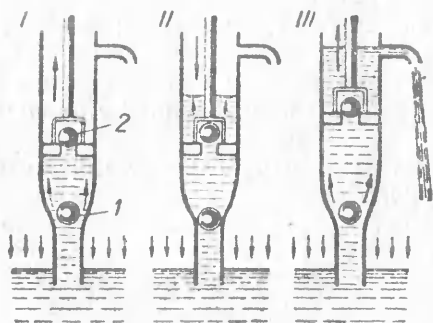


Рис. 101. Схема действия водяного всасывающего насоса,
1, 2 — клапаны.

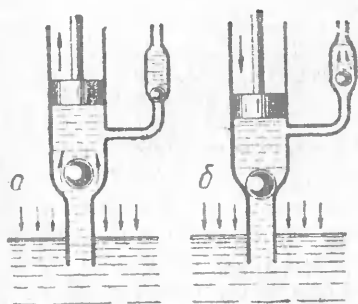


Рис. 102. Схема действия водяного магнетательного насоса:
а — всасывание; б — нагнетание.

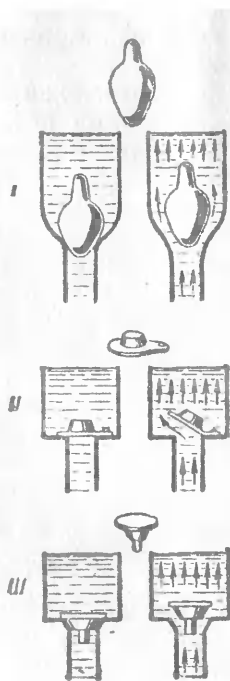


Рис. 103. Устройство клапанов из стекла (I), кожи (II), и металла (III).

Принципиальное устройство водяных насосов, такое же, как и воздушных. Они отличаются только техникой выполнения отдельных деталей.

Разберитесь самостоятельно в работе водяных насосов с поплавковыми клапанами, изображенных на рисунках 101 и 102. Устройство клапанов различного типа, изготовленных из стекла, кожи и других материалов, показано на рисунке 103.

§ 52. Применение сжатого воздуха. Сжатый воздух получил в технике и быту широкое применение. Сжатый воздух заполняет камеры футбольных и баскетбольных мячей, камеры велосипедных и автомобильных шин. Сжатый воздух подают в скафандры водолазов, в кессоны, опускаемые на дно реки при

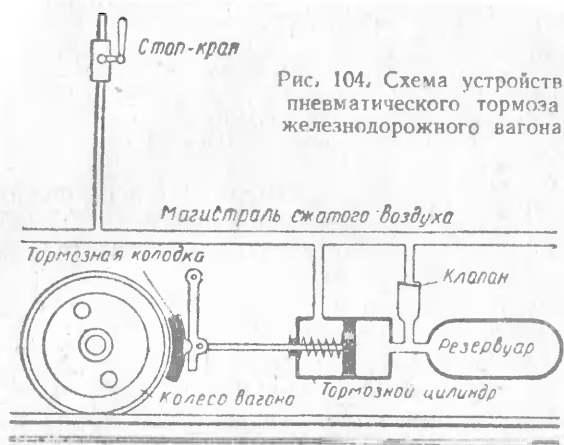


Рис. 104. Схема устройства пневматического тормоза железнодорожного вагона.

сооружении оснований для быков моста, шлюзов и т. д. При помощи сжатого воздуха работают пневматические зубила, молотки, сверла и другие инструменты. Различного рода операции в литейном деле производятся с помощью сжатого воздуха.

На рисунке 104 показана схема устройства пневматического тормоза железнодорожных вагонов. При заполнении магистрали, резервуара и тормозного цилиндра сжатым воздухом его давление на тормозной поршень справа и слева одинаково, и пружина отжимает тормозную колодку. При торможении сжатый воздух выпускается из магистральной трубы, давление в левой части тормозного цилиндра падает. Сжатый воздух, находящийся в правой части тормозного цилиндра и резервуаре, выйти не может, так как при уменьшении давления воздуха в магистрали клапан плотно закрывает отверстие. Под действием сжатого воздуха поршень перемещается влево, прижимая тормозную колодку к ободу колеса вагона.

Приведите еще примеры использования сжатого воздуха, с которыми вам приходилось встречаться на практике.



Архимед
(ок. 287—212 до н. э.)

§ 53. Закон Архимеда. Мы уже знаем, что погруженное в жидкость тело испытывает со всех сторон давление окружающей жидкости (§ 46). Но давление на нижнюю поверхность всегда больше, чем на верхнюю, так как она находится на большей глубине (рис. 105). Вследствие разницы этих давлений жидкость действует на погруженное тело с некоторой силой, направленной снизу вверх. Эта сила носит название **выталкивающей силы**.

Приведите примеры, доказывающие наличие выталкивающей силы, продумайте, как убедиться в действии выталкивающей силы опытным путем.

Теория и опыт показывают, что величина выталкивающей силы не зависит от количества жидкости в сосуде, формы тела, его удельного веса и положения в жидкости. Выталкивающая сила зависит только от объема погруженного тела и удельного веса жидкости.

Греческий ученый Архимед еще в III в. до нашей эры установил, что *выталкивающая сила измеряется весом жидкости, вытесненной телом, или, иначе говоря, весом жидкости в объеме тела.*

$$F_{\text{выт}} = d_{\text{жидк}} \cdot V_{\text{тела}}.$$

Разберитесь самостоятельно в опыте, изображенном на рисунке 106, подтверждающем закон Архимеда.

Рассчитаем, какую силу надо приложить, чтобы поднять в воде стальную балку весом 158 кг.

На балку действует вес и выталкивающая сила. Приложенная сила должна быть равна разности этих двух сил. Для нахождения выталкивающей силы надо знать удельный вес воды ($1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$) и объем тела.

Найдем объем тела:

$$V = \frac{158}{7900} = 0,02 \text{ (м}^3\text{)},$$

так как удельный вес стали $d = 7900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Вычислим выталкивающую силу:

$$F_{\text{выт}} = d_{\text{жидк}} \cdot V_{\text{тела}} = 1000 \cdot 0,02 = 20 \text{ (кг)}.$$

Следовательно, сила, которую надо приложить для подъема балки:

$$F = P - F_{\text{выт}} = 158 - 20 = 138 \text{ (кг)}.$$

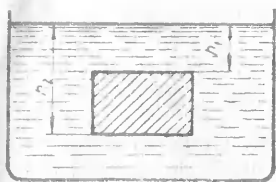


Рис. 105. На верхнюю поверхность погруженного в воду тела давит столб воды высотой h_1 , а на нижнюю — высотой h_2 . Возникающая разность давлений вызывает появление выталкивающей силы.

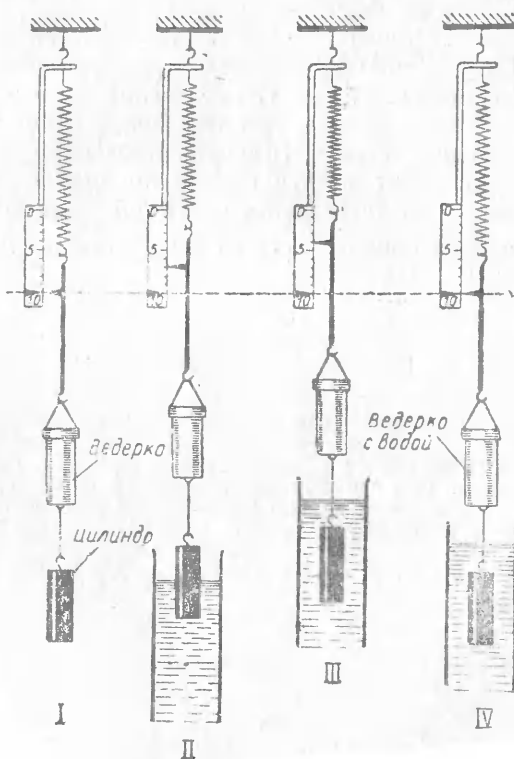


Рис. 106. Емкость ведерка равна объему цилиндра. В положениях I, II, III ведерко пустое, в положении IV оно до краев заполнено водой.

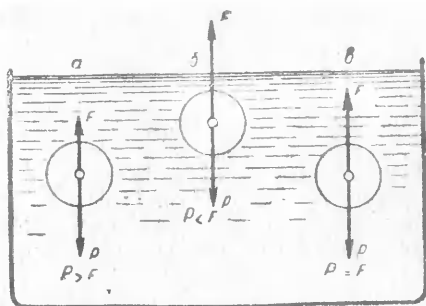


Рис. 107.

а — тело тонет; б — тело всплывает;
в — тело находится в жидкости в равновесии.

воде бетонную плиту объемом $1,6 \text{ м}^3$, если удельный вес бетона равен 2000 кг/м^3 ? (Ответ: 1600 кг .)

§ 54. Плавание тел. Если тело плавает, т. е. держится на поверхности жидкости, значит, его вес, направленный вертикально вниз, уравновешивается выталкивающей силой, действующей вертикально вверх. В этом случае выталкивающая сила измеряется весом жидкости в объеме погруженной в нее части тела.

Рассчитаем объем подводной части атомного ледокола «Ленин», вес которого равен $16\,000\,000 \text{ кг}$.

Выталкивающая сила равна весу ледокола, следовательно, объем погруженной в воду части ледокола равен:

$$V = \frac{16\,000\,000}{1030} \approx 15\,500 \text{ (м}^3\text{)},$$

так как удельный вес морской воды $1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Самостоятельно решите задачу. Требуется найти, какого веса груз принял теплоход, если средняя площадь его сечения на уровне воды 6000 м^2 и после принятия груза его осадка увеличилась на $0,3 \text{ м}$. Полагать, что удельный вес воды равен 1000 кг/м^3 . (Ответ: 1800 т .)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Условия плавания тел.

Взвесьте деревянный брусок и измерьте линейкой (рис. 108) длину l и ширину b его основания, а также его высоту h . Поместите брусок на поверхность воды и отметьте уровень погружения его в воду (рис. 109). Вычислите объем погруженной его части. Подсчитайте выталкивающую силу и сравните ее с весом бруска.

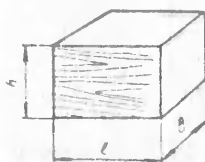


Рис. 108. К лабораторной работе. Измерьте длину, ширину и высоту бруска.

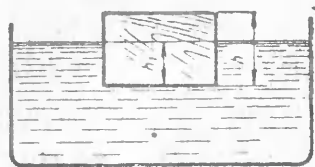


Рис. 109. К лабораторной работе. Измерьте глубину погружения бруска в воду.

Поместите на брусок груз и убедитесь, что выталкивающая сила возросла на величину веса груза. Сделайте пояснительный чертёж и запишите полученный вывод.

§ 55. Закон Архимеда для газов. Закон Архимеда применим и к газам: на тело, находящееся в газе, действует выталкивающая сила, направленная снизу вверх и равная весу газа в объёме тела.

Следовательно, для нахождения величины выталкивающей силы необходимо удельный вес газа, окружающего тело, умножить на объём тела.

$$F_{\text{выт}} = d_{\text{газа}} \cdot V_{\text{тела}}.$$

Удельный вес газа обычно выражают в $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ или $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Например, удельный вес воздуха при обычных условиях можно считать примерно равным $1,3 \text{ кг/м}^3$.

Выталкивающая сила воздуха, действующая на окружающие нас тела, сравнительно невелика и в практике ее часто не учитывают. Для примера вычислим выталкивающую силу воздуха, действующую на человека весом 70 кг , если его объём 65 дм^3 .

$$F_{\text{выт}} = d_{\text{возд.}} \cdot V_{\text{тела}} = 1,3 \cdot 65 = 84,5 \text{ (г)}.$$

По сравнению с весом человека (70 кг) величина выталкивающей силы (около 85 г или $0,085 \text{ кг}$) очень мала, так как составляет всего около $0,1\%$.

На рисунке 110, а, б показаны весы. На левой чашке их находится бутылка со сжатым воздухом, уравновешенная гирями. Бутылка соединена стеклянной трубкой с оболочкой резинового шара. Если открыть кран, то часть сжатого воздуха из бутылки перейдет в оболочку.

Объясните, почему нарушится равновесие весов.

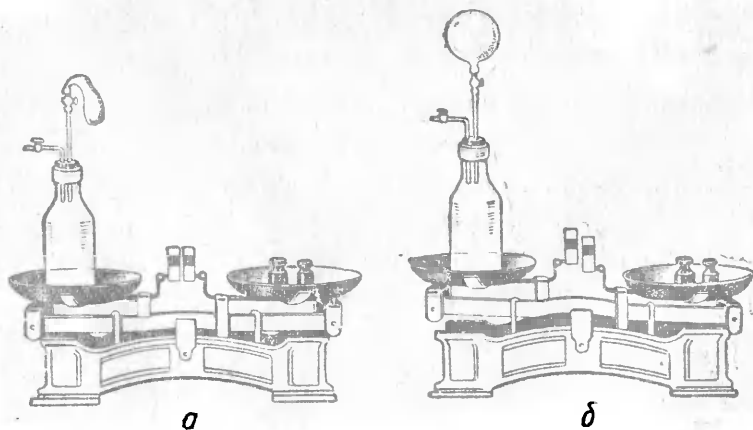


Рис. 110. Почему нарушается равновесие весов, если часть воздуха перейдет из бутылки в резиновый шар?

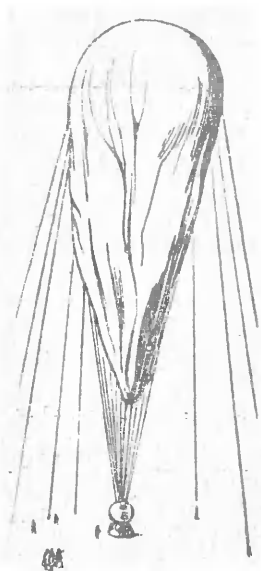


Рис. 111. Стратостат.

§ 56. Воздухоплавание. Для того чтобы тело поднималось в воздухе, необходимо создать такие условия, чтобы его вес был меньше выталкивающей силы воздуха. Для этого легкую оболочку наполняют газом, удельный вес которого меньше удельного веса воздуха, чаще всего водородом¹. Такими летательными аппаратами являются воздушные шары, дирижабли (управляемые аэростаты), стратостаты (рис. 111), шары-зонды. В настоящее время бурного развития авиации и реактивной техники значение воздухоплавания резко снизилось.

Рассчитаем, какой груз может поднять аэростат, заполненный техническим водородом, объем оболочки которого 900 м^3 , а вес оболочки и gondoly 290 кг .

На аэростат действует вертикально вверх выталкивающая сила, а вниз — вес оболочки и gondoly, а также вес заполняющего шар водорода.

Найдем вес водорода:

$$P_{\text{вод}} = 0,2 \cdot 900 = 180 \text{ (кг)}.$$

Вычислим выталкивающую силу:

$$F_{\text{выт}} = d_{\text{возд}} \cdot V_{\text{об}} = 1,3 \cdot 900 = 1170 \text{ (кг)}.$$

Следовательно, вес полезного груза равен:

$$P_{\text{груза}} = F_{\text{выт}} - (P_{\text{об}} + P_{\text{вод}});$$

$$P_{\text{груза}} = 1170 - (290 + 180) = 700 \text{ (кг)}.$$

В действительности вес поднимаемого груза должен быть меньше, так как по мере поднятия аэростата выталкивающая сила воздуха уменьшается (почему?).

¹ Удельный вес чистого водорода при нормальных условиях $0,09 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

На практике обычно используется так называемый технический водород, т. е. не вполне очищенный водород, удельный вес которого около $0,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Глава V

ЗВУКОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 57. Колебательные движения. Одним из видов механического движения является колебательное движение.

Колебательное движение совершает маятник стенных часов, поршень двигателя внутреннего сгорания, звучащая струна и т. д.

При колебательном движении материальная точка (или отдельные точки колеблющегося тела) совершает периодически повторяющееся движение около некоторого среднего положения, отклоняясь от него то в одну, то в другую сторону.

Рассмотрим основные характеристики колебательного движения на примере так называемого математического маятника: маленького шарика, подвешенного на весьма длинной нерастяжимой нити (рис. 112).

Наибольшее отклонение от положения равновесия (точка O) называется амплитудой колебания (OA и OC). Амплитуда обозначается буквой A и измеряется в единицах длины.

Время, в течение которого точка совершает одно колебание (например, из точки A проходит до точки C и возвращается обратно в точку A), называется периодом полного колебания. Период обозначается буквой T и измеряется в секундах.

Число колебаний точки за одну секунду носит название частоты колебаний. Частота обозначается буквой f и измеряется в особых единицах — герцах¹ (гц). *1 гц равен одному колебанию в секунду.* Например, струна рояля, издающая ноту *ля*, совершает колебание с частотой 440 гц. Это значит, что струна совершает за 1 сек 440 колебаний.

Приведите примеры колеблющихся тел, а если знаете, укажите, хотя бы приблизительно, их частоту и амплитуду колебаний.

Объясните, как понимать следующие записи: «Конеч крылышка пчелы при полете совершает колебания, для которых $f=400$ гц и $A=2$ мм. Для челнока швейной машины $f=6$ гц и $A=3$ см. Корпус автомобиля колеблется на рессорах с $f=0,5$ гц и $A=2$ см».

¹ В честь немецкого физика Генриха Герца (1857—1894).

Для многих тел (математический маятник, струна, стрелка электроизмерительного прибора и др.) амплитуда колебания постепенно уменьшается. Такие колебания называют *з а т у х а ю щ и м и*. Это объясняется тем, что энергия колеблющегося тела постепенно расходуется на преодоление трения и сопротивление воздуха.

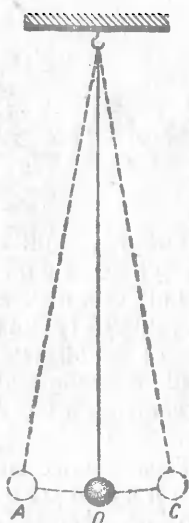


Рис. 112. Математический маятник.

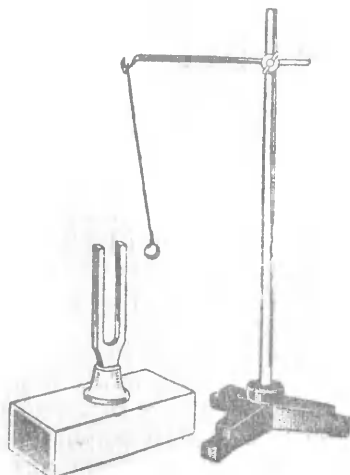


Рис. 113. В колебаниях звучащего камертона легко убедиться, наблюдая отскакивания от него шарика.

§ 58. Звуковые колебания. Источником звука является колеблющееся тело. Колеблется звучащая струна, ножка камертона (рис. 113), мембрана динамика, голосовые связки человека.

Слон воздуха, соприкасающиеся со звучащим телом, сами приходят в колебательное движение и передают эти колебания следующим слоям. В таком случае говорят, что в воздухе распространяются *з в у к о в ы е в о л н ы* (рис. 114). При этом каждая частица воздуха совершает колебания с частотой колеблющегося тела.

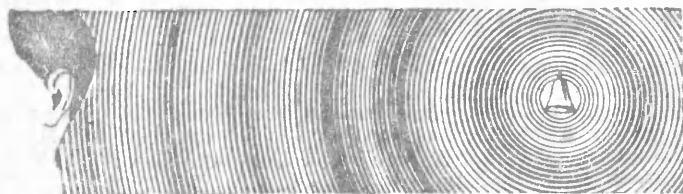


Рис. 114. От звучащего тела распространяются звуковые волны.

Звуковая волна приводит в колебание барабанную перепонку уха, а мы воспринимаем звук.

Звук может распространяться не только в воздухе, но и в воде, других жидкостях и твердых телах. При откачивании воздуха из-под колокола, под который помещены часы (рис. 115), звук их слышится все тише и тише, а при достижении очень высокого разрежения совсем прекращается.

Не всякие колебания воспринимаются человеческим ухом как звуковые. Если колеблющееся тело (вибратор) совершает колебания с частотой меньше 16—20 гц или больше 15 000—20 000 гц, то наше ухо их не ощущает, хотя в среде и распространяются волны. Некоторые животные (собаки, лошади) воспринимают звуки с частотой больше 20 000 гц, а летучие мыши даже до 60 000 гц.

Колебания с частотой ниже 16 гц называются инфразвуками, а с частотой выше 20 000 гц — ультразвуками. В настоящее время ультразвук нашел широкое применение в различных областях техники. При помощи ультразвука производят механическую обработку металлов, чистят детали, находят дефекты внутри металлов, обнаруживают на большом расстоянии предметы, находящиеся в воде.

Звуки могут быть высокие и низкие, громкие и тихие.

Высота звука зависит от частоты колебаний: чем больше колебаний в 1 сек совершает звучащее тело, тем выше тон. Самые высокие звуки, которые воспринимает еще человеческое ухо, имеют обычно частоту 10 000—16 000 гц (стрекотание кузнечиков и сверчков, свист выходящего из котла пара). Диапазон частот самого низкого мужского голоса (бас) примерно от 80 до 350 гц, а самого высокого женского (колоратурное сопрано) 260—1300 гц. Основной тон музыкальной настройки (ля первой октавы) имеет частоту 440 гц.

Звук одной и той же высоты может быть громче или тише. Громкость звука зависит от амплитуды колебания вибратора, а следовательно, и амплитуды колебаний частиц передающей среды. Чем сильнее ударить по клавише рояля, тем большую амплитуду будет иметь струна и тем громче мы услышим звук. Но колебания постепенно затухают, амплитуда уменьшается, звук становится все тише и тише и, наконец, совсем замирает. Кроме того, громкость звука убывает с увеличением расстояния до вибратора, а также зависит от свойств передающей среды

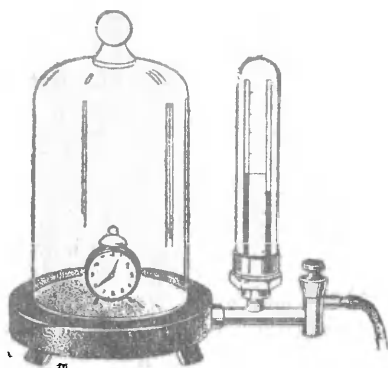


Рис. 115. При выкачивании воздуха из-под колокола звук будильника постепенно затихает.

(вспомните опыт с будильником под колоколом воздушного насоса).

Следует упомянуть о явлении резонанса. Каждое упругое тело, получив толчок, приходит в колебание с определенной частотой. Если это тело станет получать извне периодически повторяющиеся хотя бы очень слабые толчки, но с частотой, соответствующей его собственной частоте, то каждый последующий толчок, приходясь в такт собственным колебаниям тела, будет увеличивать его амплитуду.

Совпадение частоты вынужденных колебаний с частотой собственных колебаний носит название резонанса.

В технике принимают меры для избежания возникновения резонанса различных машин и установок, который может вызвать опасные разрушения.

Подобно механическому резонансу может иметь место и акустический (звуковой) резонанс. Звучание одного тела вызывает возникновение звуковых волн, которые могут привести в колебание другое тело, имеющее такую же или кратную частоту собственных колебаний. Если ударить по одному камертону, то можно заметить, что другой такой же камертон, находящийся вблизи от него, также начнет издавать звук.

§ 59. Скорость звука. Молния и гром возникают одновременно, однако мы сначала видим вспышку молнии и лишь спустя некоторое время слышим гром. В большом парке расположено несколько громкоговорителей. Когда они начинают действовать, мы слышим сначала звук наиболее близких, а затем более дальних.

Летит реактивный самолет. Мы ищем его по направлению звука, однако он оказывается значительно впереди — пока звуковая волна дошла до нас, самолет успел пролететь некоторое расстояние.

Приведите сами примеры, которые показывают, что звуковые волны распространяются не мгновенно, а с определенной скоростью.

Скорость звука в воздухе при 15°C около 340 м/сек . Это значит, что за одну секунду звуковая волна распространяется на 340 м . Скорость звука увеличивается с увеличением температуры и влажности воздуха. Например, скорость звука при 100°C уже 386 м/сек , а при 500°C она достигает 552 м/сек .

Рассчитайте, как далеко от вас был произведен артиллерийский салют, если звук при температуре воздуха 15°C мы услышали после наблюдаемой вспышки через 9 сек ¹.

Скорость звука в воде около $1,5\text{ км/сек}$, в бетоне $4,5\text{ км/сек}$, в стали $5\text{—}6\text{ км/сек}$.

¹ Скорость света $300\,000\frac{\text{км}}{\text{сек}}$. При решении задачи можно полагать, что свет распространяется мгновенно.

§ 60. Отражение звука. Положите ручные или карманные часы на дно банки или вазы и расположите ухо так, как показано на рисунке 116, а. Вы услышите очень слабое их тиканье. Но стоит поставить книгу под углом примерно 45° , так, как показано на рисунке 116, б, и звук заметно усилится. Значит, звуковые волны отражаются от преграды.

Человеческое ухо обладает способностью отличать два звука раздельно, если разница во времени их восприятия не менее $0,1 \text{ сек}$. Если время меньше, то звуки сливаются.

Рассчитаем, на каком наименьшем расстоянии должна быть преграда, чтобы отраженный от нее короткий звук не слился с произносимым.

За $0,1 \text{ сек}$ звуковая волна проходит путь, равный $s = vt = 340 \cdot 0,1 = 34 \text{ (м)}$. Так как она, достигнув преграды, возвращается обратно, то расстояние от источника до преграды должно быть не менее $\frac{34}{2} = 17 \text{ (м)}$.

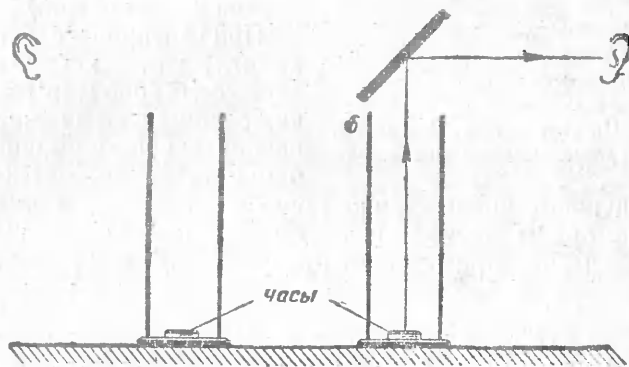


Рис. 116. Ухо воспринимает отраженные звуки (тикание часов, лежащих на дне цилиндра).

Явление повторения звука вследствие его отражения носит название эха. Эхо возникает там, где имеются достаточно отдаленные поверхности, отражающие звук, например в горах.

В закрытых помещениях звуковые волны, отражаясь от стен, потолка, пола и различных предметов, присоединяются к основному звуку и усиливают его. Явление это носит название реверберации.

Если после многократного отражения от различных поверхностей звуки не успевают затухать и присоединяются к основному звуку с заметным опозданием, т. е. когда уже прозвучали новые, — речь становится малоразборчивой, невнятной, а музыкальные фразы нечеткими.

Преграды не только отражают звук, но и частично поглощают звуковую энергию. Очень хорошо поглощают звук войлок, мягкие ткани, специальная штукатурка.

Сравните гулкий, раскатистый звук в пустом концертном зале и в том же зале, наполненном публикой. Объясните причину.

§ 61. Механическая запись и воспроизведение звука. Если на пути звуковых волн поместить упругую пластинку — мембрану, соединенную с иглой, то пластинка придет в колебания, переда-

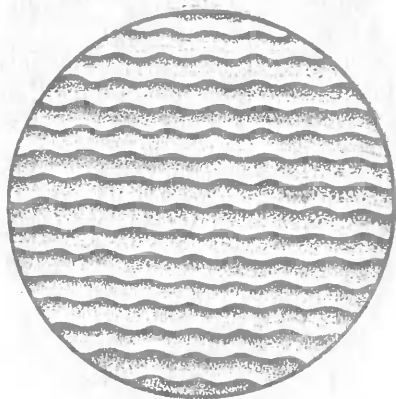


Рис. 117. Часть патефонной пластинки (в увеличенном виде).

вая их игле. При перемещении иглы по вращающемуся диску, покрытому воском, игла будет вычерчивать на воске так называемые звуковые бороздки (рис. 117). С этого диска можно сделать сколько угодно точных копий на пластмассовые патефонные пластинки. (В настоящее время звук записывается на диск при помощи электрического записывателя — рекордера.)

При воспроизведении звука игла патефона скользит по звуковым бороздкам пластинки, сообщая колебания соединенной с ней мембране. Колебание мембраны патефона вы-

зывает звуковые волны, точно такие же, какие создавали колебания мембраны звукозаписывающего аппарата. Звук может быть усилен либо при помощи рупора, либо электрическим усилителем.

Глава VI

ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕПЛОТЕ

§ 62. Молекулярное строение вещества. Учение о строении вещества возникло в древней Греции две с половиной тысячи лет назад. Греческий ученый Демокрит высказал предположение о том, что все тела состоят из ничтожно малых частиц, которые он называл атомами (греческое слово «атом» в переводе на русский язык значит неделимый). Атомы разделены промежутками и находятся в непрерывном движении. Учение Демокрита продолжали и развивали его последователи. Особенный интерес представляют сочинения Эпикура (341—270 гг. до н. э.), который, используя работы Демокрита, опровергал веру в богов и чудеса и отрицал существование бессмертной души.

С возникновением христианства атомистическое учение древних подверглось гонению и преследовалось вплоть до начала XVII в.

Возродили атомистику итальянский ученый Пьер Гассенди (1592—1655) и наш великий соотечественник М. В. Ломоносов (1711—1765). Ломоносов в основу научной работы ставил опыт. Он произвел сам большое число опытов, в результате которых пришел к заключению, что тела состоят из частичек (корпускул, или молекул¹), каждая из которых обладает всеми свойствами данного вещества. Молекулы, в свою очередь, состоят из атомов элементов.

Таким образом, слово «атом» приобрело другой смысл по сравнению с тем, который придавали ему древние философы. Они говорили, например, что вода состоит из атомов. В новой терминологии следовало сказать, что вода состоит из молекул, каждая молекула воды обладает всеми ее свойствами. Молекулы же воды, в свою очередь, состоят из атомов элементов водорода и кислорода.

¹ Слово молекула произошло от латинского слова «moles» — масса. Впервые его ввел Гассенди. Ломоносов молекулы именовал корпускулами.

В XVIII в. теплоту рассматривали как особую невесомую жидкость — теплород, находящуюся во всяком теле. Чем сильнее нагрето тело, тем больше в нем теплорода. Ломоносов опроверг эту гипотезу и объяснял теплоту как проявления движения молекул. Чем быстрее движутся молекулы тела, тем выше его температура.

§ 63. Движение молекул. Если молекулы реально существуют и находятся в непрерывном движении, то, очевидно, между ними должны быть промежутки. Как доказать их существование?

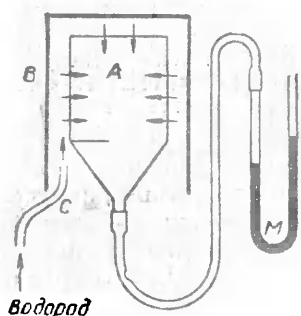


Рис. 118. Молекулы водорода проникают в цилиндр А быстрее, чем из него выходят молекулы воздуха.

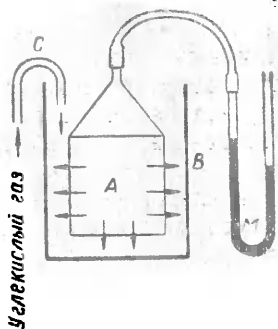


Рис. 119. Молекулы воздуха выходят из цилиндра А быстрее, чем в него проникают молекулы углекислого газа.

Опыты убеждают нас в том, что при увеличении давления тела сжимаются. Изменение объема тел происходит и при изменении температуры. Так как при этом масса тел не меняется, то, очевидно, изменение объема тел происходит за счет увеличения или уменьшения промежутков между молекулами.

Наличие движения молекул хорошо подтверждается изучением явления диффузии, заключающегося в том, что молекулы одного тела проникают в пространство, занятое другим телом.

Особенно заметно происходит это явление у газов, у которых при обычных давлениях промежутки между молекулами весьма велики, по сравнению с размерами самих молекул.

Как показали исследования, средние скорости движения молекул больше у более легких газов. Вследствие этого молекулы водорода движутся быстрее молекул воздуха при той же температуре, а молекулы углекислого газа, наоборот, медленнее молекул воздуха.

На рисунке 118 изображен опыт с диффузией водорода. Цилиндр А изготовлен из пористой необожженной глины и соединен с манометром М. Если накрыть цилиндр А стеклянным колпаком В и в пространство между ними по трубе С пускать водород, то уровень ртути в коленях манометра быстро станет изме-

няться. Это происходит вследствие того, что молекулы водорода, двигаясь быстрее молекул воздуха, проникают в цилиндр *A* в большем количестве, чем количество выходящих из цилиндра *A* более медленных молекул воздуха.

На рисунке 119 показан аналогичный опыт с углекислым газом, который также впускается по трубке *C* в пространство между цилиндром *A* и колпаком *B*.

Какое заключение о скоростях движения молекул углекислого газа и воздуха можете вы сделать, обратив внимание на показание манометра *M*?

Диффузия происходит и у жидкостей. При помощи специальных опытов ее можно обнаружить и у твердых тел.

Размеры молекул различных веществ неодинаковы. Поперечник молекулы водорода приблизительно равен $0,000000023$ см, молекулы кислорода $0,000000029$ см, молекулы углекислого газа $0,000000032$ см. Некоторые молекулы органических соединений достигают значительно больших размеров.

В настоящее время появились электронные микроскопы, которые дают возможность видеть отдельные наиболее крупные молекулы. На рисунке 120 показана фотография молекул белка, сделанная при помощи этого прибора.

§ 64. Молекулярные силы. Если тела состоят из отдельных молекул, разделенных промежутками, то почему они не распадаются, а, наоборот, их трудно разорвать или разломить? Естественно предположить, что между молекулами существуют силы взаимного притяжения.

Если разрезать свинцовый цилиндр на две части, а потом плотно прижать их друг к другу свежесрезанными поверхностями, удалив таким образом воздух, попавший между ними, то обе части цилиндра прочно сцепляются друг с другом.

На этом принципе основано изготовление различных изделий не путем отливки, а путем прессования. Так, при сильном давлении из опилок свинца получают изделия соответствующей формы. Последнее время широко применяются различные предметы из пластмасс. Изготовление их производится из соответствующих порошков путем прессования.

Но если существуют силы притяжения между молекулами, то почему все-таки сохраняются межмолекулярные пространства? Оказывается, что наряду с силами притяжения между молекулами имеются и силы отталкива-

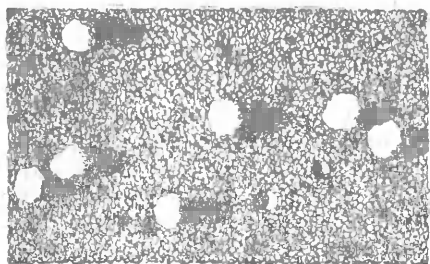


Рис. 120. Фотография молекул белка, сделанная при помощи электронного микроскопа.

ния. При достаточном сближении молекул силы притяжения уже прекращают свое действие, и при дальнейшем их приближении начинают проявляться силы отталкивания.

Молекулярные силы имеют электрическую природу, и изучение их весьма сложно.

§ 65. Расширение тел при нагревании. Все хорошо знают, что тела при нагревании расширяются. Телеграфные провода бывают зимой натянуты, а летом заметно провисают. Если железнодорожные рельсы не свариваются, то можно заметить, как изменяется величина зазора между ними летом и зимой.

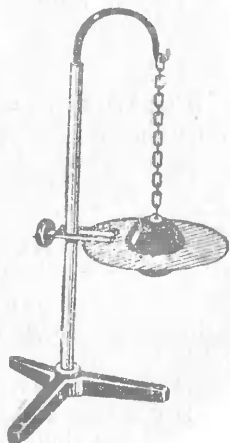


Рис. 121. Шарик при комнатной температуре свободно проходит через кольцо, при нагревании же он застревает.

В школах часто показывают такой опыт. Медный шарик свободно проходит через кольцо при комнатной температуре (рис. 121), если же его достаточно нагреть, то шарик застревает в кольце.

Чтобы в корпус авиамотора запрессовать стальные втулки, раньше нагревали корпус мотора. В настоящее время на советских авиазаводах осуществляется «холодная посадка»: перед посадкой втулку охлаждают в жидком воздухе. Объясните явление.

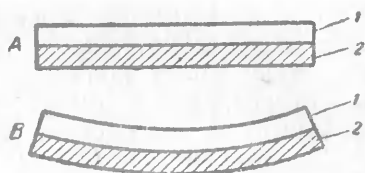


Рис. 122. Две склепанные вместе пластинки до нагревания (А) и после нагревания (В).

Расширение разных тел происходит неодинаково. Так, медная линейка, имеющая при 0°C длину 1 м, при нагревании до 100°C удлиняется на 1,7 мм, железная — на 1,2 мм, а алюминиевая — на 2,2 мм.

На рисунке 122 показаны склепанные пластинки, одна из которых медная, другая железная, до и после нагревания. Укажите, которая из них медная, а которая железная.

Склепанные пластинки из разных металлов называются биметаллическими. Их используют в термореле, которое при нагреве биметаллической пластинки до определенной температуры выключает ток.

Расширение жидкостей более заметно, чем расширение твердых тел. Так, при нагревании 1 л керосина на 1°C объем его возрастает примерно на 1 см^3 .

Рассчитайте, сколько керосина выльется из бидона емкостью 5 л, если он по неосторожности был наполнен доверху при 0°C , а температура повысилась до 15°C . (Ответ 75 см^3 .)

Расширение жидкостей используется при устройстве термометров — приборов для измерения температуры, т. е. степени нагрева тел. Резервуар и часть трубки термометра (из которого предварительно был удален воздух) заполняются ртутью или другой какой-либо жидкостью (чаще всего подкрашенным спиртом). Нуль ставится в том месте, где устанавливается уровень жидкости при температуре таяния льда, а 100° — при температуре кипения воды, причем обе эти температуры отмечаются при нормальном атмосферном давлении.

На рисунке 123 показан медицинский термометр. Резервуар со ртутью соединяется у него с трубкой посредством чрезвычайно узкого канала *a*. После удаления термометра от тела ртуть назад в резервуар не возвращается, так как этому препятствует значительное трение, возникающее в канале *a*. Чтобы загнать ртуть обратно в резервуар, приходится термометр сильно встряхнуть.

Вода имеет характерную особенность. При повышении ее температуры от 0 до 4°C происходит не увеличение, а уменьшение ее объема. Лишь при дальнейшем нагревании вода начинает расширяться. Следовательно, при 4°C вода имеет наибольшую плотность.

Газы расширяются больше, чем твердые тела и жидкости (рис. 124). Если нагреть газ от 0 до 273°C , то его объем при том же давлении возрастает в 2 раза.

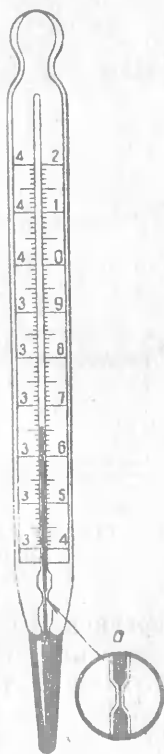


Рис. 123.
Медицинский
термометр.



Рис. 124. При
нагревании ру-
кой воздух в
колбе расши-
ряется, и жид-
кость в трубке
заметно под-
нимается.

Приведите примеры использования в технике расширения тел при нагревании и ответьте на следующие вопросы:

1. Почему у мостовых ферм один конец неподвижно закрепляется на опоре, а другой поκειται на катках (рис. 125)?

2. Почему отверстия для болтов у стыков рельсов делаются продолговатыми (рис. 126)?

3. Для чего, желая вынуть из флакона застрявшую в нем пробку, слегка нагревают горлышко флакона?

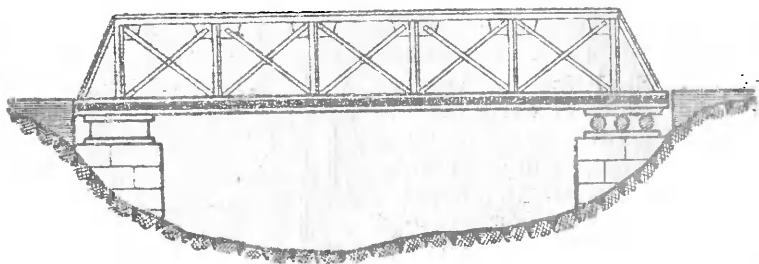


Рис. 125. Одна из опор мостовой фермы поκειται на катках.

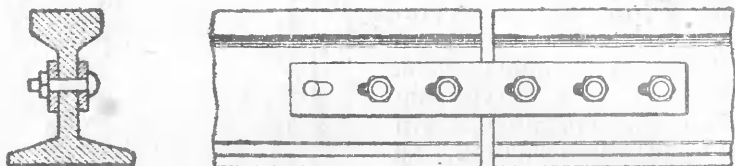


Рис. 126. Отверстия для болтов у стыков рельсов делаются продолговатыми.

§ 66. Способы передачи теплоты. Если вы неосторожно возьметесь за алюминиевую или чугунную ручку горячей сковородки, то обожжете руку. Все металлы — хорошие проводники тепла, и тепло от нагретого дна сковородки быстро распространится до конца ручки. Если же ручка сковородки деревянная, можно спокойно взяться за нее — дерево плохой проводник тепла.

Способ непосредственной передачи тепла по телу или от одного тела к соприкасающемуся с ним другому носит название теплопроводности. Этот способ связан с тем, что молекулы в нагретой части тела увеличивают скорость своего движения и при столкновениях с соседними молекулами передают им часть своей энергии, т. е. в свою очередь ускоряют движение смежных с ними молекул и т. д.

Лучшими проводниками тепла являются серебро и медь. К числу плохих проводников относится бумага, материя (особенно шерстяная). Воздух — плохой проводник тепла. Этим объясняется, что пористые тела очень плохо передают тепло.

Ответьте на вопросы:

1. Почему зимой валеная обувь лучше предохраняет ноги от холода, чем кожаная?

2. Какая обувь лучше сохраняет ноги в тепле — узкая или широкая?

3. Почему, встав голыми ногами на металлический лист, мы ощущаем холод, тогда как, встав на ковер, мы не чувствуем холода, несмотря на то что и ковер и металлический лист имеют одинаковую комнатную температуру?

Вода — плохой проводник тепла. В этом легко убедиться, проделав опыт, изображенный на рисунке 127. Нагревая воду в верхней части пробирки, мы заметим, что она быстро закипит, хотя на дне она будет оставаться долгое время холодной и лежащий там лед, прижатый грузиком, не растает.



Рис. 127. При нагревании воды сверху нижние слои ее остаются холодными.



Рис. 128. При нагревании воды снизу тепло передается вследствие конвекции.

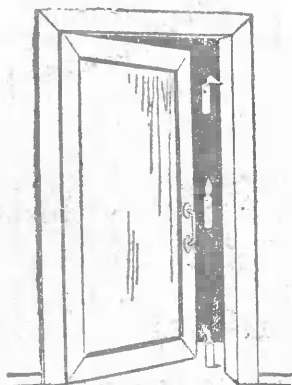


Рис. 129. Отклонение пламени свечи вследствие конвекционных токов воздуха.

Если же вы начнете нагревать воду снизу (рис. 128), то вся она быстро прогреется. Это происходит вследствие того, что в воде возникают течения. Нагреваемая снизу вода станет расширяться, всплывать вверх, на смену ей сверху начнут опускаться вниз более тяжелые холодные слои. *Такой способ передачи тепла вследствие возникновения течений* (это может быть только в жидких и газообразных телах) *носит название конвекции.*

Прodelайте такой опыт. Отворите дверь, ведущую из теплого помещения в более холодное. Поставьте горящую свечу сначала у самого пола, затем посередине, а затем вверху у раскрытой двери. Пламя свечи будет отклоняться вниз в сторону более теплого помещения, вверху в сторону более холодного (рис. 129). Объясните, чем это вызвано.

Конвекция является также причиной образования ветров.

Без конвекции не могло бы происходить горение. Для горения необходим постоянный приток кислорода, между тем при отсутствии конвекции продукты горения быстро окружили бы

горящее тело оболочкой и огонь прекратился. Однако нагретые продукты сгорания вследствие конвекции непрерывно поднимаются вверх, а на их смену подходят новые количества более холодного воздуха, кислород которого поддерживает горение. Конвекция используется при устройстве центрального отопления. На рисунке 130 показана схема его действия. Из котла *А* горячая вода поднимается в верхний этаж или на чердак, откуда при помощи системы труб, снабженных радиаторами (рис. 131), направляется сверху вниз, обогревая помещения, по которым она проходит.

Приведите сами примеры использования конвекции.

Поднесите руку к горячему радиатору или печке. Вы почувствуете тепло с той стороны руки, которая обращена к источникам тепла. Между тем температура воздуха почти одинакова как с одной, так и с другой стороны руки. Следовательно, нагревание руки произошло не вследствие теплопроводности или конвекции воздуха.

Если между печью или радиатором и рукой поставить какой-нибудь предмет, например кусок картона или доску, нагревание руки прекратится. Препграда задержала невидимые глазу лучи, исходящие от нагретого тела.

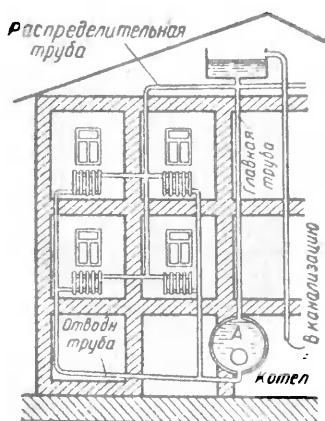


Рис. 130. Схема центрального водяного отопления.

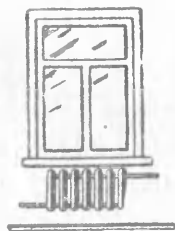


Рис. 131. Радиатор водяного отопления.

Способ передачи тепла посредством лучей называется лучеиспусканием. Земля нагревается Солнцем посредством лучеиспускания. Воздух же нагревается от Земли вследствие образования конвекционных токов.

Многочисленные опыты и наблюдения показали, что темные и шероховатые поверхности при той же температуре больше теряют теплоты вследствие лучеиспускания, нежели поверхности светлые и полированные.

Те поверхности, которые хорошо испускают тепло, обладают свойством так же хорошо его поглощать. Вы, конечно, замечали, что летом в темном платье жарче, чем в светлом.

Ответьте на следующие вопросы:

1. Если нужно охладить сосуд с водой, как лучше — поставить его на лед или накрыть сверху куском льда?

2. Для сохранения теплой пищи пользуются термосом — стеклянным сосудом с двойными стенками, из пространства между которыми удален воздух. Почему содержимое такого сосуда охлаждается крайне медленно?
3. Почему термометр показывает всегда на солнце более высокую температуру, нежели в тени?
4. Почему весной иногда приходится замечать, что на солнце снег тает, а в тени замерзают лужи?

Глава VII

ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ И КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ

§ 67. Понятие о внутренней энергии. Прочтите еще раз о передаче тепла посредством теплопроводности и вспомните работы М. В. Ломоносова, который объяснял тепловое состояние тел проявлением движения их молекул. Но движущиеся молекулы обладают энергией.

Та энергия, которой обладают молекулы тела вследствие своего движения, а также в результате их взаимодействия, называется внутренней энергией. Чем выше температура тела, тем больше его внутренняя энергия.

Пильщик пилит дрова, вызывая движение пилы, а следовательно, производит механическую работу. Дерево и пила нагреваются. От трения втулки об ось колеса в плохо смазанных повозках оси заметно нагреваются. Еще в очень отдаленные времена люди добывали огонь посредством трения двух кусков дерева. Во всех этих примерах внутренняя энергия тел изменялась вследствие совершения механической работы.

Внутренняя энергия, так же как и механическая энергия, измеряется в джоулях (дж).

Однако, как мы уже знаем, тела могут нагреваться, т. е. изменять внутреннюю энергию путем теплопередачи. Приведите примеры.

Количество теплоты — это величина, измеряемая изменением внутренней энергии тела, происходящим вследствие теплопередачи.

Очевидно, количество теплоты измеряется в джоулях (дж). Поясним примером. От радиатора центрального отопления воздух в комнате нагрелся, получив количество теплоты 5000 дж. Это значит, что внутренняя энергия воздуха возросла на 5000 дж.

Опыт показал, что для нагревания 1 кг воды на 1 град надо затратить 4200 дж¹. Для измерения количества теплоты пользуются также особыми единицами — калориями (кал). Калорией называют то количество теплоты, которое надо затратить для нагревания 1 г воды на 1 град. Для нагревания 1 кг воды на 1 град расходуется 1 килокалория (ккал).

$$1 \text{ ккал} \approx 4200 \text{ дж.}$$

¹ Точнее: для нагревания 1 кг воды на 1 град (от 19,5 до 20,5°) требуется затратить 4186,8 дж.

§ 68. Удельная теплоемкость вещества. Для характеристики тепловых свойств материалов вводится особая величина — удельная теплоемкость вещества.

Удельная теплоемкость вещества — это величина, измеряемая количеством теплоты, которое надо сообщить 1 кг вещества для нагревания его на 1 град. Следовательно, удельная теплоемкость показывает, на сколько изменяется внутренняя энергия вещества при изменении его температуры на 1 град¹.

Единицы измерения удельной теплоемкости $1 \frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ и $1 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$.

Как надо понимать, что удельная теплоемкость железа $460 \frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$? Это значит, что для нагревания 1 кг железа на 1 град требуется количество теплоты, равное 460 дж, а при остывании 1 кг железа на 1 град выделяется 460 дж. Следовательно, внутренняя энергия 1 кг железа при нагревании на 1 град увеличивается на 460 дж, а при таком же остывании уменьшается на 460 дж.

Удельная теплоемкость обозначается буквой c .

Приводим приближенные значения удельных теплоемкостей некоторых веществ.

Удельные теплоемкости ($\frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$)

Алюминий	880	Ртуть	140
Вода	4200	Свинец	130
Железо	460	Серебро	240
Кирпич	750	Сталь	460
Латунь	380	Стекло	840
Лед	2100	Цинк	390
Медь	390	Чугун	550

Решим задачу. Какое количество теплоты требуется для нагревания 2 кг воды в алюминиевом чайнике массой 0,5 кг от 20°С до кипения (100°)?

Для нагревания 1 кг воды на 1° требуется 4200 дж.

Для нагревания 2 кг воды на 1° требуется 8400 дж.

Для нагревания 2 кг воды на $(100 - 20) = 80^\circ$ требуется 672 000 дж.

Для нагревания 1 кг алюминия на 1° требуется 880 дж.

Для нагревания 0,5 кг алюминия на 1° требуется 440 дж.

Для нагревания 0,5 кг алюминия на 80° требуется 35 200 дж.

Общее количество теплоты составило $672\,000 + 35\,200 = 707\,200$ дж, или около 710 кдж.

Формула для подсчета количества теплоты Q , необходимой для нагревания тела массой m кг, удельная теплоемкость которого $c \frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ от t_1 до t_2 :

$$Q = cm(t_2 - t_1) \text{ дж.}$$

¹ Строго говоря, удельная теплоемкость зависит от того, в каком температурном интервале происходит нагревание.

§ 69. Калориметр. Для опытного определения удельной теплоемкости вещества нагревают тело, состоящее из этого вещества, до определенной температуры (обычно до 100°) и погружают в сосуд с холодной водой. Тело остывает, вода и стенки сосуда нагреваются. Измеряют их общую температуру. Очевидно, количество теплоты, полученное водой и стенками сосуда, равно количеству теплоты, отданной испытуемым телом при его охлаждении. Как подсчитать количество теплоты, полученное водой и сосудом, мы знаем из предыдущего примера. Разделив это количество теплоты (такое же количество ее потеряло испытуемое тело) на его массу и число градусов остывания, мы найдем его удельную теплоемкость.

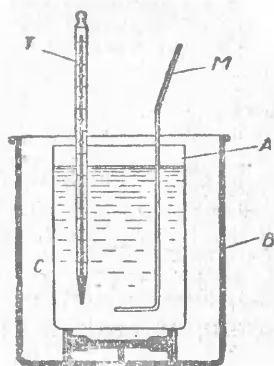


Рис. 132. Калориметр.

Можно ли поручиться, что проделанный опыт был достаточно точен? Нет. Сосуд стоял на столе и отдавал ему часть количества теплоты, полученной от испытуемого тела. Кроме того, поверхность сосуда непрерывно охлаждалась окружающим воздухом.

Как уменьшить эти потери теплоты? Для этой цели окружают сосуд *A* другим сосудом *B* так, чтобы между ними была прослойка воздуха *C* (рис. 132), которая предохраняет содержимое внутреннего сосуда от быстрого охлаждения. Такая установка, снабженная термометром *T* и мешалкой *M*, носит название калориметра.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Сравнение количества теплоты, отданной и полученной при смешении горячей и холодной воды

Налейте во внутренний сосуд калориметра определенное количество холодной воды, отмерив ее мензуркой. Пусть это будет m_1 кг (например, 200 см^3 , или $0,2\text{ л.}$ что составит $0,2\text{ кг}$). Измерьте ее температуру. Пусть она равна t_1° . Затем отмерьте m_2 кг горячей воды, измерьте ее температуру (t_2°) и также вылейте в калориметр. После перемешивания запишите установившуюся общую температуру (t°).

Количество теплоты, полученное холодной водой при нагревании от t_1° до t° :

$$Q_1 = cm_1(t - t_1),$$

где c — удельная теплоемкость воды.

Количество теплоты, отданное горячей водой при остывании от t_2° до t° :

$$Q_2 = cm_2(t_2 - t).$$

Вычислите Q_1 и Q_2 . Они должны получиться одинаковыми, так как количество теплоты, отданное горячей водой, должно быть равным количеству теплоты, полученному холодной водой.

Отчего же у вас получилось некоторое расхождение? Дело в том, что мы не учитывали ту теплоту, которую получил сосуд калориметра, имевший температуру холодной воды (t_1°) при нагревании до общей температуры (t°). Кроме того, во время выполнения работы часть теплоты пошла на нагревание окружающего воздуха. Если бы мы учли эти потери, то получили бы $Q_1 \approx Q_2$. Небольшое несовпадение было бы только результатом неточности измерений.

§ 70. Теплота сгорания топлива, К. п. д. нагревателя. *Количество теплоты, выделяемое при полном сгорании 1 кг топлива, носит название его теплоты сгорания.* Она обозначается буквой H или Q .

Приведем округленные средние значения теплоты сгорания некоторых наиболее распространенных горючих (в $\frac{\text{кдж}}{\text{кг}}$).

Керосин, бензин, нефть	46 000
Дизельное топливо	43 000
Каменный уголь	29 000
Спирт	29 000
Дрова	10 000

Теплота сгорания горючих газов определяется количеством теплоты, выделяемой 1 м³ газа, взятого при 0° и давлении 76 см рт. ст. при его полном сгорании. Теплота сгорания природного газа, используемого во многих городах в газовых плитах и в промышленности, в среднем 34 000 кдж/м³.

При сжигании горючего в любом нагревательном приборе (газовая плита, керосинка, керогаз) только часть выделяемого им количества теплоты идет на полезное нагревание, значительная же часть расходуется бесполезно на нагревание окружающего воздуха.

Коэффициент полезного действия (к. п. д.) нагревателя показывает, какая часть количества теплоты, выделенного при сжигании топлива, расходуется на полезное нагревание.

Как надо понимать, что к. п. д. керогаза 45%? Это значит, что из всего количества теплоты, выделенного при сгорании керосина, только 45%, или 0,45, расходуется на полезное нагревание (например, на нагревание воды в стоящем на нем чайнике).

К. п. д. нагревателя зависит не только от его конструкции и состояния, но и от размеров, формы и расположения нагреваемого тела.

Подсчитаем, какое количество воды можно нагреть от 10° С до кипения на газовой плите с к. п. д. 60% при сгорании 100 л газа.

Для нагревания 1 кг воды на 90 град требуется $4200 \cdot 90 = 378\,000$ (дж), т. е. 378 кдж. При сгорании 100 л газа (т. е. 0,1 м³) выделится $34\,000 \cdot 0,1 = 3400$ (кдж), но только 60% этого количества теплоты пойдет на полезное нагревание, что составит $3400 \cdot 0,6 \approx 2000$ (кдж). За счет этого количества теплоты можно нагреть

$$\frac{2000}{378} = 5,3 \text{ (кг)},$$

т. е. немного больше 5 л воды.

1 м³ газа стоит 2 коп., а 1 л керосина — 7 коп. Подсчитайте сами, во сколько раз дешевле обходится нагревание на газовой плите, чем на керосиновом нагревателе, считая, что к. п. д. газовой горелки и керосинового нагревателя одинаковы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Определение к. п. д. нагревателя

Чтобы найти к. п. д. нагревателя — в нашей лабораторной работе к. п. д. спиртовки, — следует определить количество теплоты, израсходованной на полезное нагревание воды — Q_1 и количество теплоты, выделенной при сгорании спирта — Q_2 . Обозначается к. п. д. греческой буквой «эта» (η):

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_2}.$$

Взвесьте спиртовку с налитым в нее спиртом с точностью до 0,1 г и запишите ее массу m_1 . Отмерьте мензуркой некоторое количество воды, хотя бы 200 см³ = 0,2 л, что соответствует ее массе $m = 0,2$ кг. Перелейте воду в сосуд, в котором будете производить нагревание, измерьте ее температуру t_1° и начните нагревание.

Помешивая воду, следите за повышением температуры. Когда она нагреется приблизительно на 30 град, потушите спиртовку и отметьте окончательную температуру воды t_2° .

Вновь взвесьте спиртовку. Масса ее m_2 станет меньше вследствие того, что часть спирта выгорит. Подсчитайте массу сгоревшего спирта, т. е. $m_1 - m_2$. Зная, теплоту сгорания спирта H , вычислите количество теплоты, выделенное при его сгорании:

$$Q_2 = H(m_1 - m_2).$$

Количество теплоты, пошедшее на нагревание m кг воды на $(t_2 - t_1)$ град, подсчитайте по формуле:

$$Q_1 = cm(t_2 - t_1),$$

где c — удельная теплоемкость воды.

К. п. д. нагревателя найдите по формуле:

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{cm(t_2 - t_1)}{H(m_1 - m_2)}.$$

Приведем пример: Пусть $m_1 = 152,3$ г; $m_2 = 150,1$ г, т. е. $m_1 - m_2 = 152,3 - 150,1 = 2,2$ (г) = 0,0022 (кг).

Если $t_1^\circ = 15^\circ$, а $t_2^\circ = 45^\circ$, то $t_2^\circ - t_1^\circ = 45^\circ - 15^\circ = 30^\circ$.

Значения c и H возьмем из таблиц.

$$\eta = \frac{4,2 \cdot 0,2 \cdot 30}{29\,000 \cdot 0,0022} \approx 0,4, \text{ или } 40\%.$$

Глава VIII

ТВЕРДЫЕ ТЕЛА. ПЕРЕХОД ИЗ ТВЕРДОГО СОСТОЯНИЯ В ЖИДКОЕ И ОБРАТНО

§ 71. Вещества кристаллические и аморфные. Налейте в стакан раствор медного купороса и оставьте его в теплом помещении. Когда через несколько дней вода испарится, дно окажется покрытым голубыми кристаллами медного купороса. Так же



Рис. 133. Кристаллы квасцов,

можно получить кристаллы других солей. На рисунке 133 показана группа кристаллов квасцов.

Внимательно рассматривая кристаллы, мы заметим, что они имеют свойственную данному веществу геометрическую форму. Кристаллы ограничены плоскими гранями, образующими для данного вещества строго определенные углы. Так, кристаллы поваренной соли имеют форму куба, кристаллы льда — шестиугольных пирамид и т. д.

Некоторые вещества, как, например, горный хрусталь, встречаются в природе в виде очень крупных кристаллов. В большинстве же случаев тела состоят из множества мелких кристаллов, расположенных в беспорядке. Иногда эти кристаллики так малы, что их можно рассмотреть только в хорошей микроскоп.

Вещества, состоящие из мелких кристаллов, называются поликристаллическими. Таковы, например, металлы.

Интересно отметить, что размеры кристаллов в телах могут со временем изменяться. Так, например, у стали и железа мелкие кристаллы могут переходить в более крупные. Это происходит, например, у железнодорожных рельсов и осей вагонов и вызывает уменьшение их прочности.

Некристаллические вещества носят название аморфных. К ним относятся большинство пластмасс, стекло, вар, воск, различные смолы.

Особый интерес представляют пластмассы, которые сочетают высокую прочность и химическую стойкость с малым удельным весом. В настоящее время промышленность СССР выпускает более 3000 различного рода изделий из пластмасс.

Пластмассы применяются в самых разнообразных областях техники и народного хозяйства. Из пластмасс изготавливается посуда, мебель, подшипники, шестерни, валики и другие части машин, трубы, насосы, вентиляторы, фильтры, безопасные стекла и т. д.

Пластмассы с успехом заменяют металлы. Так, например, пластмассовые подшипники работают дольше металлических.

§ 72. Плавление и отвердевание кристаллических веществ. Начните нагревать в сосуде мелко раздробленные куски льда, все время помешивая их и наблюдая за температурой. Если температура льда была ниже 0° , то сначала она будет повышаться, но, как только достигнет 0° , дальнейшее повышение ее прекратится, и начнется процесс плавления. Во время плавления температура будет сохраняться неизменной. Лишь после окончания

плавления начнется нагревание полученной из льда воды, и термометр вновь будет показывать повышение температуры.

Точно так же температура свинцовых опилок при нагревании повышается лишь до 327° . Как только начнется плавление, повышение температуры прекратится и, только после того как расплавится весь свинец, будет происходить дальнейший рост температуры уже жидкого свинца.

Процесс плавления кристаллических веществ характеризуется тем, что при достижении ими определенной температуры происходит разрушение кристаллов.

При затвердевании жидких кристаллических веществ в них начинают возникать отдельные кристаллики, количество которых постепенно возрастает, пока все вещество из жидкого состояния не превратится в твердое.

Наблюдая за изменением температуры при остывании, можно заметить, что *всякое кристаллическое вещество отвердевает при той же температуре, при которой плавится. Во время отвердевания температура сохраняется неизменной.* Температура, при которой плавится или отвердевает данное вещество, называется температурой плавления или точкой плавления.

Температура плавления зависит от давления. Однако при сравнительно небольших изменениях давления, с которыми обычно приходится иметь дело на практике, изменение температуры плавления очень мало. Например, чтобы понизить температуру плавления льда на 5° , надо довести давление до 615 кг/см^2 .

Температура плавления некоторых веществ
при нормальном давлении (в градусах)

Ртуть	—39	Медь	1083
Лед	0	Никель	1452
Олово	232	Железо	1535
Свинец	327	Платина	1770
Алюминий	660	Вольфрам	3380

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Наблюдения за температурой плавления и отвердевания нафталина

Поместите в сосуд с водой пробирку с нафталином. Начните нагревать воду и следите за показанием термометра, находящегося в пробирке, все время помешивая нафталин. Записывайте показания термометра через каждые 1—2 минуты. При достижении точки плавления температура нафталина некоторое время не будет изменяться. Когда весь нафталин расплавится, вновь начнется повышение температуры полученной жидкости.

Когда температура нафталина достигнет 90° , прекратите нагревание и записывайте изменение его температуры при охлаждении. Вы заметите, что температура отвердевания нафталина будет сохраняться неизменной, пока весь нафталин не перейдет в твердое состояние, после чего будет происходить охлаждение уже твердого нафталина.

Результаты работы представьте в виде графика, откладывая по оси X время, а по оси Y температуру.

Вследствие того что обычно охлаждение происходит более медленно, чем нагревание, постоянство температуры при отвердевании бывает более заметно, чем при плавлении.

§ 73. Удельная теплота плавления. Нагреваемое твердое кристаллическое вещество все время получает от нагревателя некоторое количество теплоты. Пока вещество находится в твердом состоянии, его температура повышается (скорость движения молекул становится больше), следовательно, внутренняя энергия возрастает вследствие увеличения кинетической энергии движущихся молекул. Но вот достигнута температура плавления; приток количества теплоты от нагревателя не изменился, а, несмотря на это, температура больше не повышается. Начался процесс разрушения кристаллов — вещество переходит в жидкое состояние.

В процессе плавления внутренняя энергия вещества возрастает вследствие увеличения потенциальной энергии взаимодействия молекул. Следовательно, внутренняя энергия вещества в жидком состоянии больше, чем в твердом при той же температуре.

В процессе отвердевания внутренняя энергия вещества уменьшается, и тело выделяет в окружающую среду некоторое количество теплоты.

Количество теплоты, которое необходимо затратить на превращение 1 кг кристаллического вещества при температуре плавления в жидкое состояние при той же температуре, называется удельной теплотой плавления. Она обозначается греческой буквой «лямбда» (λ).

Удельная теплота плавления некоторых веществ (в $\frac{\text{дж}}{\text{кг}}$)

Алюминий	380 000	Медь	180 000
Лед	330 000	Свинец	25 000
Железо	270 000	Ртуть	12 000

Как надо понимать, что удельная теплота плавления льда 330 000 дж/кг? Это значит, что для обращения 1 кг льда в воду при 0° требуется количество теплоты, равное 330 000 дж. Иными словами, при плавлении 1 кг льда внутренняя энергия полученной воды увеличивается на 330 000 дж.

Для превращения m кг вещества из твердого в жидкое состояние при температуре плавления потребуется количество теплоты:

$$Q = \lambda m.$$

Решим задачу. Нужно определить, какое количество каменного угля требуется для расплавления каждой тонны чугуна, взятого при 50°, если температура его плавления 1150°, а удельная теплота плавления 96 000 дж/кг. К. п. д. установки 60%.

Для нагревания 1 т чугуна до температуры плавления необходимо затратить $Q_1 = cm(t_2 - t_1) = 550 \cdot 1000 \cdot (1150 - 50)$ (дж) $\approx 605\,000\,000$ (дж).

Для плавления 1 т чугуна требуется:

$$Q_2 = \lambda m = 96\,000 \cdot 1000 = 96\,000\,000 \text{ (дж)}.$$

Следовательно, для нагревания и плавления 1 т чугуна расходуется: $Q_1 + Q_2 = 605\,000\,000 + 96\,000\,000 \approx 700\,000\,000$ (дж), или 700 000 (кдж).

Но это количество теплоты составляет только 60%, или 0,6, от того количества теплоты, которое должно выделяться при сгорании каменного угля.

Следовательно, уголь должен выделить:

$$Q_3 = \frac{Q_1 + Q_2}{\eta} = \frac{700\,000}{0,6} \approx 1\,170\,000 \text{ (кдж)}.$$

При полном сгорании 1 кг каменного угля выделяется 29 000 кдж. Таким образом, чтобы получить 1 700 000 кдж, необходимо сжечь угля:

$$m_1 = \frac{Q_3}{H} = \frac{11\,700\,000}{29\,000} \approx 40 \text{ (кг)}.$$

Самостоятельно решите следующие задачи:

1. Желая определить удельную теплоту плавления льда, учащийся взял легкий сосуд, поместил туда куски льда при 0° и начал нагревать. Он заметил, следя по часам, что на плавление льда потребовалось 10 мин. В течение следующих 10 мин температура воды повысилась от 0° до 76° . Какую удельную теплоту плавления льда получил учащийся? (Ответ: $\sim 320\,000$ дж/кг.)

2. Другой учащийся нагрел в парах кипящей воды железную гирию в 2 кг и поставил на кусок льда, взятый при 0° . Когда гирия охладилась до 0° , под нею расплавилось 300 г льда. Какую удельную теплоту плавления льда получил он? (Ответ: $\sim 310\,000$ дж/кг.)

3. Какое количество теплоты было затрачено в индукционной печи на нагревание и плавление 200 кг меди, взятой при 23° ? Какую полезную мощность развивала печь, если на этот процесс потребовалось 10 мин? (Ответ: 119 000 кдж; ~ 200 кВт.)

§ 74. Плавление и отвердевание аморфных веществ. Начнем нагревать какое-нибудь аморфное вещество, например воск. Постепенно его температура будет повышаться, воск при этом станет размягчаться и, наконец, обратится в жидкость. Точки плавления, столь характерной для кристаллических веществ, мы не сможем заметить.

На рисунке 134 сопоставлены графики плавления кристаллического и аморфного веществ. Укажите на их различие.

Таким образом, *резко выраженной границы между твердым и жидким состоянием у аморфных тел нет.*

При нагревании аморфных веществ их внутренняя энергия увеличивается. В отличие от кристаллических веществ одновременно возрастает как кинетическая энергия движущихся молекул (повышается температура), так и по-

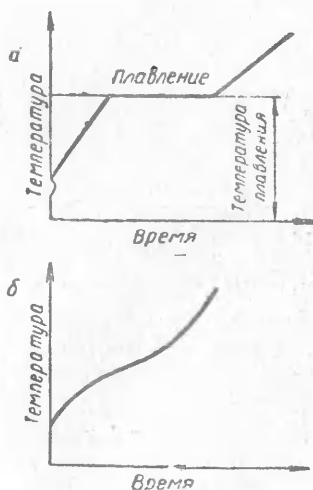


Рис. 134. График изменения температуры при нагревании и плавлении: а — кристаллического вещества, б — аморфного

тенциальная энергия их взаимодействия (вещество размягчается).

§ 75. Изменение объема тел при плавлении. Большинство веществ в твердом состоянии при температуре плавления занимает меньший объем, чем полученная из них жидкость при той же температуре. Кусок олова, например, опускается на дно сосуда с расплавленным оловом. Объясняется это тем, что при образовании кристаллов молекулы тела размещаются в более определенном порядке, занимая при этом меньше места, чем при беспорядочном расположении их в жидком состоянии вещества.

Приведем примеры увеличения объема некоторых веществ при плавлении (в %):

Цинк	6,9	Свинец	3,7
Алюминий	6,6	Олово	2,6

Исключение представляют лед, чугун, висмут, сурьма, которые при плавлении уменьшаются в объеме. Например, при переходе воды в лед объем увеличивается на 8,3%, вследствие чего лед не тонет в воде, а плавает на ее поверхности.

Это свойство льда имеет большое значение. Образовавшийся на поверхности воды рек лед не опускается на дно, а остается на ней. Слой льда покрывается снегом. Лед и особенно снег плохо проводят тепло, вследствие чего подо льдом остается незамерзшая вода; реки не промерзают до дна, что очень важно для сохранения жизни водяных растений и животных.

§ 76. Сплавы. В технике широко используются различные сплавы. Все хорошо знают, что чугун и сталь являются сплавом железа с углеродом. От процентного содержания углерода в железе резко изменяются многие его свойства. Весьма распространены разнообразные сорта стали, имеющие добавки хрома, никеля, марганца и других элементов.

В самолетостроении применяются дюралюмины; это сплавы алюминия с небольшим количеством других элементов (медь, марганец, железо, магний, кремний). Детали, сделанные из дюралюмина, легки (плотность дюралюмина около $3000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$) и очень прочны.

Вообще в большинстве случаев прочность сплавов больше прочности металлов, входящих в их состав.

Имеются сплавы, почти не расширяющиеся при нагревании (инвар — 64% железа и 36% никеля), сплавы с большим электрическим сопротивлением (нихром, хромаль, фехраль), сплавы, не окисляющиеся при соприкосновении с водой (нержавеющие стали), и т. д.

Точка плавления некоторых сплавов иногда резко отличается от температуры плавления их составных частей. Так, например, сплав Вуда (50% висмута, 25% свинца и по 12,5% кадмия

и олова) плавится при 68° , несмотря на то что самый легкоплавкий из металлов, входящих в его состав, — олово плавится при 232° .

Назовите сами сплавы тех металлов, с которыми вам приходится встречаться на производстве, укажите их свойства и область применения.

Глава IX

ПАРООБРАЗОВАНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ

§ 77. Испарение и конденсация. Нанесите на стекло по капле различных жидкостей: эфира, бензина, воды, керосина. Эфир испарится чрезвычайно быстро, затем испарится бензин; испарение воды произойдет значительно позднее, а керосин испарится только через несколько дней.

Испаряются все жидкости, но одни быстрее, а другие медленнее. Испаряется даже ртуть, поэтому при работе с ней не следует долго оставлять открытыми сосуды с ртутью — ее пары ядовиты.

Испарение происходит не только с поверхности жидкостей, но и с поверхности твердых тел. Все хорошо знают, что замерзшее выстиранное белье высыхает при просушке; следовательно, происходит обращение в пар льда, покрывающего белье.

Как же происходит процесс испарения? Как мы знаем, молекулы жидкостей находятся в беспрестанном движении, причем различные молекулы двигаются с разными скоростями. Наиболее быстрые молекулы обладают достаточной энергией, чтобы вырваться из жидкости.

Находящиеся в окружающем пространстве молекулы пара могут залетать обратно в жидкость. Этот процесс называется конденсацией.

В сухом помещении вода в открытом сосуде испаряется быстрее, чем в сыром. В первом случае количество молекул, вылетевших за некоторое время из жидкости, значительно превышает число молекул, влетевших за это же время обратно. В случае, когда окружающий воздух влажен, количество молекул, залетающих обратно в сосуд с водой, значительно больше, вследствие чего уменьшение массы воды в сосуде происходит медленнее.

Если число вылетевших молекул из сосуда с жидкостью и число влетевших обратно за то же время одинаково, то количество жидкости в сосуде уменьшаться не будет. Образовавшийся при этом пар носит название насыщающего.

Влажность воздуха характеризует степень насыщения его водяными парами.

Постарайтесь сами ответить на вопрос, почему испарение жидкости происходит быстрее при повышении температуры, при ветре, при увеличении свободной поверхности жидкости.

Наблюдение за температурой воды при нагревании и кипении

Начните нагревать сосуд с водой. Через каждые 2 минуты записывайте температуру воды. Постепенно она будет повышаться. С того момента, когда начнется кипение, дальнейшее повышение температуры прекратится. Убедитесь в этом, наблюдая за термометром некоторое время.

Постройте график хода температуры воды при нагревании. По горизонтальной оси откладывайте время (в минутах), по вертикальной — температуру (в градусах).

§ 78. Кипение. На основании выполненной вами лабораторной работы вы пришли к заключению, что при кипении воды температура ее не меняется.

Многочисленные опыты, сделанные с различными жидкостями, дают возможность сделать следующее заключение:

1. Каждая жидкость имеет при данном давлении определенную температуру кипения (точку кипения).

2. Во время кипения температура сохраняется неизменной.

Температура кипения при нормальном давлении
(в градусах)

Эфир	35	Расплавленное олово	2337
Спирт	78	» медь	2582
Вода	100	» железо	3050
Ртуть	357	» вольфрам	5900

В чем же отличие процесса кипения от испарения? *Испарение происходит только с поверхности жидкости и при любой температуре. Кипение происходит во всей массе жидкости (пузырьки с паром образуются внутри нее) и при строго определенной температуре.*

§ 79. Влияние давления на температуру кипения. Заставляя кипеть воду у подножия горы и на ее вершине, мы замечаем, что она кипит при различных температурах. Чем выше гора, тем меньше атмосферное давление и тем ниже оказывается температура кипения воды и всех других жидкостей. Так, на горе высотой в 5 км вода кипит при 83°. Наоборот, спускаясь на дно глубокой шахты, где больше атмосферное давление, мы отметили бы повышение точки кипения воды.

Прodelайте такой опыт. В стеклянной колбе начните кипятить воду: когда пары вытеснят из нее воздух, плотно закройте колбу пробкой и прекратите нагревание — кипение тотчас же прекратится. Переверните колбу дном вверх. Приложив теперь к ней мокрую тряпку (рис. 135), вы заметите, как вода снова начнет кипеть. Касаясь охлажденных мокрой тряпкой стенок колбы, водяные пары будут конденсироваться, давление их уменьшится, и вода снова закипит.

На рисунке 135 а дан график зависимости температуры кипения воды от давления.

Пользуясь графиком, определите: 1) Какова температура кипения воды при давлении 100 мм рт. ст.? 2) При давлении в 0,5 атм? 3) Под каким давлением вода кипит при 40°, при 75°?

2. На электроплитку мощностью 600 *вт* поставили чайник, вмещающий 2 л воды при температуре 10° С. Через сколько времени вода нагреется до кипения, если к. п. д. плитки 60%?

Какое количество воды будет обращаться в пар каждую минуту, если чайник вовремя не снять с плитки? (О т в е т: ~ 35 мин; ~ 9 г.)

Глава X

ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

§ 81. К. п. д. тепловых двигателей. К тепловым двигателям относятся паровая машина, паровая турбина, двигатель внутреннего сгорания и реактивный двигатель. Независимо от разницы в конструкции во всех этих двигателях энергия топлива превращается в механическую энергию.

Одной из существенных характеристик теплового двигателя любого вида является его коэффициент полезного действия (к. п. д.).

К. п. д. показывает, сколько процентов количества теплоты, выделенного при сгорании топлива, идет на полезную работу двигателя. Например, к. п. д. паровоза около 8%. Это значит, что только 8% (или 0,08) количества теплоты, выделенного при сгорании топлива, используется на движение поезда, а остальные 92% расходуются бесполезно на нагревание окружающего воздуха.

К. п. д. паровой турбины около 25—40%, автомобильного двигателя внутреннего сгорания около 25%, тракторного двигателя около 30%, реактивного двигателя самолета около 20%. Поясните, что означают эти значения к. п. д.?

Для расчета к. п. д. (η) надо знать, какое количество теплоты выделилось при сгорании топлива (Q) и какая совершена за это время полезная работа (A):

$$\eta = \frac{A}{Q} \cdot 100\%.$$

Естественно, что A и Q надо выражать в одних и тех же единицах — в джоулях.

Решим задачу. Требуется найти к. п. д. гусеничного трактора С-80, который развивает мощность 60 *квт* и расходует в час 18 кг дизельного топлива.

Подсчитаем, какую полезную работу совершает трактор за 1 ч. При мощности 60 *квт* он совершает за 1 *сек* 60 *кдж* работы, а за 1 ч в 3600 раз больше, т. е.

$$A = 60 \cdot 3600 = 216\,000 \text{ (кдж)}.$$

1 кг дизельного топлива выделяет при сгорании 42 000 000 *дж*, или 42 000 *кдж*. 18 кг выделяет в 18 раз больше:

$$Q = 42\,000 \cdot 18 \approx 756\,000 \text{ (кдж)}.$$

Отсюда

$$\eta = \frac{216\,000}{756\,000} \approx 0,286, \text{ или } 28,6\%.$$

Решим вторую задачу. Какую среднюю мощность развивал двигатель мотоцикла, если за 30 мин непрерывной работы было израсходовано 0,5 кг бензина? К. п. д. двигателя 20%.

1 кг бензина при полном сгорании выделяет 46 000 000 дж, или 46 000 кдж; 0,5 кг бензина выделяет:

$$Q = H \cdot m = 46\,000 \cdot 0,5 = 23\,000 \text{ (кдж)}.$$

Только 20% (или 0,2) от выделенного количества топлива пойдет на полезную работу:

$$A = Q \cdot \eta = 23\,000 \cdot 0,2 = 4600 \text{ (кдж)}.$$

Эта работа была совершена за 30 мин, или 1800 сек, следовательно, мощность равна:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{4600}{1800} \approx 2,6 \text{ (квт)}.$$

Самостоятельно решите задачи:

1. Мощность тепловоза ТЭ-3 равна 3500 квт и к. п. д. 28%. Найти расход нефти в течение часа. (Ответ: около 1000 кг.)

2. Машины буксирного парохода развивают мощность 200 квт при к. п. д. 7,5%. На сколько часов непрерывной работы хватит запаса каменного угля в 10 т? (Ответ: ≈ 30 ч.)

§ 82. Паровая машина. Первые паровые машины появились еще в XVIII в. Одна из наиболее совершенных для своего времени паровых машин была создана выдающимся русским теплотехником И. И. Ползуновым в 1766 г.

Рассмотрим принцип работы современной паровой машины, применяемой на паровозах, небольших пароходах и локомотивах, а также иногда в сельском хозяйстве и на лесоразработках. В настоящее время паровые машины не выпускаются отечественной промышленностью прежде всего ввиду их низкого к. п. д. (для небольших машин не выше 10%).

По паропроводу K (рис. 136) пар поступает в золотниковую коробку H , из которой ведут в цилиндр два канала a и t . Открывание и закрывание каналов производится с помощью особого прибора, называемого золотником $З$.

Когда поршень находится в правой части цилиндра C , как показано на нашем рисунке, золотник закрывает левый канал a и открывает правый канал t . Пар идет по этому каналу в цилиндр и толкает поршень. Отработанный пар из левой части цилиндра идет по каналу a в пространство под золотник и по трубе x выходит наружу.

Поршень тянет шток D , который передвигает шатун E , производящий вращение шкива или коленчатого вала машины.

При повороте вала вместе с ним поворачивается также и эксцентрик F , центр которого не совпадает с центром вала. Эксцентрик двигает стержень f , который приводит в движение тягу d , перемещающую золотник в направлении, обратном движению поршня.

Как только поршень дойдет до своего крайнего положения слева, тяга передвинет золотник в крайнее правое положение.

Он закрывает канал t , пар из котла будет поступать в цилиндр по открытому каналу a и толкать поршень слева направо. Отработанный пар из правой части цилиндра по каналу t выходит в пространство под золотник и далее по трубопроводу x наружу. Когда поршень достигает своих крайних положений справа или слева, направление шатуна E совпадает с направлением штока D . Эти положения носят название мертвых точек, так как при них шатун своим давлением не в состоянии повернуть вал.

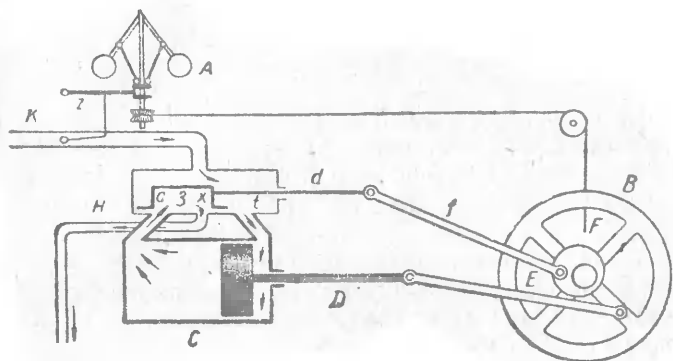


Рис. 136. Схема устройства паровой машины.

Как же устранить возможность остановок машины на мертвых точках? Для этой цели на ось вала насаживается тяжелое маховое колесо B . Начав вращаться, оно по инерции продолжает свое вращение и выводит машину из мертвых точек.

Чтобы придать машине равномерность хода, устанавливают еще центробежный регулятор A . При помощи бесконечного ремня он приводится во вращение от вала машины. Если движение машины делается очень быстрым, возрастет также и скорость вращения регулятора, при этом его шары будут расходиться, приподнимут муфту z , которая повернет клапан в паропроводе K , уменьшающий доступ пара к цилиндру. Вследствие этого движение вала замедлится, шары опадут и клапан примет свое обычное положение.

Основные преимущества паровой машины, которые дали ей в свое время столь широкое распространение, заключаются в следующем. Паровая машина развивает значительную мощность при малом числе оборотов. Это свойство играет большую роль на транспорте: паровоз трогает с места состав, несмотря на то, что в начале движения поршень перемещается очень медленно (сравните с двигателем внутреннего сгорания). В паровой машине очень легко осуществляется изменение направления движения. В топке котла можно сжигать дешевые сорта топлива.

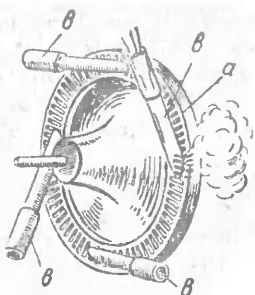


Рис. 137. Паровая турбина.

Однако эти преимущества не окупают недостатков: паровая машина имеет низкий к. п. д. и требует наличия громоздкого парового котла. Для приведения машины в действие требуется несколько часов подготовительной работы. При временных остановках машины необходимо поддерживать давление пара в котле и бесполезно расходовать топливо.

§ 83. Паровая турбина. В паровых турбинах, так же как и в паровых машинах, используется энергия водяного пара, получающегося в котле. Рабочее колесо турбины (рис. 137) — это диск, по окружности которого расположены изогнутые лопатки (на рисунке 137 они отмечены буквой *а*). Пар, поступающий из котла по трубопроводу, затем разветвляется по отдельным направляющим трубкам — соплам (на рисунке 137 они обозначены буквой *в*) и проходит между лопатками, изменяя свое направление и сильно уменьшая скорость при выходе. За счет изменения кинетической энергии пара лопатки приходят в движение и колесо вращается по часовой стрелке.

Паровая турбина развивает полную мощность только при достаточно большой частоте вращения. Запуск паровой турбины — длительный и ответственный процесс.

Паровые турбины применяются на всех тепловых и атомных электростанциях, а также на судах (в том числе и на атомном ледоколе «Ленин») для вращения электрических генераторов. В нашей стране выпускаются паровые турбины исключительно большой мощности в 200 000 *квт*, 300 000 *квт* и даже в 500 000 *квт*, рассчитанные на частоту вращения 3000 *об/мин*. В такие турбины поступает пар под давлением до 250 кг/см^2 и температурой около 600°.

§ 84. Двигатель внутреннего сгорания. В двигателе внутреннего сгорания топливо сгорает непосредственно в цилиндре самого двигателя. Схема устройства двигателя внутреннего сгорания изображена на рисунке 138, *а*, *б*, *в*, *г*.

Рассмотрим принцип работы четырехтактного бензинового двигателя. Он называется четырехтактным, так как рабочий процесс совершается за четыре хода поршня — такта, после чего все части двигателя занимают начальное положение и процесс повторяется вновь.

Первый такт носит название всасывания или впуска (см. рис. 138, *а*). При движении поршня вниз при помощи специального распределительного механизма открывается впускной клапан, и горючая смесь, представляющая собой бензин, распыленный в воздухе, всасывается в разреженное пространство.

Второй такт — сжатие (см. рис. 138, б). Оба клапана закрыты. Поршень движется вверх и сжимает рабочую смесь. Когда поршень достигает верхнего положения, в запальной «свече» проскакивает электрическая искра, горячая смесь взрывается и раскаленные газы, имеющие большое давление и высокую температуру, толкают поршень вниз.

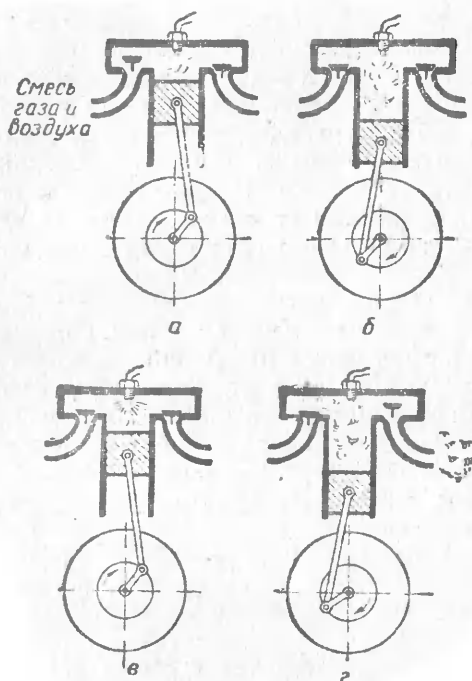


Рис. 138. Схема действия двигателя внутреннего сгорания.

Начинается третий такт — рабочий ход (см. рис. 138, в). К концу рабочего хода давление и температура падают. Работа совершается за счет уменьшения внутренней энергии газа.

Движение поршня передается массивному маховику, который приходит во вращение. За счет энергии раскрученного маховика поршень идет вверх — это последний, четвертый такт — выпуск, или выхлоп, во время которого открывается выпускной клапан и отработанные газы выталкиваются наружу (см. рис. 138, г). Затем процесс повторяется вновь.

Таким образом, в двигателе внутреннего сгорания только один такт рабочий, а остальные три подготовительные. Чтобы двигатель запустить, необходимо внешней силой совершить эти

подготовительные такты, что делается при помощи стартера вспомогательного электрического двигателя, а иногда и мускульной силой человека — в мотоциклах, моторных лодках.

Двигатель внутреннего сгорания обычно имеет несколько цилиндров: в автомобилях «Волга» — 4, «Чайка» — 8, ЗИЛ-150 — 6, двадцатипятилитровом самосвале МАЗ-525 — 12, на тракторах — 2, 4 или 6, тепловозе ТЭ-3 — 10, теплоходе «Украина» — 12, самолетах — до 18.

Описанный выше двигатель называется карбюраторным взрывного типа. Карбюратор — специальное устройство, в котором бензин распыляется в воздухе, образуя горючую смесь. Этот двигатель может быть сделан достаточно легким, но он требует дорогого топлива — бензина.

§ 85. Дизельный двигатель. На тракторах, тепловозах, судах, подводных лодках применяется другой вид двигателя внутреннего сгорания — дизельный двигатель, или просто дизель¹.

Четырехтактный дизельный двигатель отличается от карбюраторного тем, что при всасывании в цилиндр поступает не горючая смесь, а воздух, который к концу второго такта сжимается до давления 30—40 кг/см² и при этом нагревается до 500—600°. В нагретый таким образом воздух при помощи специальной форсунки впрыскивается горючее, которое воспламеняется, и образовавшийся газ толкает поршень. При этом совершается третий (рабочий) такт. Выхлоп производится так же, как в карбюраторном двигателе.

Дизельный двигатель может работать на дешевых сортах топлива: мазуте, нефти, соляровом масле, керосине.

Для запуска мощных дизельных двигателей применяют электродвигатель или небольшой карбюраторный двигатель.

Однако двигатель внутреннего сгорания обладает одним весьма существенным недостатком: он не может давать полную мощность в начале работы при малом числе оборотов. Поэтому в транспортных машинах (автомобиль, трактор) необходимо иметь специальную коробку скоростей (рис. 139), при помощи которой можно менять передаточ-

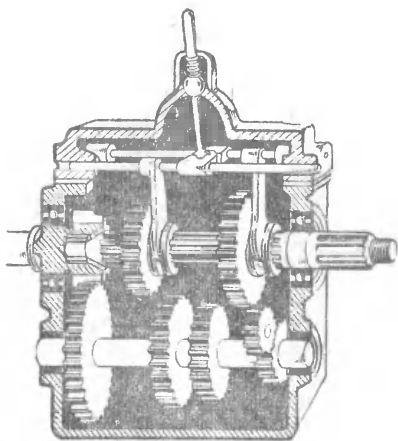


Рис. 139. Коробка скоростей.

¹ Рудольф Дизель (1858—1913) — изобретатель двигателя этого типа.

ные числа от вала двигателя к ведущим колесам. Передаточные числа приходится менять при изменении условий движения, например, при крутом подъеме двигатель должен делать большое число оборотов в 1 мин, давая полную мощность, хотя автомобиль движется медленно.

В тепловозах и на некоторых судах дизельный двигатель приводит в движение электрический генератор, током которого питаются тяговые электродвигатели, так что тепловоз — это электровоз с собственной электростанцией.

§ 86. Реактивные двигатели. Мы знаем, что при взаимодействии двух тел возникают силы, равные по величине и действующие на эти тела в противоположных направлениях. Если, находясь в лодке, бросить в горизонтальном направлении какой-либо массивный предмет, то лодка получит движение в противоположную сторону. При выстреле из ружья дробь и пороховые газы получают толчок в одну сторону, само ружье — в противоположную сторону. Это явление послужило основой для создания реактивных двигателей.

Простейший реактивный двигатель, пороховую ракету (рис. 140) стали применять несколько столетий тому назад. Пороховые газы, образующиеся при сгорании пороха, вылетают с большой скоростью из отверстий (дюзов), сообщая ракете движение в противоположном направлении. Силу, действующую на ракету, называют *силой реакции струи*. Устройство современных ракет основано на том же принципе, только вместо пороха применяются другие виды горючего. Чтобы ракета могла двигаться в безвоздушном пространстве, надо иметь соответствующее топливо и окислитель (рис. 141). Горючим может служить керосин или спирт, окислителем — жидкий кислород, перекись водорода или азотная кислота. Раскаленные газы, образовавшиеся при сгорании топлива, с огромной скоростью вытекают из дюз ракеты, сообщая ей движение.

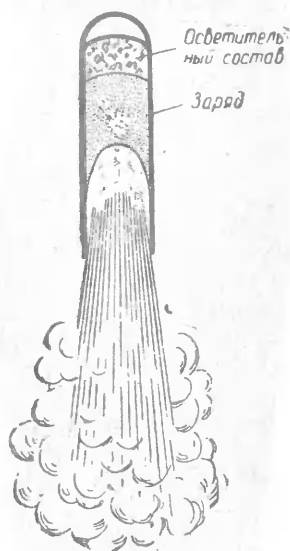


Рис. 140. Пороховая ракета



Рис. 141. Схема жидкостно-реактивного двигателя.

В реактивных самолетах не надо иметь окислитель, так как для сгорания топлива можно использовать кислород воздуха.

Отечественные пассажирские реактивные самолеты имеют мощные реактивные двигатели, большую скорость, обладают большой грузоподъемностью.

В настоящее время широко применяются турбовинтовые пассажирские самолеты АН-10, ИЛ-18, ТУ-114, АН-24, в которых используется как реакция струи, так и тяга винта (пропеллера).

Воздушный винт этих самолетов приводится во вращение не двигателем внутреннего сгорания, а особой газовой турбиной, вращение которой осуществляется раскаленными газами, выделяющимися при горении топлива.

§ 87. Успехи нашей Родины в деле освоения космоса. Наша страна вправе гордиться своими замечательными достижениями в деле освоения космоса. Весь мир с восхищением следит за успехами страны Советов, сделавшей мечту о полетах на другие планеты близкой к осуществлению.

Проследите за тем, что сделано нами в этой области за короткий срок — около 8 лет.

4 октября 1957 г. был выведен на орбиту первый в мире искусственный спутник Земли массой в 83,6 кг, а спустя месяц — второй спутник, имевший массу свыше 500 кг, на борту которого находился контейнер с собакой Лайкой. В последующие годы масса советских спутников Земли постепенно увеличивалась (так, спутник, запущенный в феврале 1961 г., имел уже массу около 6500 кг), длительность их полета увеличивалась, а конструкция все более и более совершенствовалась.

В январе 1959 г. была запущена космическая ракета в сторону Луны. Через 34 часа ракета прошла вблизи Луны и вышла на орбиту вокруг Солнца между орбитами Земли и Марса. В сентябре того же года советская космическая ракета достигла поверхности Луны, доставив туда выпел с изображением Герба СССР, а менее чем через месяц еще одна космическая ракета, направленная в сторону Луны, огибая ее поверхность, по команде с Земли сфотографировала невидимую сторону Луны и передала изображение на Землю.

В феврале 1961 г. был осуществлен запуск космической ракеты с автоматической станцией к планете Венера, а в ноябре 1962 г. — к планете Марс.

После успешного запуска ряда космических кораблей с подопытными животными и точного приземления их по команде с Земли в заданном районе 12 апреля 1961 г. состоялся первый полет человека в космос. Это был советский гражданин Ю. А. Гагарин. После облета земного шара и проведения намеченных исследований космический корабль «Восток» совершил посадку, пробыв в полете 108 минут.

В августе 1961 г. был совершен второй полет человека в космос на корабле «Восток-2», пилотируемом гражданином СССР Г. С. Титовым. Совершив свыше 17 оборотов вокруг Земли, корабль приземлился в заданном районе, пробыл в полете свыше 25 часов и пройдя расстояние более 700 000 км.

Спустя год, в августе 1962 г., был совершен замечательный групповой полет двух космических кораблей «Восток-3» и «Восток-4» с летчиками-космонавтами А. Г. Николаевым и П. Р. Поповичем, причем первый из них находился в полете 4 суток, а второй — 3 суток.

В августе 1963 г. состоялся новый длительный групповой полет на космических кораблях «Восток-5» и «Восток-6» космонавта В. Ф. Быковского и первой женщины-космонавта В. В. Терешковой.

В октябре 1964 г. корабль-спутник «Восход-1» совершил космический полет с экипажем из трех человек: командира корабля В. М. Комарова, научного сотрудника К. П. Феоктистова и врача Б. Б. Егорова.

В марте 1965 г. на космическом корабле «Восход-1» успешно совершили полет два летчика-космонавта П. И. Беляев и А. А. Леонов. А. А. Леонов осуществил впервые в мире выход из кабины корабля в космическое пространство.

Несомненно, в недалеком будущем мы станем свидетелями еще более изумительных полетов наших отважных космонавтов.

Глава XI

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЗАРЯДЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

§ 88. Значение науки об электричестве. Учение об электричестве — один из важнейших разделов физики. Вот вы нажимаете кнопку электрического звонка, включаете электрическую лампу, отправляете телеграмму, разговариваете по телефону, слушаете радиопередачу, смотрите на экран телевизора, садитесь в вагон электропоезда — во всех этих и многих других случаях вам служит электрическая энергия.

Преимущества электрической энергии, являющиеся причиной столь широкого ее применения в технике и быту: 1) возможность и сравнительная простота ее превращения в другие виды энергии — механическую (электрические двигатели), внутреннюю (нагревательные приборы), химическую (получение чистых металлов из растворов их солей при помощи электрического тока), световую (электрические лампы); 2) легкость дробления ее на какие угодно части — одна электростанция может снабжать многие тысячи потребителей; 3) возможность получить электрическую энергию там, где имеются залежи горючего или где удобно использовать водную энергию и передавать ее на большие расстояния в места потребления.

Современная наука учит нас, что каждый атом представляет собой электрическую систему, вследствие чего свойства тел зависят от электрического строения их атомов.

Вполне понятно поэтому, что при изучении физики электрическим явлениям должно быть уделено большое внимание.

§ 89. Электризация тел. Более двух с половиной тысяч лет назад греческие мастера заметили, что кусочки янтаря, потертые о шерстяную ткань, а также сама ткань приобретают свойство притягивать к себе легкие предметы: тонкие волокна, деревянные опилки, сухие листья и проч. Это явление впервые описал греческий ученый Фалес.

Долгое время полагали, что указанное свойство принадлежит только янтарю, чем и объясняется происхождение слова «электризация»: «электрон» — по-гречески значит янтарь.

Лишь в 1600 г. англичанин Д ж и л ь б е р т установил, что такое же свойство можно сообщить и многим другим телам: стеклу, если его потереть о кожу или бумагу, сере, если ее потереть руками, и т. д.

Далее выяснилось, что при соприкосновении наэлектризованного тела с ненаэлектризованным это последнее также начинает притягивать к себе легкие предметы.

Электризация тел проявляется не только в притяжении ими легких предметов, но также и во взаимодействии их между собой. В одних случаях это взаимодействие носит характер притяжения, в других — отталкивания. Если оба тела наэлектризованы путем соприкосновения их с одним и тем же, заранее наэлектризованным телом (например, куском янтаря), то они всегда отталкиваются. Если одно из них наэлектризовано от янтаря, а другое от той шерстяной ткани, которой был натерт янтарь, то они притягиваются.

В тех случаях, когда наэлектризованные тела взаимно отталкиваются, говорят, что они наэлектризовались одноименно, а в тех случаях, когда они притягиваются, что они наэлектризованы разноименно.

Совершенно случайно электризация стеклянной палочки была названа положительной, а электризация кожи, о которую ее натирали, — отрицательной.

При трении эбонитовой палочки о сукно, как показывает опыт, она электризуется отрицательно, а сукно положительно.

Никакого третьего рода электричества, кроме положительного и отрицательного, никогда не наблюдалось.

В дальнейшем, вместо того чтобы говорить «тело наэлектризовалось», мы будем говорить, что оно «получило электрический заряд» или «зарядилось».

На рисунке 142, а изображено притяжение гильз, одна из которых заряжена от стеклянной палочки, а другая — от эбонитовой, а на рисунке 146, б — отталкивание одноименно заряженных гильз.

1. Как определить знак заряда, образующегося на гребенке при расчесывании волос, имея в своем распоряжении бумажную гильзу, подвешенную на шелковой нити, и заряженную стеклянную палочку? Предложите несколько способов решения вопроса. Проверьте ответы на опыте.

2. На шелковой нити висит бумажная гильза. Как определить заряжена ли она, а если заряжена, то каким знаком, имея в своем распоряжении стеклянную и эбонитовую палочки?

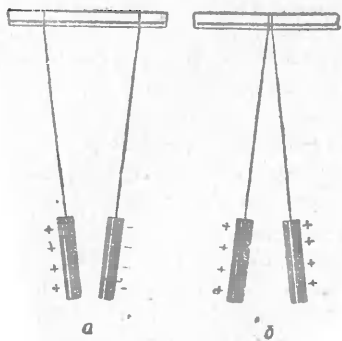


Рис. 142. Взаимодействие заряженных гильз.

§ 90. Проводники и изоляторы. Если мы коснемся заряженного металлического тела рукой или металлическим прутом, держа его конец в руке, электризация тела тотчас же исчезнет. Если же это заряженное тело подвесить на шелковой нити, оно некоторое время сможет сохранять заряд.

Эти и многие другие опыты приводят нас к заключению, что одни тела могут передавать электрические заряды, а другие не могут. Первые получили название **проводников**; к числу их относятся металлы, водные растворы различных солей, кислот и щелочей, тело человека и животных; вторые именуются **непроводниками**, или **изоляторами**. К ним принадлежат резина, стекло, фарфор, эбонит, воздух и многие другие вещества. Свойство передавать электризацию (заряд) получило название **электропроводности**, или **проводимости**.

Когда мы соприкасаем заряженное тело с непроводником (изолятором), последний электризуется только на том участке, где произошло соприкосновение, тогда как заряд, полученный проводником в каком-либо его месте, распространяется по всему проводнику.

Заметим, что существует множество веществ, которые занимают промежуточное место между проводниками и изоляторами. Они именуются **полупроводниками**. При обычных условиях полупроводники обладают чрезвычайно малой электропроводностью, однако при нагревании или под действием света, а иногда и некоторых других факторов их проводимость резко возрастает.

К полупроводникам относятся: бор, углерод, кремний, селен, германий, мышьяк, теллур и другие элементы, а также многие минералы, окислы металлов и некоторые другие вещества.

Последнее время полупроводники получили широкое применение в технике.

§ 91. Электроскоп. На взаимном отталкивании одноименно заряженных тел основано устройство **электроскопа**. Этот прибор был изобретен в середине XVIII в. русским академиком **Рихманом** (1711—1753). Он состоял из соломинки, подвешенной к веревке. При электризации веревки соломинка приобретала одноименный с ней заряд и отклонялась.

На рисунке 143 показан электроскоп, состоящий из металлического стержня *A* с двумя бумажными листочками *D*. Стержень крепится на корпус *C* через прокладку *B*, сделанную из изолятора. (Почему?) При помощи электроскопа можно определить, заряжено ли какое-либо тело, каким зарядом, т. е. положительным или отрицательным, и приблизительно в какой степени. Подумайте, как при помощи электроскопа определить знак заряда, например, на авторучке, потертой о шерстяную ткань, имея одну наэлектризованную палочку с известным знаком ее заряда.

На рисунке 144 изображен прибор, изготовленный по такому же принципу, но несколько иного устройства. О величине сообщенного ему заряда можно судить по углу между легкой алюминиевой стрелкой и металлическим стержнем. Этот прибор называется **электрометром**.

С помощью электроскопа можно убедиться, что при ударе резиновой трубкой по металлическому телу на подставке из изолятора это тело и резина получают электризацию разных знаков, но в одинаковом по абсолютному значению количестве.

Пользуясь весьма чувствительными электрометрами, установили, что два различных металла, например, медь и железо, приведенные в соприкосновение, а затем удаленные друг от друга, также обнаруживают разноименную электризацию.

Таким образом, многочисленные факты убеждают нас в том, что *всегда одно-*

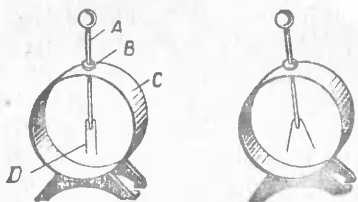


Рис. 143. Электроскоп.

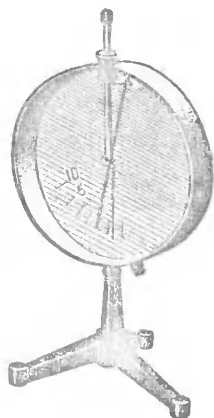


Рис. 144. Электрометр.

временно возникают два рода электричества, и притом в равных по абсолютному значению количествах.

§ 92. Понятие об электрическом поле. Опыт показывает, что притяжение и отталкивание заряженных тел происходит не только в воздухе, но и в пространстве, откуда воздух удален, причем в этом случае даже несколько сильнее. Отсюда можно сделать вывод, что воздух не является посредником во взаимодействии наэлектризованных тел, а, наоборот, своим присутствием несколько ослабляет это взаимодействие.

Каким же образом заряженные тела притягиваются или отталкиваются, находясь на некотором расстоянии друг от друга?

Согласно современным воззрениям, в пространстве, окружающем наэлектризованные тела, возникает так называемое **электрическое поле**, которое и оказывает на эти тела действие, в одних случаях сближая их, в других — удаляя.

§ 93. Объяснение электростатических явлений по электронной теории. Благодаря работам английского ученого Э. Резерфорда (1871—1937) в 1911 г. было установлено, что каждый атом состоит из положительно заряженного ядра, вокруг которого, как планеты вокруг Солнца, движутся отрицательно заря-



Э. Резерфорд
(1871—1937).

женные элементарные частички — электроны.

По современным представлениям строение атома неизмеримо сложнее. Надо иметь в виду, что это простейшая и очень грубая модель строения атома. Однако она может нас удовлетворить при объяснении многих электрических явлений.

Масса электронов, окружающих ядро, весьма мала по сравнению с массой самого ядра. Так, масса электрона меньше массы ядра самого легкого атома водорода приблизительно в 1840 раз.

При нейтральном состоянии атома положительный заряд его ядра уравнивается суммой отрицательных зарядов всех движущихся вокруг него электронов. Если атом теряет один

или несколько электронов, то электрическое равновесие нарушается, преобладает положительный заряд над отрицательным, и атом становится положительным ионом¹. Наоборот, при избытке в атомах электронов сверх нормального их числа возникает преобладание отрицательного заряда над положительным, и атом становится отрицательным ионом.

Проводники отличаются от изоляторов тем, что они имеют так называемые свободные электроны, т. е. электроны, которые отделились от своих атомов (сделавшихся вследствие этого положительными ионами) и движутся между ними. У изоляторов свободные электроны практически отсутствуют.

При соприкосновении двух тел происходит переход электронов от одного тела к другому, причем у проводников — это переход свободных электронов, у изоляторов — это переход электронов с некоторых наружных атомов одного тела к наружным атомам другого. В обоих случаях одно тело электризуется положительно (тело, потерявшее часть электронов), другое — отрицательно (тело, получившее избыток электронов). Трение не является необходимым условием для электризации двух непроводников, например стекла и кожи, тела электризуются и при соприкосновении. Трение только усиливает электризацию, осуществляя соприкосновение тел на большей площади.

§ 94. Электростатическая индукция. Электризацию тел можно осуществить и не приводя их в соприкосновение. Приблизь-

¹ Ионом называется атом, имеющий положительный или отрицательный электрический заряд.

те заряженную палочку к электроскопу, вы увидите, что листочки его расходятся (рис. 145), очевидно, они приобрели электрические заряды вследствие влияния тех зарядов, которые имела палочка. Явление электризации через влияние, получившее название электростатической индукции, было открыто и изучено в 1759 г. академиком Петербургской Академии наук Ф. Эпинусом.

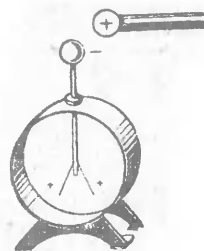


Рис. 145. Явление электростатической индукции.

Приблизим к незаряженному проводнику, состоящему из двух соприкасающихся частей A и B (рис. 146, a), укрепленных на изоляторах, заряженный шар C . При этом листочки бумаги на A и B отклонятся, что укажет на появление зарядов на концах проводника AB .

Как объяснить это явление? Под действием электрического поля, окружающего заряженное тело C , свободные электроны проводника AB придут в движение, перемещаясь в сторону A . В результате чего эта часть, приобретая некоторый избыток электронов, окажется заряженной отрицательно, а часть B , потерявшая часть электронов, — положительно.

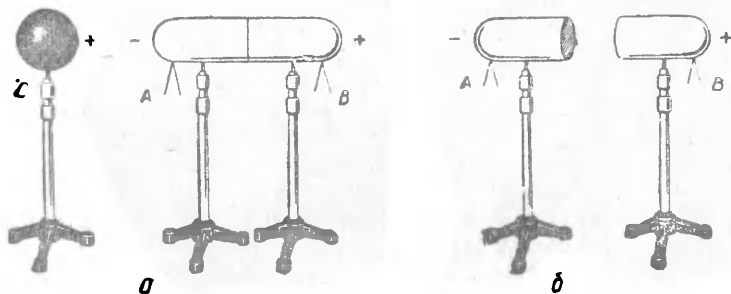


Рис. 146. a — Возникновение противоположных зарядов на проводнике AB вследствие индукции. b — На рисунке показаны части проводника A и B после их удаления друг от друга.

При удалении заряженного тела C скопление зарядов в частях A и B исчезает. Таким образом, опыт показывает, что эти заряды равны по своему абсолютному значению.

Если же части A и B раздвинуть в присутствии проводника C , то заряды на них сохранятся и листочки бумаги останутся отклоненными (рис. 146, b).

Рассмотрим, как, используя явление электростатической индукции, можно зарядить проводник, укрепленный на изолирующей подставке, не прикасаясь к нему заряженным телом. Поднесем к нему наэлектризованную эбонитовую палочку. Под дей-

ствием ее электрического поля в проводнике произойдет перераспределение зарядов. Коснемся затем проводника рукой, не удаляя от него палочки. Свободные электроны перейдут на тело человека, и проводник окажется заряженным положительно.

Объясните (сопровождая чертежом), как зарядить проводник отрицательно от положительно заряженной стеклянной палочки.

Электростатическая индукция используется в так называемой электрофорной машине (рис. 147), которая применяется для получения значительных электрических зарядов. Эти заряды собираются на шарах *A* и *B*, именуемых кондукторами. Один из них

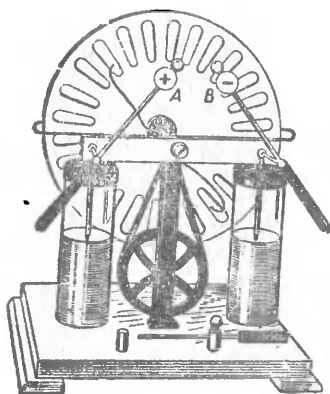


Рис. 147. Электрофорная машина.

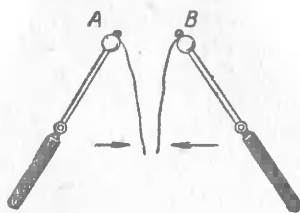


Рис. 148. На кондукторах *A* и *B* электрофорной машины возникают разноименные заряды.

приобретает положительный заряд, другой — отрицательный.

Легкие проволочки, присоединенные к кондукторам (рис. 148), при работе машины притягиваются друг к другу, что указывает на их разноименную электризацию.

Если достаточно сблизить кондукторы *A* и *B* электрофорной машины, то между ними произойдет электрический разряд, проскочит искра, сопровождаемая характерным треском, иногда громким.

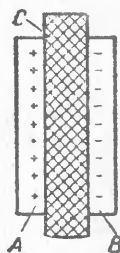


Рис. 149. Схема конденсатора:
A и *B* — металлические пластинки.
C — изолятор.

§ 95. Конденсатор. Для накопления больших зарядов служат конденсаторы. Простейший из них — плоский конденсатор изображен на рисунке 149. Он состоит из двух металлических пластин, разделенных изолятором (стекло, слюда, парафинированная бумага). Одна из пластин присоединяется к положительному кондуктору электрофорной машины, вторая — к отрицательному, вследствие чего пластины приобретают заряды противоположного знака.

После отключения пластин конденсатора от машины заряды на них вследствие взаимного

притяжения расположатся на сторонах этих пластин, обращенных к изолятору. Такое расположение зарядов и связь между ними, обусловленная их взаимодействием, препятствует стеканию зарядов в воздухе и позволяет накапливать в конденсаторе значительные заряды.

Следует иметь в виду, что для зарядки конденсатора достаточно зарядить только одну его пластину, а вторую «заземлить», т. е. соединить проводником с землей. В этом случае вторая пластинка по индукции окажется заряженной противоположным по знаку зарядом. Объясните, сделав пояснительный чертеж, причину электризации второй пластины для обоих знаков заряда первой. О применении конденсаторов будет сказано в дальнейшем (§ 146 и след.).

§ 96. Атмосферное электричество. Гроза. Ярko сверкнула молния, а спустя несколько секунд раздался мощный раскат грома. Какова природа этого величественного и грозного явления? Впервые ответ на этот вопрос дали в середине XVIII в. упоминавшиеся нами ранее американский ученый Франклин и петербургский академик Г. Рихман, работавший совместно с М. В. Ломоносовым.

Молния — это грандиозная искра, проскакивающая между облаками, из которых одно несет положительный, а другое отрицательный заряд.

Гром — это звук, который сопровождает появление искры. Так как свет распространяется с громадной скоростью 300 000 км/сек, то молнию мы видим почти в тот же момент, когда она появилась. Звук же, как мы указывали, распространяется в воздухе со скоростью около $\frac{1}{3}$ км/сек

(§ 59), т. е. можно грубо считать, что расстояние в 1 км он проходит за 3 сек. Поэтому гром мы всегда слышим с некоторым опозданием. Если заметить, сколько секунд прошло между появлением молнии и ударом грома, и полученное число секунд разделить на 3, можно узнать, на каком расстоянии (в км) от нас была молния. Подсчитайте, на каком расстоянии от вас ударила молния, если гром вы слышали с опозданием на 0,5 минуты после появления молнии?

Иногда молния ударяет в деревья, дома и вызывает пожары. Ударяя в людей и животных, убивает их. В этом случае появление молнии связано с явлением электростатической индукции. При прохождении заряженного облака над домом или иным объектом на ближайшей к облаку стороне возникает вследствие индукции заряд противоположного знака, и молния проскакивает между облаком и этим предметом (рис. 150).

Для предохранения зданий от поражения молнией Франклин предложил пользоваться громоотводом, т. е. устанавливать на крыше здания длинный металлический шест, конец которого тщательно заземляется. Назначение громоотвода состоит в том,

чтобы исключить возможность удара молнии в здание. Вопрос о постройке громоотводов более тщательно разработал Ломоносов, который много работал в области электричества.

Кстати, отметим, что термин «громоотвод» неудачен, так как с его помощью «отводится» молния, а не гром.

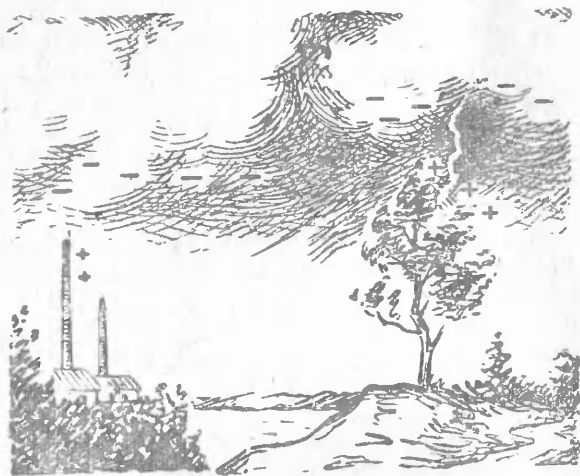


Рис. 150. Образование молнии.

Электрические заряды, возникающие на облаках и вообще в атмосфере, носят название атмосферного электричества. Теория его образования очень сложна. Изучение молний, их природы и методов защиты проводится в высоковольтной лаборатории Энергетического института Академии наук СССР.

Глава XII

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

§ 97. Природа тока. Соединим проволокой кондукторы электрофорной машины и приведем ее в действие. Мы знаем, что положительно заряженный кондуктор имеет недостаток свободных электронов, а отрицательно заряженный — избыток. Понятно, что при соединении их проволокой электроны придут в движение от места, где их избыток (отрицательный заряд), к месту, где их недостаток (положительный заряд). *Направленное движение электрических зарядов носит название электрического тока.* Можно сказать, что по проволоке пойдет ток.

В старину, когда не знали о существовании электронов, полагали, что электрические заряды движутся от положительного полюса источника тока к отрицательному, так как думали, что

положительный заряд — это избыток «электрической жидкости», а отрицательный — недостаток¹.

Это направление тока известно под названием **технического направления тока**. Пользуясь им, мы будем, однако, помнить, что фактическое движение электронов как раз обратное, т. е. от отрицательного полюса к положительному.

Если направление движения электронов все время одно и то же, мы говорим, что по проводнику идет **постоянный ток**. Если же направление тока непрерывно меняется, т. е. электроны движутся то в прямом, то в обратном направлении, ток называется **переменным**. В СССР и ряде других стран пользуются переменным током с частотой 50 гц, при этом ток в течение 1 сек 100 раз меняет свое направление: 50 раз идет в одну сторону, 50 раз — в обратную.

§ 98. Тепловое действие тока. Как проявляет себя электрический ток? Вспомнив электрические плитки, электрические утюги и другие нагревательные приборы, употребляемые в быту и на производстве, можно сделать заключение о том, что ток нагревает проводники, по которым он проходит. В электрической лампочке волосок нагревается до высокой температуры и начинает светиться. Нагревание проводников мы обнаруживаем при использовании как постоянного, так и переменного тока.

§ 99. Химическое действие тока. Растворим в воде медный купорос, опустим в раствор два угля (два электрода), соединенные с источником постоянного тока (рис. 151), и замкнем цепь. Мы заметим, что тот уголь, который соединен с минусом источника тока, станет покрываться налетом меди.

Молекулы медного купороса вследствие столкновений их с молекулами воды разбиваются на две части — медь и так называемый кислотный остаток. Медь теряет при этом два электрона и становится положительным ионом, кислотный остаток, присоединив эти лишние электроны, обращается в отрицательный ион. При замыкании цепи положительные ионы меди приходят в движение по направлению к электроду, соединенному с минусом источника тока (этот электрод называют **катодом**), а отрицательные ионы кислотного остатка движутся к электроду, соединенному с плюсом источника тока (именуемому **анодом**). Катод покрывается медью.

Если растворим в воде соль никеля, хрома, серебра, то на катоде будут отклады-

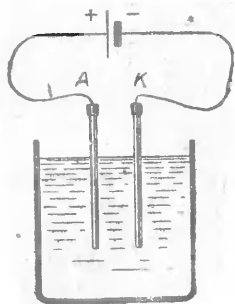


Рис. 151. При прохождении тока через водный раствор медного купороса на катоде K откладывается медь.

¹ Напомним, что термины положительный и отрицательный заряды были даны совершенно условно.

ваться молекулы этих металлов. Так осуществляется никелирование, хромирование, серебрение.

Растворы солей, а также кислот и щелочей, процесс прохождения тока по которым сопровождается химическим действием, называются электролитами.

Прохождение тока через электролиты именуется электролизом, а сосуд, в котором происходит этот процесс, носит название электролитической ванны.

§ 100. Магнитное действие тока. Возьмем магнитную стрелку, помещенную на острие, вокруг которого она может свободно вращаться. Она установится так, что одним своим концом станет указывать на север, другим — на юг. На этом свойстве магнитной стрелки основано применение ее в компасе.

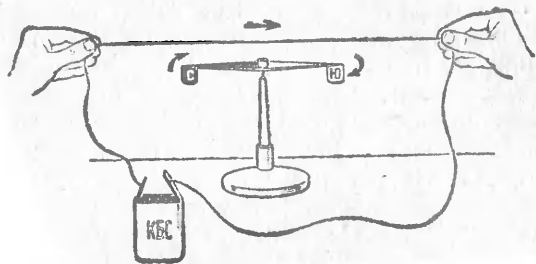


Рис. 152. Магнитная стрелка отклоняется при прохождении тока по проводнику.

Расположим проволоку, натянув ее таким образом, чтобы она была как раз над стрелкой и вдоль нее (рис. 152).

При замыкании тока магнитная стрелка отклонится. Если изменить направление тока, стрелка отклонится в противоположную сторону. Этот опыт знакомит нас с магнитным действием тока.

§ 101. Гальванические элементы. В 1799 г. итальянский ученый А. Вольта (1745—1827) обнаружил, что при погружении в водный раствор серной кислоты цинковой и медной пластин за счет происходящих химических реакций они электризуются различными зарядами: цинк — отрицательно, а медь — положительно. При соединении пластин проводником в цепи возникает ток. В дальнейшем появились более совершенные химические источники тока, получившие общее название гальванических элементов¹.

Наибольшее распространение получил элемент Лекланше, чаще всего применяемый в батареях для карманных электрических фонарей. Он состоит (рис. 153) из сосуда А с

¹ В честь итальянского ученого Л. Гальвани (1737—1798), давшего идею устройства элементов.

раствором нашатыря, в который опущен угольный электрод *B*, окруженный мешочком с порошком смеси перекиси марганца с углем *C*. Угольный стержень приобретает в растворе положительный заряд. Вторым электродом (отрицательным) является цинковая пластинка, изготовленная в виде цилиндра *D*.

В батареях для электрических фонарей соединяются три таких элемента. Жидкий раствор нашатыря заменяется клейстером, который получается от добавки в раствор муки.

§ 102. Аккумуляторы. Значительно шире, чем гальванические элементы, применяются аккумуляторы¹.

Чтобы познакомиться с принципом их действия, можно проделать следующий опыт.

Опустите в сосуд со слабым раствором серной кислоты в воде две свинцовые пластинки и присоедините их к источнику постоянного тока. При прохождении тока происходят химические реакции, вследствие чего меняется состав поверхности пластин. Через некоторое время аккумулятор таким образом «зарядится», т. е. делается как бы гальваническим элементом, имеющим две разнородные пластинки, опущенные в раствор серной кислоты, и сам может служить источником тока.

Давая ток, аккумулятор «разряжается» и поверхность обеих пластинок становится одинаковой по химическому составу.

После новой зарядки аккумулятор снова будет являться источником тока.

Получили большое распространение щелочные аккумуляторы, в которых железный и никелевый электроды или кадмиевый и никелевый погружены в раствор едкого калия.

Аккумуляторы (рис. 154) применяются при запуске дизелей, для питания генератора тепловоза, для освещения фар автомобилей, мотоциклов и лампочек железнодорожных вагонов на стоянках, для приведения в движение подводных лодок при их подводном плавании, электрокаров, рудничных электровозов и проч.



А. Вольта
(1745—1827)

¹ Слово «аккумулятор» — значит накопитель. Аккумуляторы при зарядке накапливают электрическую энергию, которую отдают при разрядке.

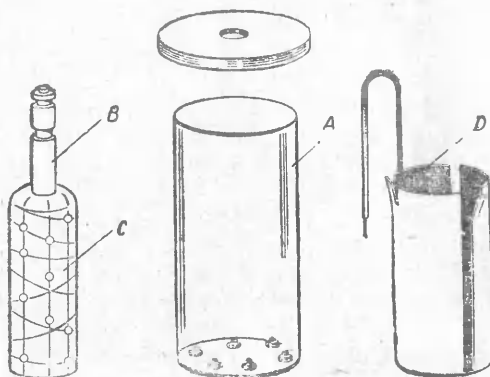


Рис. 153. Элемент Лекланше в разобранном виде.

Посредине стеклянный сосуд *A*, в который наливается раствор нашатыря. Справа — цинковая пластинка *D*, изогнутая в форме цилиндра. Слева — угольный стержень *B*, окруженный матерчатым мешком *C* с порошком перекиси марганца, смешанной с углем.

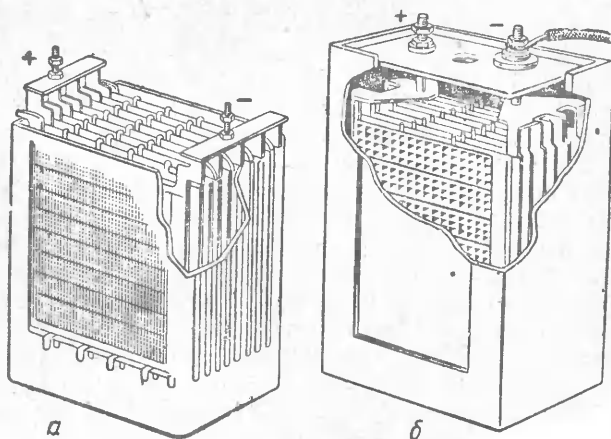


Рис. 154. *a* — кислотный аккумулятор; *б* — щелочной аккумулятор. Каждый из них имеет несколько соединенных вместе положительных пластин, а также соединенных вместе отрицательных пластин.

§ 103. Термоэлементы. Опыт показывает, что при соприкосновении двух различных металлов они приобретают заряды противоположных знаков. Например, при соприкосновении меди и железа медь заряжается отрицательно, а железо — положительно. Это значит, что часть свободных электронов перешла с железа на медь.

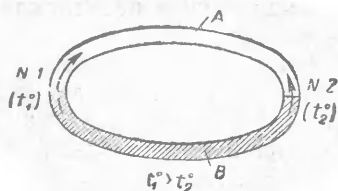


Рис. 155. Если температуры t_1 и t_2 не равны, в цепи возникает ток.

Простейшее объяснение этого явления заключается в том, что количество свободных электронов в единице объема у разных металлов неодинаково.

Оказывается, что число перешедших электронов для той же пары проводников зависит от температуры. На рисунке 155 показано соединение двух проводников: медного A и железного B . Если нагревать контакт № 1 до более высокой температуры, чем контакт № 2, то число свободных электронов, переходящих за то же время из железа в медь, будет больше в первом контакте, чем во втором. Если все время поддерживать указанную разность температур, то в этой системе проводов будет идти ток.

Такого рода источник тока носит название термоэлемента. Так как ток идет тем сильнее, чем больше разность температур в контактах № 1 и № 2, то по величине тока можно судить об этой разности температур.

Раньше термоэлементы использовались исключительно для этой цели.

Предположим, вам надо измерить температуру топки парового котла или доменной печи. Обычным термометром не воспользуешься — ртуть закипит, стекло расплавится. Термоэлемент здесь незаменим. Или нужно измерить крайне низкую температуру жидкого воздуха. Тут также приходится воспользоваться термоэлементом. А как измерить температуру почвы на большой глубине или температуру затвердевающего бетона? Для измерения температур в местах, недоступных для обычных термометров, опять с успехом может быть применен термоэлемент.

В настоящее время, кроме такого использования термоэлементов, ими стали довольно широко пользоваться как источниками тока. Для питания радиоприемников и передатчиков в местах, где нет электроснабжения: для различного рода экспедиций, изыскательских партий, применяются целые батареи термоэлементов, в которых нагревание одних концов термопар достигается использованием керосиновой лампы. Внеш-

ний вид такого источника термоэлектрического тока изображен на рисунке 156.

§ 104. Фотоэлементы. В качестве источника тока могут быть в некоторых случаях использованы фотоэлементы. На рисунке 157 изображена схема так называемого купроксного фотоэлемента. На поверхность медной пластинки нанесен слой закиси меди, сверху которого находится тончайший слой золота, прозрачный для световых лучей.

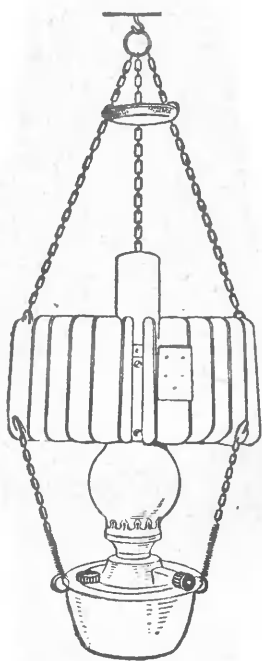


Рис. 156. Термоэлектрогенератор ТГК-3. Внутренние контакты термопар нагреваются керосиновой лампой, наружные — охлаждаются воздухом.

Закись меди — полупроводник. В темноте в ней почти нет свободных электронов, но при освещении за счет энергии световых лучей некоторые электроны отрываются от своих атомов и становятся свободными. Чем больше освещенность прибора, тем большее количество свободных электронов возникает в закиси меди.

Исследования показали, что между поверхностью меди и закисью меди возникает «запирающий» слой, через который электроны могут перемещаться только в одном направлении, а именно в сторону меди. Вследствие этого свободные электроны при своем тепловом движении станут про-

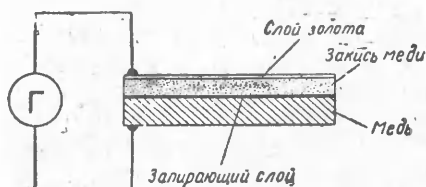


Рис. 157. Схема фотоэлемента с «запирающим» слоем.

никать в пластинку меди, а так как обратно они не могут вернуться, то слой меди приобретает отрицательный заряд, а закись меди, потерявшая часть электронов, — положительный. При замыкании фотоэлемента, как показано на рисунке 157, в нем появится ток, который будет продолжаться все время, пока фотоэлемент освещен. Этот ток очень слаб, но в некоторых приборах его можно с успехом использовать.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ. ЗАКОНЫ ТОКА

§ 105. Условия возникновения тока. Для получения тока обязательно выполнение трех условий.

1. Необходимо наличие источника тока, в котором энергия какого-либо вида превращается в электрическую. В гальванических элементах и аккумуляторах электрическая энергия получается за счет химической, в термоэлементах — за счет внутренней, в фотоэлементах — за счет энергии световых лучей. В дальнейшем мы познакомимся с принципом работы генератора, в котором механическая энергия превращается в электрическую.

2. Необходимо наличие замкнутой электрической цепи. При разрыве цепи она становится разомкнутой и ток прекращается.

3. Необходимо наличие во всей электрической цепи носителей электричества, которые источник тока приводит в направленное движение. Такими носителями заряда могут быть свободные электроны или ионы.

§ 106. **Электрическая цепь.** Простейшая электрическая цепь состоит из а) источника тока, который носит название генератора; б) приемников энергии (двигатели, лампы, плитки, радиоприемники, телевизоры, электрические звонки и проч.); в) проводов, которые соединяют между собой отдельные части цепи; г) выключателя.

На рисунке 158 показаны некоторые условные обозначения отдельных частей цепи.

Приемники энергии могут соединяться между собой двумя способами: последовательно и параллельно.

На рисунке 159 показано последовательное соединение двух электрических ламп. При таком соединении весь ток проходит через каждую лампу. Если одна из них перегорит или будет выключена, то разомкнется вся цепь.

На рисунке 160 дана схема параллельного включения в цепь тех же ламп. При таком соединении по каждой лампе проходит только часть

тока. Выключение одной из них не вызывает прекращения тока, проходящего через остальные.

Ответьте на вопрос. Как присоединяются к городской сети в вашей квартире лампы, плитки и другие бытовые приборы?

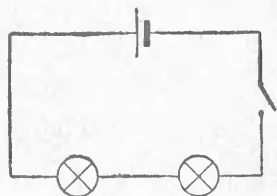


Рис. 159. Последовательное соединение двух электрических ламп.

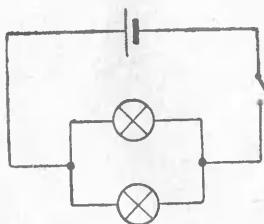


Рис. 160. Параллельное соединение двух электрических ламп.

§ 107. Величина заряда. Мы уже знаем, что электрический ток — это движение заряженных частиц: в металлах — электронов, в электролитах — ионов.

Введем единицу измерения величины заряда, прошедшего по цепи (величину заряда называют также количеством электричества и обозначают буквой q).

Удобнее всего для этой цели использовать химическое действие тока (§ 99). Будем пропускать ток через водный раствор соли серебра. Носителями заряда в данном случае будут ионы серебра, имеющие положительный заряд, и ионы кислотного остатка, имеющие отрицательный заряд. Чем больше ионов отложится на электродах, в частности ионов серебра на катоде, тем больший заряд перенесут они. Значит, о величине заряда, перенесенного ионами, можно судить по массе отложившегося на электроде вещества, например по массе серебра, отложившегося на катоде.

За единицу величины заряда принимают 1 кулон (к). Это заряд, который, проходя через раствор соли серебра, выделяет на катоде 1,118 мг серебра.

Масса вещества, выделенного при химическом действии тока, зависит от величины прошедшего через раствор заряда и не зависит от времени его прохождения. Например, если через раствор соли серебра прошло 100 кулонов, то на катоде выделилось 111,8 мг серебра независимо от того, прошел этот заряд за несколько секунд, минут или часов.

§ 108. Сила тока. Зная, что через электрическую лампу, прошел заряд в 100 кулонов, мы не можем хотя бы очень приблизительно судить о накале нити. Если этот заряд прошел по лампе за несколько минут, нить, вероятно, не раскалилась до све-

чения. Если он прошел за несколько секунд, нить могла раскалиться до свечения, а может быть, и перегореть. Следовательно, в данном случае нам, кроме величины прошедшего заряда, важно было знать и время его прохождения по цепи.

Величина, измеряемая зарядом, прошедшим по цепи за 1 сек, носит название силы тока и обозначается буквой I .

$$I = \frac{q}{t},$$

где t — время прохождения тока (в сек).

За единицу силы тока принимается 1 ампер (1 а). Это такая сила тока, при которой по цепи проходит заряд в 1 кулон за 1 секунду.

$$1\text{ а} = \frac{1\text{ к}}{1\text{ сек}}.$$

$$1\text{ ка} = 1000\text{ а}; \quad 1\text{ ма} = 0,001\text{ а}; \quad 1\text{ мка} = 0,000001\text{ а}.$$

Прочтите наименования этих единиц силы тока.

По цепи, изображенной на рисунке 161, ток сначала проходит только через одну лампу. Объясните, во сколько раз возрастет сила тока в подводящих проводах после включения второй, а затем третьей лампы. Все лампы одинаковы, накал нити каждой из них не зависит от числа включенных ламп.

Решим задачу. Какой заряд прошел через раствор соли серебра, если на катоде отложилось 3,35 г серебра? Какова сила тока в цепи, если этот процесс длился 10 минут?

При прохождении 1 кулона из раствора откладывается на катоде 1,118 мг серебра, а по условию задачи всего было выделено 3,35 г, или 3350 мг, серебра. Значит, величина заряда равна:

$$q = \frac{3350}{1,118} \approx 3000\text{ (к)}.$$

Поскольку заряд в 3000 к прошел по цепи за 10 мин, или 600 сек, сила тока составляла:

$$I = \frac{q}{t} \approx \frac{3000}{600} \approx 5\text{ а}.$$

§ 109. Амперметр. Для измерения силы тока служит прибор, называемый амперметром. Амперметры бывают различных типов. Принцип работы некоторых из них основан на тепловом действии тока. Рисунок 162 показывает идею их устройства. При прохождении тока по тонкой натянутой проволоке AB она нагревается и удлиняется. Ее прогиб увеличивается тем больше, чем сильнее ток. На рисунке 162 пунктиром показано, как при этом перемещается по шкале стрелка прибора. Более распространены амперметры, основанные на магнитном действии тока.

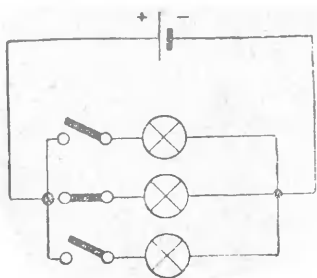


Рис. 161. При изменении числа включенных в цепь ламп меняется сила тока.

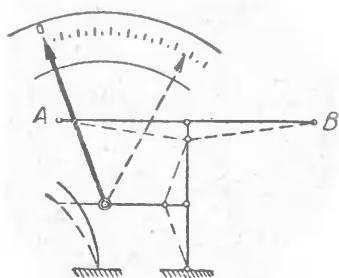


Рис. 162. Схема устройства амперметра, основанного на тепловом действии тока.

Амперметр. включается в цепь последовательно с потребителями энергии.

Составим цепь. К источнику тока подключим несколько ламп (рис. 163). В разные места цепи введем ряд амперметров A_1 , A_2 , A_3 . При замыкании цепи все они покажут одну и ту же силу тока. Отсюда можно сделать заключение, что сила тока в любом сечении цепи, составленной из ряда последовательно включенных потребителей, одна и та же, а следовательно, амперметр может быть помещен в любом ее месте.

Если составить цепь, в которой ток разветвляется по нескольким параллельно включенным проводникам (рис. 164), то сумма токов в ветвях (показание амперметров A_1 , A_2 , A_3) будет равна силе тока до разветвления (показание амперметра A).

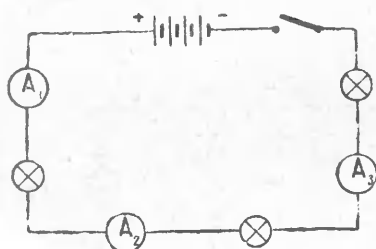


Рис. 163. Сила тока, проходящего через амперметры A_1 , A_2 , A_3 одна и та же.

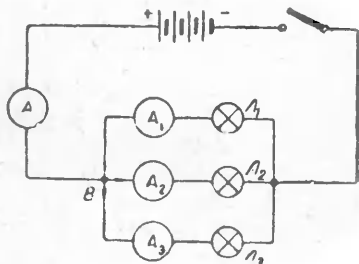


Рис. 164. Сила тока, показанная амперметром A , равна сумме сил токов, проходящих через лампы.

В правильности сделанного на основании опытов заключения легко убедиться путем рассуждения. Величина заряда, который каждую секунду притекает к точке B , не может быть больше или меньше величины заряда, который из точки B за то же время выходит по всем проводам.

Для присоединения проводов к амперметру на приборе помещаются две клеммы, которые отмечены знаками «+» и «—». Амперметр следует включать в цепь таким образом, чтобы к клемме со знаком «+» шли провода от положительного полюса источника тока, а к клемме со знаком «—» — от отрицательного.

§ 110. Понятие о напряжении. Составим цепь, состоящую из источника тока, подводящих проводов и двух последовательно включенных разных ламп. Опыт показывает, что накал ни-

тей ламп будет различный, а подводящие провода практически не станут нагреваться. Значит, на разных участках цепи была различная мощность.

Напомним, что мощность измеряется работой, совершенной за 1 сек, а в нашем случае количеством теплоты, выделяемой за 1 сек. Например, лампа мощностью 50 *вт* выделяет за 1 сек количество теплоты, равное 50 *дж*.

Мы знаем, что сила тока на всех участках цепи одна и та же, а выделенная мощность оказывается различной. Значит, мощность зависит не только от силы тока. Важнейшей характеристикой тока, которая наряду с силой тока определяет мощность на данном участке цепи, является **напряжение**.

О величине напряжения на данном участке цепи можно судить по выделенной мощности при одной и той же силе тока. В нашем случае напряжение на лампе с большей мощностью будет больше, чем на другой лампе с меньшей мощностью.

Напряжение измеряется мощностью, которая выделяется при силе тока в 1 а. Оно обозначается буквой U .

Единица напряжения — 1 вольт (1 *в*).

Если по цепи идет ток в 1 а, то напряжение в 1 в будет на том участке цепи, где выделяется мощность в 1 вт.

Чтобы найти напряжение U на данном участке цепи, надо мощность P разделить на силу тока I :

$$U = \frac{P}{I}.$$

Напряжение — одно из самых сложных понятий. Мы получили сейчас самые первые представления о нем. В дальнейшем мы подойдем к объяснению этой величины с других точек зрения и выполним ряд лабораторных работ. Так постепенно будут расширяться и углубляться наши представления о напряжении.

§ 111. Вольтметр. Для измерения напряжения пользуются прибором, который носит название **вольтметра**. Он включается **параллельно** тому участку цепи, напряжение на котором требуется определить.

На рисунке 165 вольтметр V_1 показывает напряжение на участке BC , где включена лампа L_1 , а вольтметр V_2 — напряжение на участке CD , где включена последовательно ей вторая лампа L_2 .

Вольтметр V показывает общее напряжение в цепи BD . Его показание равно сумме показаний вольтметров V_1 и V_2 .

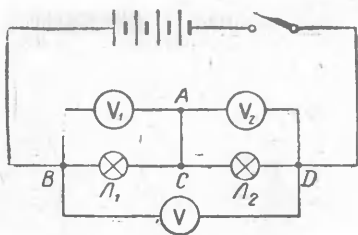


Рис. 165. Вольтметры включаются параллельно тем сопротивлениям, напряжения на которых требуется измерить.

Действительно, напряжение на участке BC равно $U_1 = \frac{P_1}{I}$, где P_1 — мощность, выделяемая на этом участке. Аналогично напряжение на участке CD : $U_2 = \frac{P_2}{I}$, где P_2 — соответствующая мощность. Но так как мощность на участке BD равна сумме мощностей на участках BC и CD , т. е. $P = P_1 + P_2$, то и напряжение на участке BD равно сумме напряжений U_1 и U_2 :

$$U_1 + U_2 = \frac{P_1}{I} + \frac{P_2}{I} = \frac{P_1 + P_2}{I} = \frac{P}{I} = U,$$

или

$$U = U_1 + U_2.$$

§ 112. Мощность тока. Зная напряжение и силу тока, можно найти выделенную мощность:

$$P = UI.$$

Например, по спирали электроплитки при напряжении 120 в проходит ток силой 5 а . Какую мощность выделяет плитка?

$$P = UI = 120 \cdot 5 = 600 \text{ (вт)}.$$

Это значит, что каждую секунду в плитке выделяется количество теплоты, равное 600 дж .

Очень часто этот вопрос формулируется иначе: какую мощность потребляет плитка; какую мощность развивает плитка; какова мощность тока в плитке или, просто, какова мощность плитки?

Как это следует понимать? В плитке происходит превращение электрической энергии во внутреннюю (спираль нагревается). Мощность является мерой превращения энергии за 1 сек .

Мощность 600 вт означает, что за 1 сек 600 дж электрической энергии переходит во внутреннюю энергию спирали плитки. Однако спираль плитки способом теплопередачи отдает энергию в окружающую среду. Поэтому, говоря о выделенной энергии, мы подразумеваем количество теплоты, отдаваемое плиткой окружающей среде.

Говоря о потребляемой мощности, мы учитываем количество электрической энергии, перешедшей в другие формы.

Под развиваемой мощностью (или, кратко, под мощностью тока) мы подразумеваем меру превращенной энергии за 1 сек .

Решим еще задачу. В электродвигателе троллейбуса при напряжении 550 в проходит ток силой 160 а . Какова мощность двигателя?

$$P = UI = 550 \cdot 160 = 88\,000 \text{ (вт)} = 88 \text{ (квт)}.$$

Это означает, что каждую секунду 88 кдж электрической энергии переходит в другие формы, главным образом в механическую (хотя часть электрической энергии переходит во внутреннюю при нагревании проводов).

Постановка задачи в другой форме (какую мощность развивает двигатель, какую мощность он потребляет и т. д.) не изменяет физической сущности вопроса.

Итак, *мощность тока показывает, какое количество электрической энергии перешло в другие формы в течение 1 сек.*

§ 113. **Работа тока.** Чтобы оценить количество электрической энергии, перешедшей в другие формы за любой промежуток времени, вводят понятие работы тока (A).

Так как

$$P = \frac{A}{t},$$

то

$$A = Pt,$$

или

$$A = UIt.$$

Решим задачу. Какая работа совершается за 10 мин (600 сек) в лампе, в которой при напряжении 220 в проходит ток силой 0,4 а?

$$A = UIt = 220 \cdot 0,4 \cdot 600 = 52\,800 \text{ (дж)} \approx 53 \text{ (кдж)}.$$

Это означает, что за данное время 53 кдж электрической энергии перешло в другие формы.

Решите задачи:

1. Батарея свинцовых аккумуляторов на автомобиле «Москвич» развивает мощность 48 вт. Под каким напряжением она работает, если сила тока равна 4 а? (Ответ: 12 в.)

2. Мощность электродвигателя трамвайного вагона 36 квт. Какую работу совершает она каждую минуту? Какой силы ток проходит по его двигателю, если напряжение в цепи 540 в? (Ответ: 2160 кдж; ≈ 67 а.)

§ 114. **Еще раз о напряжении.** Вновь вернемся к понятию «напряжение».

В формуле $A = UIt$ произведение It показывает, какой заряд q (в кулонах) прошел по цепи, так как

$$I = \frac{q}{t} \text{ и } q = It.$$

Отсюда

$$A = Uq,$$

или

$$U = \frac{A}{q}.$$

Таким образом, *о величине электрического напряжения также можно судить по работе тока. Если при перемещении по участку цепи заряда в 1 кулон совершается работа в 1 джоуль, то напряжение на этом участке 1 вольт.*

Как надо понимать, что батарея мотоциклетных аккумуляторов 3-МТ-7 дает напряжение 6 вольт? Это значит, что при перемещении по цепи между «+» и «-» батареи каждого кулона совершается работа 6 джоулей.

Поясните, как следует понимать, что батарея аккумуляторов, применяемая для освещения железнодорожных вагонов, дает напряжение 52 вольта.

Составление электрической цепи и измерение силы тока и напряжения на различных ее участках

Составьте цепь так, как показано на рисунке 166, включив последовательно с сопротивлениями *BC* и *DE* амперметр. Запишите силу тока, показанную этим прибором. Отключите цепь и поместите амперметр между проводниками *BC* и *DE*. Вновь замкните цепь и снова измерьте силу тока. Таким же образом переместите амперметр между сопротивлением *DE* и рубильником. Сопоставьте полученные силы тока во всех трех случаях и сделайте соответствующий вывод.

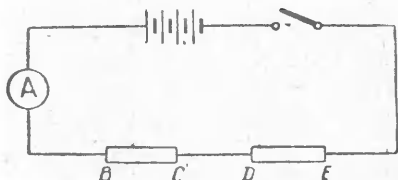


Рис. 166. К лабораторной работе «Составление электрической цепи и измерение силы тока и напряжения на различных ее участках».

Затем по этой же схеме включите параллельно сопротивлению *BC* вольтметр и запишите его показание. Включите его параллельно сопротивлению *DE* и вновь запишите показание. Что должен показать вольтметр, если его клеммы подключить к точкам *B* и *E*? Проверьте на опыте.

§ 115. Единица работы тока ватт-час. Работа тока мощностью в 1 вт в течение 1 часа носит название ватт-часа и обозначается $\text{вт} \cdot \text{ч}$.

Так как 1 час содержит 3600 секунд, а 1 вт соответствует работе 1 дж за секунду, то за 3600 сек работа тока будет составлять 3600 дж. т. е.

$$1 \text{ вт} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ дж}.$$

При подсчете затраты электрической энергии пользуются гектоватт-часами ($\text{гвт} \cdot \text{ч}$), киловатт-часами ($\text{квт} \cdot \text{ч}$), мегаватт-часами ($\text{Мвт} \cdot \text{ч}$).

$$1 \text{ гвт} \cdot \text{ч} = 100 \text{ вт} \cdot \text{ч} = 360 \text{ кдж},$$

$$1 \text{ квт} \cdot \text{ч} = 1000 \text{ вт} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ кдж} = 3,6 \text{ Мдж},$$

$$1 \text{ Мвт} \cdot \text{ч} = 1\,000\,000 \text{ вт} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ Мдж}.$$

В комнате в зимние месяцы горели 2 лампы, по 96 вт каждая, в среднем по 10 часов в сутки и плитка в 600 вт по 2 часа в сутки. Сколько стоит расход электрической энергии в месяц при тарифе 4 коп. за 1 квт·ч?

Энергия, потребляемая лампами в сутки:

$$96 \cdot 10 \cdot 2 = 1920 \text{ (вт} \cdot \text{ч)} = 1,92 \text{ (квт} \cdot \text{ч)}.$$

Энергия, потребляемая плиткой в сутки:

$$600 \cdot 2 = 1200 \text{ (вт} \cdot \text{ч)} = 1,2 \text{ (квт} \cdot \text{ч)}.$$

Общая энергия в сутки:

$$1,92 + 1,2 = 3,12 \text{ (квт} \cdot \text{ч)}.$$

Это составит за месяц:

$$3,12 \cdot 30 \approx 94 \text{ (квт} \cdot \text{ч)}.$$

Стоимость оплаты:

$$4 \text{ коп.} \cdot 94 = 3 \text{ руб. } 76 \text{ коп.}$$

Прикиньте приблизительный расход энергии в вашей квартире за 1 месяц и сравните сделанный подсчет с показанием счетчика.

Если вам приходится работать на станке, подсчитайте, какую энергию он расходует за одну смену и какой силы ток он в среднем потребляет во время работы.

§ 116. Сопротивление проводников. Будем подключать к одному и тому же источнику тока, например к аккумулятору, различные потребители (лампу, звонок, электромагнит), измеряя каждый раз при помощи амперметра силу тока в цепи. Мы заметим, что показания амперметра будут различны. Потребители отличаются друг от друга длиной, сечением и материалом проводников (нить лампы, обмотка электромагнита и т. д.).

Можно сделать вывод, что сила тока в цепи зависит от свойств самого проводника. Говорят, что разные проводники обладают различным сопротивлением. Чтобы сравнивать сопротивления проводников, надо знать силу токов, проходящих через проводники при одинаковом напряжении. Чем меньше при этом окажется сила тока, тем больше сопротивление проводника.

Разберем пример. Сравним сопротивления ламп, рассчитанных на напряжение 220 в и потребляющих мощности 40 вт и 100 вт.

Сила тока в первой лампе (сорокаваттной):

$$I_1 = \frac{P_1}{U} = \frac{40}{220} \approx 0,18 \text{ (а)}.$$

Сила тока во второй, более мощной лампе:

$$I_2 = \frac{P_2}{U} = \frac{100}{220} \approx 0,45 \text{ (а)}.$$

Так как сила тока во второй лампе больше, чем в первой, ее сопротивление меньше сопротивления первой лампы в $\frac{0,45}{0,18} = 2,5$ раза.

Ответьте на вопрос: какое сопротивление больше — электроплитки мощностью 600 вт или лампы в 200 вт, если обе они рассчитаны на одинаковое напряжение?

Сопротивление обозначается буквой R .

За единицу сопротивления принят 1 ом. Сопротивлением в 1 ом обладает столбик ртути длиной 1,063 м с площадью поперечного сечения 1 мм² при 0°C.

§ 117. Формула для расчета сопротивления проводника. Возьмем какой-нибудь проводник, например от спирали электроплитки¹, длиной 1 м с площадью поперечного сечения 1 мм² и с помощью амперметра измерим проходящий по нему ток при определенном напряжении. Опыт показывает, что если бы мы эту проволоку взяли в 2 или 3 раза длиннее, то при том же напряжении сила тока в 2 или 3 раза уменьшилась, т. е. сопротивление возросло бы соответственно в 2 или 3 раза.

¹ Спираль электроплитки чаще всего изготавливается из нихрома. Это сплав (75—78%) никеля и (20—23%) хрома с добавкой железа до 100%.

Обозначим первоначальное сопротивление греческой буквой ρ («ро»). При увеличении длины в L раз сопротивление возрастает и станет ρL .

Если бы мы взяли проволоку из того же материала и прежней длины L , но с площадью поперечного сечения в 2 или 3 раза большей, т. е. в 2 мм^2 или 3 мм^2 , то аналогичный опыт привел бы к заключению, что сопротивление получилось соответственно в 2 или 3 раза меньше. При увеличении площади сечения в S раз сопротивление уменьшится в S раз и делается равным

$$R = \rho \frac{L}{S}.$$

Если измерить сопротивление проводников из разных материалов длиной по 1 м каждый и с площадью поперечного сечения по 1 мм^2 , то мы получим различные значения для ρ . Очевидно, эта величина характеризует материал проводника. Она именуется удельным сопротивлением.

Удельное сопротивление проводника измеряется тем сопротивлением, которое имеет проводник длиной в 1 м при площади поперечного сечения 1 мм^2 .

Так как удельное сопротивление проводников изменяется с изменением температуры, то, указывая его значение, надо обязательно отмечать, для какой температуры оно дается. В справочниках оно приводится обычно для комнатной температуры 20° или для 0°C .

Так как R на практике измеряется в омах, S — в мм^2 , а L — в м, то удельное сопротивление имеет наименование $\frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

Удельное сопротивление (в $\frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ при 20°C)

Алюминий	0,028	Ртуть	0,96
Железо	0,098	Серебро	0,016
Медь	0,017	Сталь	0,12
Никелин	0,42	Фехраль	1,2
Нихром	1,1	Уголь	40

Ответьте на в о п р о с: как надо понимать, что удельное сопротивление меди равно $0,017 \frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$?

С повышением температуры удельное сопротивление металлов увеличивается, а угля и полупроводников, наоборот, уменьшается.

§ 118. Реостаты. Для того чтобы регулировать силу тока в цепи, надо воспользоваться таким сопротивлением, величину которого легко изменять. Тогда при увеличении сопротивления мы будем ослаблять ток в цепи, а при уменьшении сопротивления, наоборот, увеличивать.

Для этой цели используются реостаты. На рисунке 167 показан наиболее распространенный реостат с подвижным контактом.

На цилиндр, сделанный из изолятора, намотана проволока, концы которой подключены к клеммам *A* и *B*. Если к этим клеммам присоединить провода, то ток будет проходить по всей обмотке реостата. В таком случае говорят, что он будет включен полностью. Над цилиндром расположен металлический стержень *KC*, по которому перемещается ползунок *D*, плотно прижимающийся к виткам проволоки реостата.

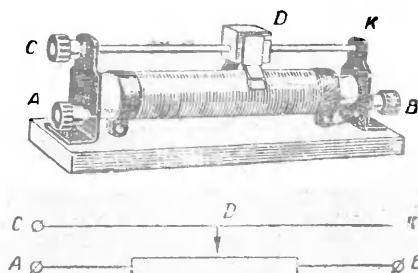


Рис. 167. Реостат.

Присоединим концы проводов цепи к клеммам *A* и *C*. В таком случае ток пройдет по участку реостата от клеммы *A* до места касания его витков с ползунком *D* и далее по стержню *KC* к клемме *C*¹. Так как сопротивление стержня *KC* ничтожно, то сопротивление реостата будет определяться только его участком от клеммы *A* до ползунка *D*. Двигая ползунок *D* вправо, мы будем увеличивать количество витков реостата, по которым проходит ток, т. е. станем уменьшать силу тока в цепи.

Ответьте на вопросы:

1. Подумайте, как будет меняться сопротивление реостата, если провода от цепи присоединить к клеммам *C* и *B*, а ползунок реостата *D* двигать вправо. Как при этом станет изменяться сила тока?

2. На реостате написано: «1400 ом; 0,4 а». Как понимать эту надпись?

На рисунке 168 показана цепь, в которую включено постоянное сопротивление *BC* и реостат *CD*. Обратите внимание на их условные обозначения.

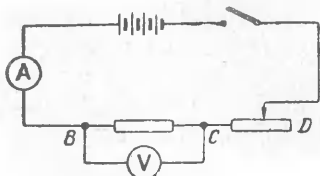


Рис. 168. Отношение напряжения на концах проводника *BC* к силе проходящего по проводнику тока есть величина постоянная.

§ 119. Закон Ома. Составим цепь, включив последовательно сопротивление *BC* и реостат *CD* (рис. 168). При помощи вольтметра *V* будем измерять напряжение на концах сопротивления *BC*. Амперметр *A* покажет силу тока в цепи.

Передвигая подвижной контакт реостата, начнем изменять силу тока в цепи, при этом будут изменяться и показания вольтметра *V*.

¹ В приведенном рассуждении мы указываем путь, по которому проходит ток. Надо иметь в виду, что электрическое поле распространяется со скоростью света, т. е. практически мгновенно, и движение электронов возникает во всем проводнике одновременно.



Г. Ом (1787—1854)

Данные опыта запишем в таблицу.

Сила тока в цепи I (а)	Напряжение на концах со- противления U (в)	Отношение $\frac{U}{I}$
0,4	1,0	2,5
0,68	1,7	2,5
0,8	2,0	2,5
1,0	2,5	2,5
1,36	3,4	2,5

Опыт приводит нас к заключению, что отношение напряжения на концах проводника к силе проходящего по этому проводнику тока является постоянной для данного проводника величиной. Она зависит только от свойств провод-

ника, т. е. от его длины, площади и поперечного сечения, материала и от температуры. Таким образом, это отношение будет характеризовать сопротивление проводника R :

$$R = \frac{U}{I}.$$

Из этой формулы можно определить силу тока:

$$I = \frac{U}{R}.$$

В таком виде формула носит название закона Ома для участка цепи, так как впервые связь между величинами, входящими в формулу, исследовал и установил немецкий ученый Ом в 1827 г.

Сила тока прямо пропорциональна напряжению на концах проводника и обратно пропорциональна сопротивлению проводника.

Решим задачу. На паспорте реостата написано: «30 ом; 5 а». Можно ли этот реостат включить в сеть с напряжением 220 во?

Надпись означает, что сопротивление всей обмотки реостата равно 30 ом, а предельная допустимая сила тока не должна превышать 5 а.

Рассчитаем, какова была бы сила тока при включении реостата в сеть

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{30} \approx 7,3 \text{ (а)}.$$

Эта сила тока превышает допустимую, т. е. реостат в сеть включать нельзя.

Приведем другое рассуждение. Найдем, какое напряжение можно подать на реостат, чтобы сила тока не превышала допустимую (5 а):

$$U = I \cdot R = 5 \cdot 30 = 150 \text{ (в)}.$$

Напряжение в сети больше 150 в, значит, реостат включать в сеть нельзя.

Решим еще задачу. На цоколе лампы написано «127 в; 96 вт». Каково сопротивление включенной в сеть лампы?

При напряжении 127 в потребляемая лампой мощность равна 96 вт. Найдем силу тока,

$$I = \frac{P}{U} = \frac{96}{127} \approx 0,75 \text{ (а)}.$$

Зная силу тока и напряжение, рассчитаем сопротивление:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{127}{0,75} \approx 170 \text{ (ом)}.$$

Решите задачи:

1. Сколько метров проволоки, сопротивление 1 м которой равно 6 ом, необходимо взять, чтобы при включении ее в сеть с напряжением 120 в сила тока в цепи была равна 1,25 а? (Ответ: 16 м.)

2. По нагревательному элементу электрического чайника проходит ток 4 а при напряжении 120 в. Найдите потребляемую чайником мощность, сопротивление элемента и удельное сопротивление материала обмотки, если ее длина 18 м, а сечение 0,24 мм². (Ответ: 480 вт; 30 ом; $0,4 \frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.)

3. Определите длину нихромовой проволоки сечением 0,2 мм², которую надо поставить в электрическую плитку, рассчитанную на напряжение 220 в и силу тока 3 а. (Ответ: ≈ 13 м.)

§ 120. Снова о напряжении. Из закона Ома следует, что сила тока в проводнике определяется не только его сопротивлением, но и напряжением, приложенным к концам проводника.

Напряжение — это своего рода «напор», вызывающий движение зарядов. Чем больше этот «напор» — напряжение, тем больше при том же сопротивлении сила тока в цепи.

Единицу напряжения 1 вольт можно определить как такое напряжение, которое надо подать на проводник с сопротивлением 1 ом, чтобы получить силу тока в 1 а.

Итак, как надо понимать, что напряжение на полюсах аккумулятора равно 2 в?

Во-первых, можно сказать, что при подключении к его полюсам такого потребителя, по которому пойдет ток в 1 а, будет выделяться мощность 2 вт.

Во-вторых, при прохождении через потребитель каждого кулона будет совершаться работа в 2 дж. Иначе говоря, 2 дж электрической энергии будет переходить в другие формы.

В-третьих, при подключении проводника с сопротивлением в 1 ом по цепи пойдет ток силой 2 а.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Определение сопротивления проводника

Составьте цепь, как это показано на рисунке 168. Цель работы: измерить сопротивление ВС. Перемещая движок реостата CD, снимите несколько (три-четыре) показаний амперметра и вольтметра и для каждого измерения вы-

числите сопротивление. Результаты занесите в таблицу, как это сделано в § 119. Так как вследствие неточности приборов и наших органов чувств вычисленные значения сопротивления могут несколько отличаться друг от друга, найдите среднее арифметическое значение.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Изучение последовательного соединения проводников

Измерьте сопротивление двух или трех проводников, воспользовавшись для этой цели амперметром и вольтметром. Запишите показания приборов и полученные сопротивления R_1 , R_2 , R_3 .

Затем соедините эти проводники последовательно и таким же способом найдите их общее сопротивление.

Если вы проделали работу достаточно точно, то вы убедитесь, что *при последовательном соединении проводников их общее сопротивление равно сумме отдельных сопротивлений*:

$$R_{\text{общ}} = R_1 + R_2 + R_3.$$

Соединены последовательно 3 реостата с сопротивлением по 30 ом каждый. Каково их общее сопротивление? Сделайте вывод: чему равно общее сопротивление последовательно включенных n одинаковых проводников, если сопротивление каждого равно R .

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Изучение параллельного соединения проводников

Возьмите два проводника и измерьте сопротивление каждого из них по схеме, показанной на рисунке 168. Соедините их параллельно и, пользуясь вольтметром и амперметром (рис. 169), найдите их общее сопротивление.

Теория показывает, что для вычисления общего сопротивления двух или нескольких проводников, соединенных параллельно, надо воспользоваться формулой:

$$\frac{1}{R_{\text{общ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots,$$

где R_1 , R_2 , R_3 , ... — сопротивления отдельных проводников.

Величина, обратная сопротивлению, называется проводимостью. Следовательно, при параллельном соединении проводников их общая проводимость равна сумме проводимостей отдельных проводников.

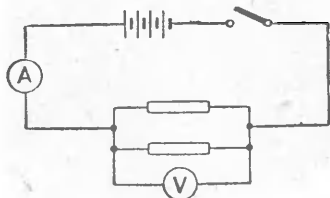


Рис. 169. К лабораторной работе «Изучение параллельного соединения проводников».

Проверьте, соответствует ли полученный нами на опыте результат теоретическому выводу.

В классе имеется 10 параллельно включенных одинаковых ламп с сопротивлением по 100 ом каждая. Каково их общее сопротивление?

Как можно подсчитать общее сопротивление n параллельно включенных одинаковых проводников, если каждый из них имеет сопротивление R ?

Ответьте на вопрос. Почему при

последовательном соединении проводников их общее сопротивление увеличивается, а при параллельном уменьшается?

Один раз соединили 3 одинаковых проводника последовательно, а второй раз — параллельно. Как и во сколько раз при этом изменилось их общее сопротивление? (О т в е т: уменьшилось в 9 раз.)

§ 121. Тепловое действие тока. Вспомним формулу для вычисления работы тока, которую мы приводили в § 113:

$$A = UIt.$$

В неподвижном проводнике вся эта работа превращается во внутреннюю энергию — проводник нагревается. В электродвигателе часть энергии, выделяемой током, идет на механическую работу двигателя, а только часть — на нагревание проводника. Впрочем, об этом будем говорить в дальнейшем, пока станем рассматривать только неподвижные проводники, в которых вся работа тока идет на нагревание проводника, т. е. в нем выделяется тепло в количестве:

$$Q = UIt.$$

Эту формулу можно преобразовать, заменяя (по закону Ома) I через $\frac{U}{R}$. В таком случае получаем:

$$Q = \frac{U^2}{R} t.$$

Обычно все приемники электрической энергии (лампы, плитки, электродвигатели) включают в цепь параллельно под то напряжение, которое дает сеть (например, 220 в). *Выделенное за одинаковое время тепло в разных проводниках при их параллельном включении, как это видно из формулы, обратно пропорционально их сопротивлениям.*

Плитка и лампа с соответствующими мощностями 600 вт и 150 вт включены в цепь параллельно. У которой из них и во сколько раз больше сопротивление?

Плитка каждую секунду выделяет энергию 600 дж, а лампа 150 дж. Значит, у плитки меньше сопротивление, чем у лампы в 4 раза.

Выясним, как будет выделяться тепло в плитке и лампе, если их включить последовательно.

При последовательном соединении проводников по ним проходит один и тот же ток. Для этого случая удобно преобразовать формулу:

$$Q = UIt \text{ дж},$$

заменяя в ней U через IR .

Из полученного выражения:

$$Q = I^2 R t \quad (*)$$

видно, что *при последовательном соединении проводников за одно и то же время количество выделенного тепла прямо пропорционально сопротивлению проводника*¹.

Ответьте на вопросы.

1. Где будет больше выделяться тепла за одно и то же время в указанных выше плитке или лампе при их последовательном включении?

2. Почему во всех электрических цепях подводящие провода практически не нагреваются?

§ 122. Нагревательные приборы. Решим задачу. Требуется подобрать проводник для изготовления спирали электроплитки мощностью 600 *вт* при напряжении 127 *в*.

$$\text{Из формулы } A = \frac{U^2}{R} t \text{ можно найти мощность плитки } P = \frac{A}{t} = \frac{U^2}{R},$$

откуда

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{127 \cdot 127}{600} \approx 27 \text{ ом.}$$

Чтобы получить сопротивление в 27 *ом*, можно взять проводники из различного материала и разного сечения. Например, медного провода сечением в 1 *мм*² потребуется около 1,5 *км*. Спираль, изготовленная из такого проводника, будет нелепо громоздкой и почти не станет нагреваться, так как все выделенное тепло распределится по проводнику чрезвычайно большой длины. Если взять очень тонкую медную проволоку, то можно значительно укоротить ее. Так, при сечении в 0,01 *мм*² она станет короче в 100 раз, но такая проволока быстро перегорит. Поэтому целесообразно выбрать материал, который обладает большим удельным сопротивлением. Таким является *н и х р о м*. Для получения сопротивления 27 *ом* при сечении *нихромовой* проволоки в 1 *мм*² длина ее (если учитывать еще увеличение сопротивления при повышении температуры) будет сравнительно небольшой — немного более 10 *м*.

Иногда у учащихся создается ошибочное представление о том, что проводники с большим удельным сопротивлением применяются в электронагревательных приборах для того, чтобы увеличить их мощность. Вспомним формулу:

$$P = \frac{U^2}{R}.$$

Чем больше мы хотим получить от прибора теплоты, тем меньшим сопротивлением должен обладать проводник. Большое удельное сопротивление проводника позволяет сделать его ко-

¹ Формула (*) была выведена впервые в 1842 г. англичанином Д. Джоулем и русским ученым Э. Ленцем. Известна как закон Джоуля — Ленца. Так как количество теплоты тогда выражалось в калориях, а 1 *дж* = 0,24 *кал*, то формула имела вид:

$$Q = 0,24 I^2 R t \text{ (кал).}$$

ротким при не слишком малом сечении. Такой проводник будет нагреваться достаточно сильно.

Введем еще одну характеристику электронагревательного прибора, которая называется коэффициентом его полезного действия и обозначается буквой η .

Коэффициент полезного действия нагревательного прибора показывает, какую часть (обычно выражается в %) составляет количество теплоты, пошедшее на полезное нагревание, от количества теплоты, выделяемой током в нагревательном приборе:

$$\eta = \frac{Q_{\text{полезн}}}{Q_{\text{затрач}}}.$$

Пример. На плитке мощностью 600 *вт* нагревалось 2 л воды от 10° С до кипения, т. е. на 90 град в течение 28 мин. Каков к. п. д. плитки?

Подсчитаем сначала количество теплоты, пошедшей на полезное нагревание:

$$Q_{\text{полезн}} = cm(t_2 - t_1) \approx 4200 \cdot 2 \cdot 90 \approx 756\,000 \text{ (дж)} \approx 756 \text{ (кдж)}.$$

При мощности 600 *вт* в плитке выделялось каждую секунду по 600 *дж* теплоты, за 1 мин — в 60 раз больше, а за 28 мин — еще в 28 раз больше, т. е.

$$Q_{\text{затр}} = Pt = 600 \cdot 60 \cdot 28 = 1\,008\,000 \text{ (дж)} = 1008 \text{ (кдж)}.$$

Отсюда

$$\eta = \frac{756}{1008} \approx 0,75, \text{ или } 75\%.$$

§ 123. Лампа накаливания. Лампа накаливания была впервые создана в 1873 г. русским ученым А. Н. Лодыгиным (1847—1923). В стеклянный баллон, из которого был удален воздух, вводилось два достаточно толстых металлических электрода, которые соединялись угольным стерженьком (рис. 170). При прохождении тока угольный стерженец раскалялся до свечения.

Спустя 17 лет Лодыгин усовершенствовал свое изобретение, заменив угольный стержень металлической нитью из тугоплавкого металла.

В современных лампах накаливания (рис. 171) ток проходит по волоску, изготовленному из металла вольфрама. В лампах небольшой мощности (до 60 *вт*) воздух из баллона тщательно выкачивается. Нить раскаляется током до температуры около 2100°. В лампах большей мощности баллон обычно заполняется смесью аргона с азотом. Эти газы не вступают в реакцию с раскаленной вольфрамовой нитью, а их давление на



А. Н. Лодыгин
(1847—1923)

нить уменьшает ее распыление и увеличивает срок службы лампы. Температура нити при этом достигает 2600° .

§ 124. Плавкие предохранители. При коротком замыкании, т. е. в случае если ток проходит по цепи, минуя соответствующее сопротивление (лампу, плитку и проч.), только по подводящим проводам, сопротивление становится малым и сила тока резко возрастает. При этом катастрофически увеличивается выделение тепла в проводах, они раскаляются, изоляция начинает гореть, может возникнуть пожар.

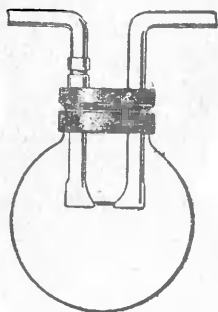


Рис. 170. Лампа с угольным стерженьком Лодыгина.

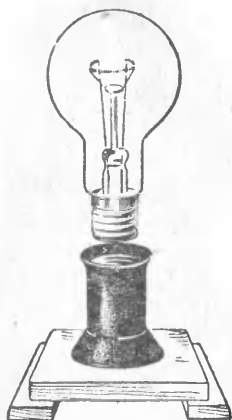


Рис. 171. Современная лампа накаливания.

Для предотвращения пожара в цепь включается плавкий предохранитель, т. е. патрон со свинцовой проволокой (рис. 172). При прохождении очень сильного тока свинцовая проволока плавится, прежде чем провода успеют нагреться до опасной температуры, и цепь размыкается.

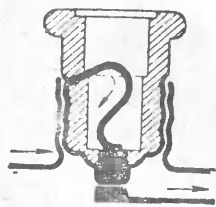


Рис. 172. Плавкий предохранитель.

Плавкие предохранители всегда должны быть исправны. Нельзя пользоваться различными «жучками», которые не смогут вовремя разомкнуть цепь.

§ 125. Электрическая дуга. Русский ученый В. В. Петров (1761—1834) создал в самом начале прошлого века грандиозную батарею из 4200 медных и цинковых кружочков с прокладкой между ними бумаги, пропитанной электролитом. При помощи этого небывалого для того времени источника тока он осуществил ряд опытов, сделав блестящие открытия.

Петров обнаружил в 1802 г., что два уголька, включенные в цепь от этой батареи и приведенные сначала в соприкоснове-

ние, а потом несколько раздвинутые, создают ослепительно яркий свет, получивший название электрической дуги. Он не только первый открыл это явление, но и указал, что его можно использовать для освещения, для плавки металлов и для некоторых металлургических целей, например, получения чистых металлов из их руд.

Как же образуется дуга Петрова? При соединении угольков вследствие неровности их поверхностей возникает плохой контакт, в месте соприкосновения создается большое сопротивление и выделяется много тепла. При раздвижении угольков из раскаленного катода вырываются электроны, воздух между угольками становится проводником, начинает светиться. Температура дуги доходит до 4000° .

Возникает вопрос: почему свечение между двумя горизонтально расположенными угольками имеет вид «дуги» (рис. 173). Все дело в конвекции. Раскаленный воздух поднимается вверх, и свечение дугообразно изгибается.

§ 126. **Свеча Яблочкова.** Выдающийся русский ученый П. Н. Яблочков (1847—1894) впервые использовал дугу Петрова как источник света. На рисунке 174 показана «свеча Яблочкова», которая впервые была применена им в 1876 г. для освещения



П. Н. Яблочков
(1847—1894)

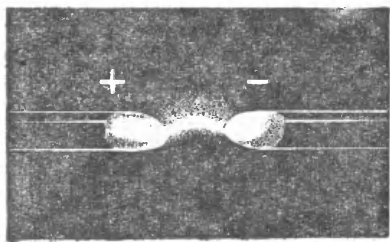


Рис. 173. Электрическая дуга.

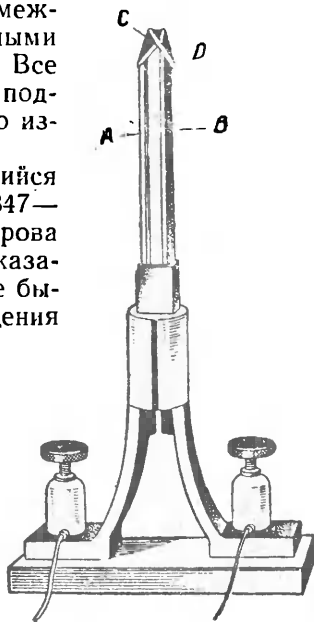


Рис. 174. Свеча Яблочкова.



Н. Г. Славянов
(1854—1897)

Лондонской выставки. Через год улицы, театры и магазины Парижа стали освещаться «свечами Яблочкова», а вскоре эти источники света получили широкое распространение во многих странах.

На рисунке 174 показано устройство «свечи Яблочкова». Два угольных стерженька *A* и *B* располагались параллельно и отделялись друг от друга прослойкой каолина, являющегося изолятором, но способного испаряться по мере сгорания угольков. Для зажигания служит угольная полоска *CD*, соединяющая концы углей, которая при пропускании тока сначала накаливается, а затем сгорает, образуя дугу.

§ 127. Электрическая сварка. Сварка металлов при помощи электрической дуги играет в настоящее время громадную роль в технике. Она обеспечивает большую прочность металлических конструкций и дает значительную экономию в стоимости работ. Соединение заклепками в настоящее время повсеместно заменяется электрической сваркой соединяемых частей.

Изобретателем сварки является русский инженер Н. Н. Бенардос (1842—1905). Спустя 6 лет другой русский ученый Н. Г. Славянов (1854—1897) значительно усовершенствовал изобретение Бенардоса.

При сварке по методу Славянова один провод от источника тока присоединяется к соответствующему изделию, а другой — к стержню, изготовленному из того же металла, из которого состоит изделие. При соприкосновении стержня с изделием, а затем при некотором его удалении между стержнем и изделием возникает дуга. Стержень плавится и заполняет шов или трещину жидким металлом. На рисунке 175 показан принцип осуществления электрической сварки.

§ 128. Опасен ли для жизни ток при напряжении 127 и 220 в? Напряжение в электрической сети чаще всего бывает 127 в или 220 в. Опасен ли для жизни электрический ток при таких напряжениях?

Ток порядка десятой ампера уже представляет смер-

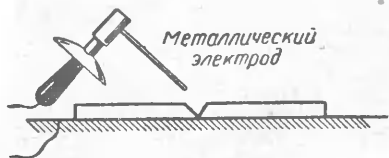


Рис. 175. Электрическая сварка по способу Славянова.

тельную опасность для человека, но в ряде случаев ток даже силой в несколько сотых ампера вызывал смерть. Сопротивление человеческого тела сильно колеблется в зависимости от сухости кожи, нервного состояния и других причин. В среднем оно (сопротивление) обычно колеблется от 1000 *ом* до 100 000 *ом*.

Пусть через человека прошел ток при напряжении 220 *в*. Если сопротивление тела принять равным даже 10 000 *ом*, то сила проходящего через него тока составит:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{10\,000} = 0,022 \text{ а.}$$

При таком токе руки человека парализуются, дыхание затрудняется. Однако если бы сопротивление его тела заметно уменьшилось, то сила тока могла бы достичь опасных размеров. Так, например, если бы человек ухватился за провода мокрыми руками, это понизило бы сопротивление кожи и человек мог бы погибнуть даже при напряжении 127 *в*.

Задачи для самостоятельного решения:

1. Каково сопротивление спирали электроплитки в рабочем состоянии, если при напряжении 125 *в* по ней идет ток в 5 *а*?

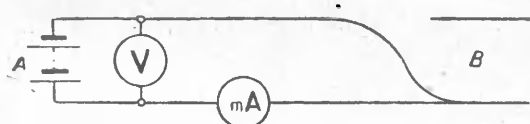


Рис. 176. К задаче 7.

2. По нити лампы с сопротивлением 100 *ом* идет ток в 1,2 *а*. Под каким напряжением находится лампа?

3. Медная проволока была пропущена через волочильный станок, в результате чего ее длина увеличилась вдвое, а площадь поперечного сечения уменьшилась тоже вдвое. Как и во сколько раз изменилось сопротивление этой проволоки? (Ответ: увеличилось в 4 раза.)

4. Медную проволоку разрезали на 5 одинаковых по длине кусков, и из них свили один провод в виде троса. Как и во сколько раз изменилось сопротивление провода? (Ответ: уменьшилось в 25 раз.)

5. Каково сопротивление каждого километра медного провода с сечением 20 *мм*²? (Ответ: 0,85 *ом*.)

6. Надо изготовить реостат с сопротивлением 8 *ом*. Какой длины никелиновую проволоку с сечением 0,8 *мм*² надо использовать? (Ответ: ~5,8 *м*.)

7. Между пунктами А и В протянута двухпроводная линия связи сопротивлением 800 *ом*. Расстояние от А до В 10 *км*. Определить, на каком расстоянии от А произошло замыкание линии (рис. 176), если вольтметр показывает 10 *в*, а миллиамперметр 40 *ма*? (Ответ: ~3,3 *км*.)

8. Какой силы ток из сети с напряжением 220 *в* потребляет двигатель станка, развивающего мощность 1,1 *квт*? Каково его сопротивление в рабочем состоянии? (Ответ: 5 *а*; 44 *ом*.)

9. Электрический паяльник имеет сопротивление 800 *ом* и включается в сеть с напряжением 220 *в*. Какую мощность он потребляет? (Ответ: 60,5 *вт*.)

10. Вследствие испарения и распыления материала с поверхности нити накала лампы нить с течением времени становится тоньше. Как это влияет на потребляемую лампой мощность?

11. Две плитки имеют одинаковую мощность; одна из них рассчитана на питание от сети с напряжением 127 в, а другая — с напряжением 220 в. Как и во сколько раз отличаются их сопротивления? (Ответ: сопротивление первой плитки приблизительно в 3 раза меньше, чем второй.)

12. По ошибке для сети с напряжением 127 в была приобретена спираль, рассчитанная на напряжение 220 в и мощность 550 вт. Какова мощность этой спирали в сети с напряжением 127 в? (Ответ: около 180 вт.)

13. Сколько времени потребует нагревание 1,5 л воды от 20°С до 100°С на плитке мощностью 600 вт, если к.п.д. плитки 70%? (Ответ: 20 мин.)

14. Какое количество воды будет обращаться ежеминутно в пар из сосуда с водой после начала кипения, если он находится на плитке мощностью 600 вт с к.п.д. 70%? (Ответ: ~ 11 г.)

Глава XIV

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 129. Свойства магнитов. Мы уже знаем (§ 100), что электрический ток всегда сопровождается магнитным действием. Изучим подробнее магнитные явления, используя в первую очередь постоянные магниты.

С постоянными магнитами различной формы (рис. 177 и 178), изготовленными из стали или специальных сплавов, каждому из нас неоднократно приходилось встречаться.

Поднося магнит к телам из различных веществ: дерева, стекла, алюминия, пластмассы, свинца, железа и т. д., мы убеждаемся, что магнит притягивает железо, а также сталь и чугун, которые состоят в основном из железа с различным содержанием углерода.

Железный предмет, касающийся магнита (см. рис. 177) или поднесенный к нему на близкое расстояние, сам становится магнитом. Если магнит убрать, то железо размагничивается, а хорошо закаленная сталь отчасти сохраняет магнитные свойства.

Те места магнита, в которых обнаруживаются наиболее сильные магнитные действия, называются полюсами магнита (см. рис. 178). Они разделены линией, по которой не проявляется магнитных свойств и которая носит название нейтральной линии.

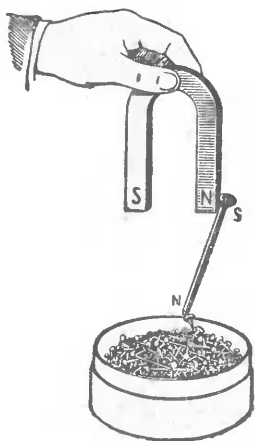


Рис. 177. Подковообразный магнит.



Рис. 178. Полосовой магнит.

Уже в древнем Китае более 4000 лет назад было известно, что магнит, который может свободно вращаться вокруг вертикальной оси, всегда устанавливается строго определенным образом по отношению к странам света. Полюс, обращенный к географическому северу, был назван северным (его обычно окрашивают в синий цвет и обозначают латинской буквой *N* или русской *С*), а полюс, обращенный к югу, — южным (окрашивают в красный цвет и обозначают латинской буквой *S* или русской *Ю*).



Рис. 179. Компас.

Это свойство магнита используется в компасе (рис. 179).

Опишите устройство компаса и вспомните правила пользования им.

Поднося к магнитной стрелке какой-либо полюс магнита (рис. 180, *а*, *б*), например южный, можно заметить, что магнитная стрелка повернется к нему разноименным полюсом, в нашем

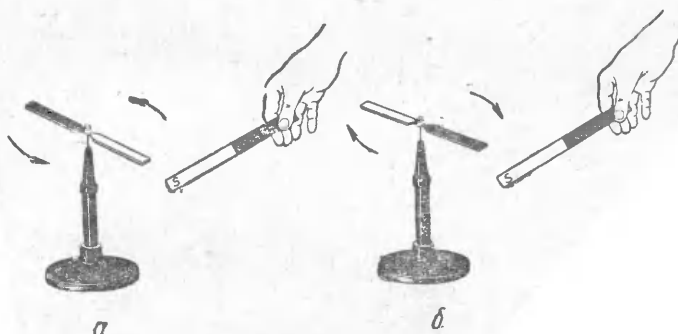


Рис. 180. *а* — одноименные полюсы магнита и стрелки отталкиваются; *б* — разноименные — притягиваются.

случае — северным. Одноименный полюс (южный) будет отталкиваться. Повторив опыт с северным полюсом, можно сделать вывод, что *разноименные магнитные полюсы притягиваются, а одноименные отталкиваются*.

Подумайте, как, имея магнитную стрелку, определить, намагничено ли какое-либо стальное тело, например лезвие перочинного ножа, а если намагничено, то как указать наименование полюсов.

§ 130. Строение магнита. Намагнитим стальную спицу или пилку для лобзика. Для этого проведем по пилке каким-либо полюсом магнита, например северным, несколько раз в одном направлении (рис. 181, *а*). При помощи магнитной стрелки можно убедиться, что пилка стала магнитом, причем на конце *В* образовался южный полюс, а на конце *А* — северный.

Сломаем пилку пополам. Может быть, нам удастся разделить полюсы магнита, как мы разделяли положительные и отрицательные заряды при электризации через влияние (§ 94)? Испытав полученные части пилки AA_1 и BB_1 , мы заметим, что на их концах образовались разноименные полюсы (рис. 181, б). Можно было бы продолжать деление и дальше, но каждый раз мы получали бы все более и более маленькие магниты, имеющие два полюса (рис. 181, в). Как же объясняется это?

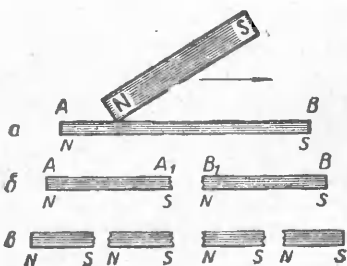


Рис. 181. а — намагничивание стальной пилки; б, в — деление магнита на части.

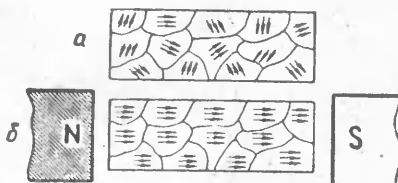


Рис. 182. Расположение доменов в куске железа: а — до намагничивания; б — при намагничивании.

Оказывается, что молекулы любого вещества представляют собой как бы маленькие магнитики, имеющие свои северный и южный полюсы, но тепловое движение препятствует их ориентации. У железа молекулы от природы образуют группы, называемые доменами, причем все молекулы каждого домена имеют одинаковое расположение полюсов. Однако у различных доменов расположение полюсов самое разнообразное, вследствие чего кусок железа никаких магнитных свойств не обнаруживает. При намагничивании все домены начинают ориентироваться своими полюсами в одинаковом направлении. Рисунок 182, а, б, показывает беспорядочное расположение доменов до намагничивания и их ориентацию при намагничивании.

Железо отличается от стали тем, что тепловое движение легко нарушает ориентацию доменов и железо легко размагничивается, сталь же сохраняет их упорядоченное положение.

Объясните, почему и стальной магнит размагничивается при нагревании до высокой температуры или при резких сотрясениях.

§ 131. Магнитное поле. В § 92 указывалось, что взаимодействие заряженных тел осуществляется через посредство окружающих их электрических полей.

Магнит, подобно электрическим зарядам, тоже действует на расстоянии: притягивает железные предметы, отклоняет магнитную стрелку, причем эти явления происходят и в пространстве, откуда удален воздух. Легко сделать заключение о том, что ни

воздух, ни какое-либо другое вещество, окружающее магниты, не является посредником в магнитных взаимодействиях. Согласно современным воззрениям, магнит окружен особым видом материи — магнитным полем.

Для исследования магнитного поля применяют небольшие магнитные стрелки. В каждом месте пространства магнитное поле поворачивает стрелку определенным образом (рис. 183), действуя на нее с некоторой силой. За направление магнитной силы в любой точке поля принимается направление северного полюса магнитной стрелки.

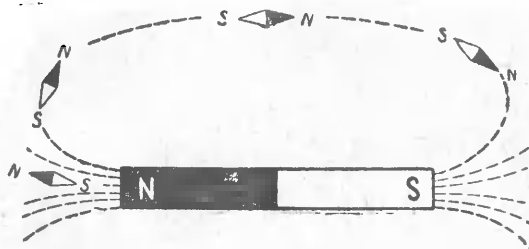


Рис. 183. Расположение магнитных стрелок в магнитном поле.

Часто применяют другой очень простой и наглядный прием исследования магнитного поля — с помощью мелких железных опилок. Положим на магнит стекло или лист бумаги и будем сыпать на него ровным слоем мелкие железные опилки, слегка

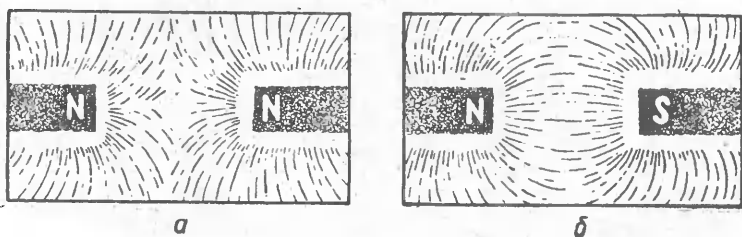


Рис. 184. Магнитное поле:

а — между одноименными полюсами; *б* — между разноименными полюсами.

постукивая по листу. Находясь в магнитном поле, опилки сами становятся маленькими магнетиками и притягиваются друг к другу противоположными полюсами. Линии, которые они образуют при этом (рис. 184, *а*, *б*, и 185), называются силовыми линиями. Считают, что силовые линии выходят из северного полюса магнита и входят в южный.

Магнитная стрелка как раз устанавливается вдоль силовой линии (точнее, по касательным к ней), и ее северный полюс указывает направление соответствующей силовой линии.

Укажите направление силовых линий на рисунках 184, *а* и *б*, и 185.

Чтобы намагнитить железный стержень, не обязательно проводить по нему магнитом, достаточно внести этот стержень в магнитное поле, тогда его отдельные домены будут поворачиваться и ориентироваться по полю.

Объясните, как происходит намагничивание железного стержня *В* (рис. 186), введенного в поле магнита *А*.

Ответьте, почему куски железа притягиваются к магниту. Учтите, что при приближении к магниту они попадают в его магнитное поле.

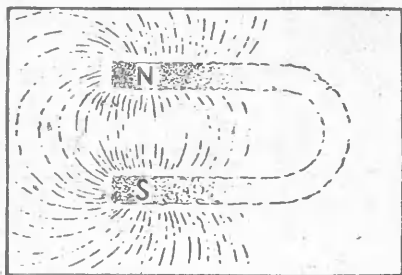


Рис. 185. Магнитное поле подковообразного магнита.

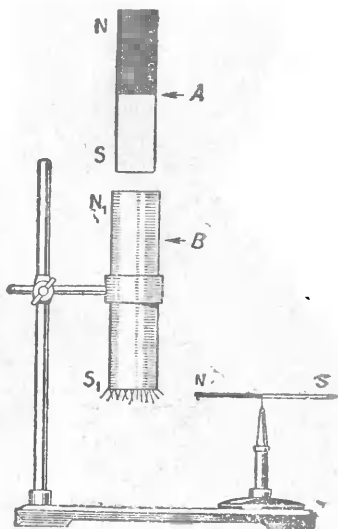


Рис. 186. Намагничивание через влияние.

§ 132. Электромагнит. Мы уже отмечали, что вокруг проводника с током существует магнитное поле (§ 100). Опыт, изображенный на рисунке 152, был впервые показан в 1820 г. датским физиком Г. Эрстедом (1777—1851),

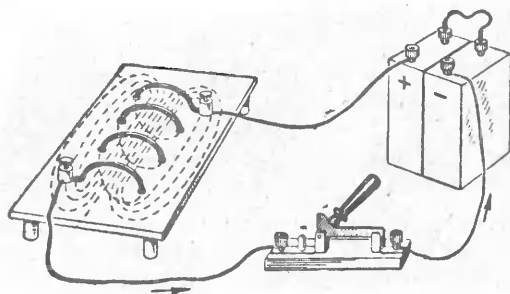


Рис. 187. Магнитное поле катушки с током.

Для изучения магнитного поля тока используем катушку, через которую пропустим ток. Исследуя возникшее при этом магнитное поле при помощи железных опилок (рис. 187) или магнитных стрелок, мы убеждаемся, что оно имеет такой же

вид, как поле постоянного полосового магнита¹. Сравните рисунок 187 с рисунком 183.

Обратите внимание на то, что магнитные силовые линии (рис. 187) представляют собой замкнутые кривые линии.

Введение в катушку железного сердечника А (рис. 188) во много раз усиливает ее магнитное действие.

Объясните самостоятельно, почему это происходит.

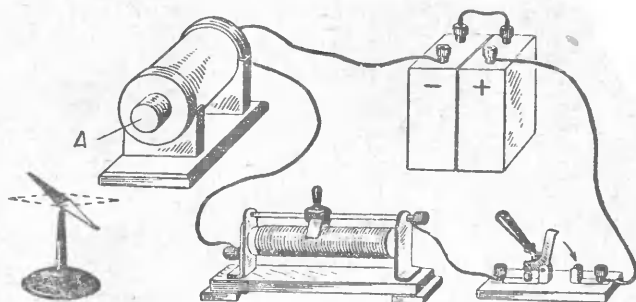


Рис. 188. Железный сердечник, введенный в катушку с током,

Такую катушку с железным сердечником называют электромагнитом. В зависимости от назначения электромагнитам придают различную форму. На рисунке 189 показан электромагнит на подъемном кране.

Подумайте, какие преимущества имеет электромагнит перед постоянным магнитом.

Применение электромагнитов в технике чрезвычайно широко и разнообразно. Они являются неотъемлемой частью всех машин и приборов, в которых за счет энергии тока получают движение (электродвигатели, электроизмерительные приборы, электрические звонки и т. д.). Рассмотрим некоторые применения электромагнитов.

§ 133. Электромагнитное реле. Электромагнитное реле применяется почти во всех автоматических устройствах. Принцип работы простейшего реле (рис. 190) заключается в том, что

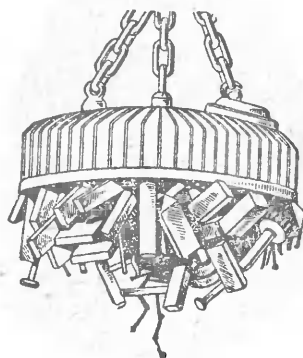


Рис. 189. Электромагнит на подъемном кране.

¹ Та сторона катушки, по которой ток идет по часовой стрелке, является южным магнитным полюсом, противоположная сторона (ток идет против часовой стрелки) — северным.

при помощи слабых сигналов в управляющей цепи I можно регулировать мощные процессы в исполнительной цепи II.

При замыкании ключа K_1 по обмотке электромагнита M проходит управляющий (обычно слабый) ток. Якорь A , притягиваясь к магниту M , замыкает контакты исполнительной цепи K_2 , в которую могут быть включены любые потребители, питающиеся от мощного источника тока B_2 . При размыкании управляющей цепи пружина B оттягивает якорь, отключая исполнительную (рабочую) цепь.

Включать и выключать рабочую цепь можно также, увеличивая или уменьшая силу тока в управляющей цепи (на нашем рисунке с помощью реостата R).

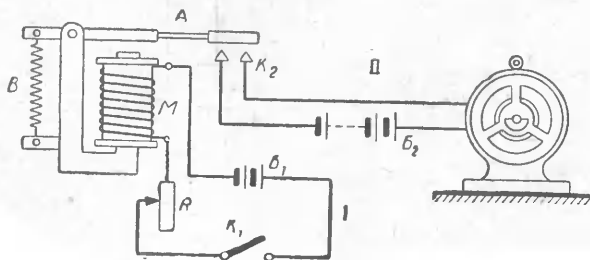


Рис. 190. Схема простейшего электромагнитного реле.

Современная техника позволяет любые изменения самых различных неэлектрических величин (температуры, степени освещенности, давления, скорости течения жидкости или газа и т. д.) преобразовать в изменение силы тока в управляющей цепи. Например, если вместо реостата R (см. рис. 190) поставить полупроводниковое фотосопротивление, обладающее свойством значительно уменьшать свое сопротивление под действием света, то электромагнитное реле сработает и замкнет контакты рабочей цепи только при увеличении освещенности до строго определенной величины.

Объясните, как будет работать реле, если вместо реостата R поместить так называемый термистор, т. е. полупроводниковый прибор; уменьшающий сопротивление при увеличении температуры.

Включение в управляющую цепь реле радиоприемника позволит замыкать или размыкать исполнительную цепь на очень большом расстоянии без подводящих проводов. Например, управление сложнейшими процессами на искусственных спутниках производилось при помощи радиосигналов с Земли.

§ 134. Телеграф. Слово «телеграф» происходит от двух греческих слов: «теле» — далеко, «графо» — пишу. Само название указывает, что прибор служит для передачи сигналов на далекое расстояние и записи их в месте приема.

Даем описание простейшего телеграфа Морзе. При замыкании ключа K на передающей станции A (рис. 191) на принимающей станции B железный якорь C притягивается к электромагниту и колесико F , погруженное в ванночку с краской, прижимается к валику R . Между колесиком и валиком

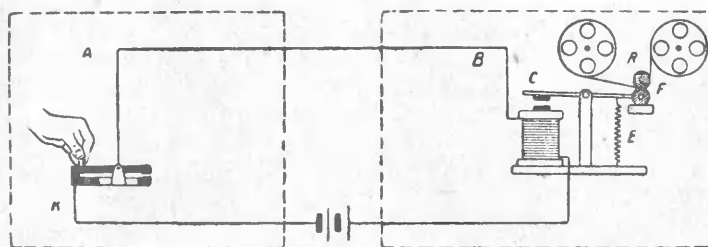


Рис. 191. Телеграф Морзе.

равномерно движется бумажная лента, на которой в зависимости от времени замыкания ключа K остаются точки (при кратковременном нажатии) или тире. Комбинация точек и тире позволяет составить таблицу (азбуку Морзе), соответствующую буквам алфавита и цифрам.

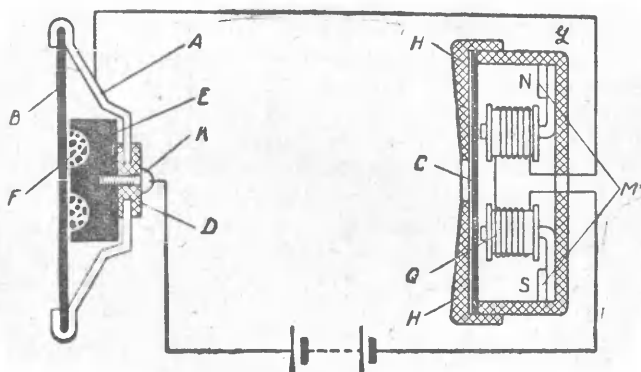


Рис. 192. Микрофон и телефон:

A — корпус микрофона; B — угольная мембрана; C — мембрана телефона; D — изолирующая прокладка; E — угольная колodka; F — угольный порошок; H — крышка; K — проводник; L — корпус телефона; M — полюсы стального магнита; Q — обмотка электромагнита.

§ 135. Микрофон и телефон. Рассмотрим принцип действия простейшей схемы телефонной установки (рис. 192). Микрофон (по-гречески: «микрос» — малый, «фоне» — звук), находящийся на передающей станции, и телефон (по-гречески: «теле» — далеко, «фоне» — звук) на принимающей станции включаются последовательно с источником тока.

Микрофон состоит из круглой металлической коробочки *A*, закрытой тонкой угольной мембраной *B*. Ток от источника проходит через металлический стержень *K*, изолированный от коробочки *A* слоем изоляции *D*, на угольную колодку *E*. Между колодкой *E* и мембраной *B* насыпан угольный порошок *F*, представляющий ввиду неплотного соединения отдельных угольных зернышек большое сопротивление. Пройдя через угольный порошок *F*, мембрану *B* и корпус *A*, ток поступает в телефон принимающей станции. Здесь ток проходит через две катушки, помещенные на полюсы постоянного магнита *M*. Перед полюсами находится железная мембрана *C*, которая в зависимости от силы тока в цепи сильнее или слабее притягивается к магниту.

Когда мы говорим перед микрофоном, звуковые волны приводят в колебание мембрану *B*. Чем сильнее прогибается мембрана, тем больше сжимается угольный порошок, его сопротивление уменьшается и сила тока в цепи возрастает. Следовательно, и мембрана *C* принимающей станции будет больше притянута к магниту.

Мембрана телефона, совершая колебания, точно так же как мембрана микрофона, становится источником звука, вызывая такие же звуковые волны, какие приводили в колебания мембрану микрофона.

§ 136. Движение проводника с током в магнитном поле. Если по проводнику (рис. 193), помещенному между полюсами магнита, пропустить ток в направлении, указанном стрелками, то проводник придет в движение. При перемене направления тока проводник станет двигаться в другую сторону. Следовательно, на проводник с током магнитное поле действует с некоторой силой *F*, перпендикулярной силовым линиям поля.

Этот простейший опыт показал нам принципиальную возможность превращения электрической энергии в механическую.

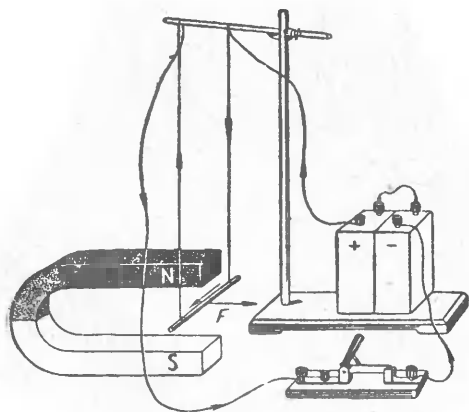


Рис. 193. Движение проводника с током в магнитном поле,

Для определения направления движения проводника пользуются следующим правилом (рис. 194): если расположить левую руку так, чтобы магнитные силовые линии входили в ладонь, а вытянутые пальцы показывали направление тока, то отогнутый большой палец покажет направление движения проводника с током.

Движение проводника током в магнитном поле было впервые изучено французским физиком А. Ампером (1775—1836).

§ 137. Электрический двигатель постоянного тока. Машина, превращающая электрическую энергию в механическую, называется электродвигателем.

Приведите примеры применения электродвигателей на транспорте, в промышленности, сельском хозяйстве и в быту.

Рассмотрим принцип работы электродвигателя постоянного тока. Если через рамку (рис. 195, а) пропустить ток, то на стороны AB и CD будут действовать противоположно направленные силы. Рамка повернется и займет положение, указанное на рис. 195, б. При этом на рамку перестают действовать силы, вызывающие ее вращение, но если бы в тот момент, когда рамка по инерции несколько повернулась дальше этого положения, изменить направление сил, действующих на стороны AB и CD (а это можно сделать, изменив направление тока в рамке), то она повернулась бы еще на 180° . Для дальнейшего вращения опять необходимо изменить

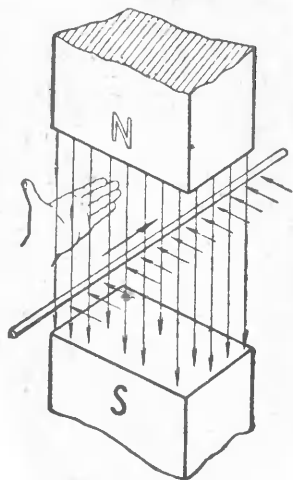


Рис. 194. Правило левой руки.



А. Ампер (1775—1836)

направления тока. Таким образом, *если каждый раз при повороте рамки на пол-оборота изменять направление тока, то мы получим непрерывное вращение рамки.*

Для автоматического изменения направления тока применяется коллектор. В простейшем случае коллектор состоит из двух изолированных друг от друга полуколец A и B (рис. 196), к которым присоединяются концы рамки.

Ток поступает в полукольца через щетки C и D . Через каждые пол-оборота полукольца касаются других щеток и ток в рамке изменяется на противоположный. Рамка приходит в непрерывное вращение.

В технических электродвигателях постоянного тока вместо рамки применяется якорь (рис. 197), представ-

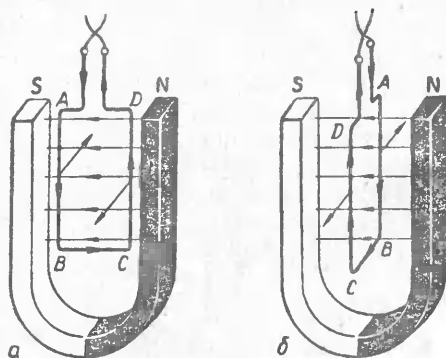


Рис. 195. Силы, действующие на рамку с током в магнитном поле.

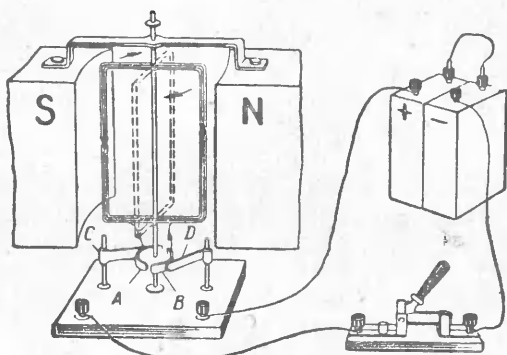


Рис. 196. Принцип работы электродвигателя постоянного тока.

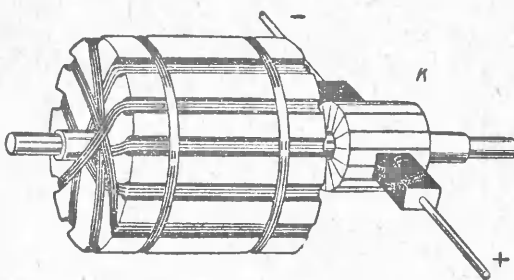


Рис. 197. Якорь двигателя постоянного тока с пластинчатым коллектором.

ляющий из себя систему рамок, уложенных в пазах стального цилиндра и соединенных с отдельными пластинами коллектора *К*. Вместо постоянного магнита применяют электромагнит (рис. 198), который питается от того же источника тока, что и якорь.

Электрические двигатели создаются самой различной мощности от нескольких ватт до тысяч киловатт. Их коэффициент полезного действия достигает 96%.

Подумайте, какими преимуществами и недостатками обладают электродвигатели по сравнению с тепловыми двигателями, и обоснуйте область применения электродвигателей.

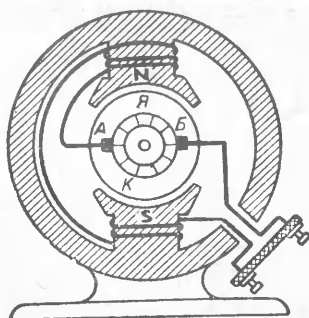


Рис. 198. Схема устройства электрического двигателя постоянного тока.

Я — якорь, *К* — коллектор, *А* и *Б* — щетки.

Глава XV

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ. ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

§ 138. Явление электромагнитной индукции. Мы знаем, что электрический ток создает магнитное поле. Нельзя ли использовать магнитное поле для получения тока?

Этот вопрос впервые поставил выдающийся английский физик *М. Фарадей* (1791—1867). На основании многочисленных опытов он открыл в 1831 г. чрезвычайно важное явление, получившее название *электромагнитной индукции*.

Если в катушку, присоединенную к гальванометру (рис. 199, *а, б*), быстро вдвигать магнит, то стрелка гальванометра отклонится и тотчас же возвратится к нулевому положению, как только прекратится движение магнита. При выдвигении

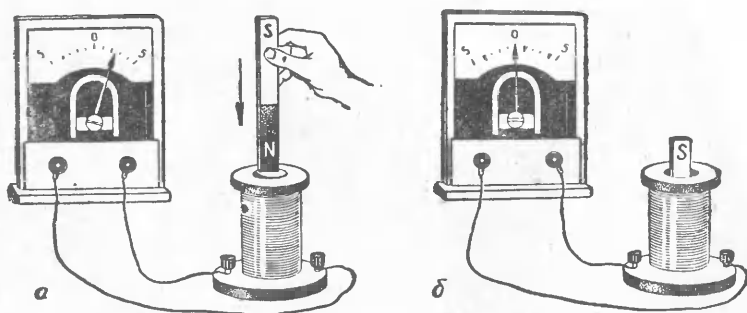


Рис. 199. *а* — при движении магнита в катушке индуктируется ток; *б* — при неподвижном магните ток в катушке отсутствует.



М. Фарадей (1791—1867)

магнита из катушки стрелка отклоняется в другую сторону, значит, появившийся ток имеет противоположное направление¹. Возникающий в катушке ток получил название индукционного (наведенного) тока.

Вместо магнита можно вдвигать в катушку *B* (рис. 200) другую катушку *A*, подключенную к источнику тока.

Индукционный ток значительно увеличится, если в катушку *A* поместить железный сердечник.

На основании рассмотренных опытов можем сделать вывод, что *индукционный ток возникает лишь тогда, когда изменяется магнитное поле внутри катушки B*.

Действительно, если внутри ка-

тушки *B* существует хоть и очень сильное, но неизменное магнитное поле (магнит или катушка *A* покоятся относительно катушки *B*), то индукционный ток не возникает (см. рис. 199, б).

Изменение магнитного поля внутри катушки *B* может быть вызвано не только перемещением магнита, катушки *A* или электромагнита (катушки *A* с сердечником). Включим в цепь катушки *A* реостат (рис. 201) и поместим эту катушку (ее будем называть *первичной*) неподвижно внутри катушки *B* (*вторичной*). Ключом будем замыкать и размыкать первичную цепь. В момент замыкания стрелка гальванометра станет отклоняться в одну сторону, при размыкании — в другую. Точно так же, если при помощи реостата усиливать или ослаблять ток в первичной катушке, во вторичной будут появляться индукционные токи.

Объясните эти опыты (обратите внимание, что индукционный ток возникает как при усилении магнитного поля, так и при его ослаблении).

Чем быстрее вдвигать или выдвигать магнит (см. рис. 199) или чем быстрее изменять ток реостатом (см. рис. 201), тем больше будет отклонение стрелки гальванометра. Следовательно, величина индукционного тока зависит не от того, какое поле

¹ В своих опытах М. Фарадей обнаруживал появление тока по отклонению магнитной стрелки, помещенной под проводником, которым замыкались концы проводов катушки. В настоящее время удобно использовать для этой цели гальванометр. В гальванометре между полюсами магнита расположена проволочная рамка. При прохождении тока по рамке она поворачивается (§ 137), вызывая перемещение стрелки-указателя прибора по шкале.

пронизывает контур (в нашем случае катушку), а от того, как быстро оно изменяется.

Итак, при всяком изменении магнитного поля, пронизывающего контур замкнутого проводника, в последнем возникает индукционный ток, причем сила индукционного тока зависит от быстроты изменения магнитного поля.

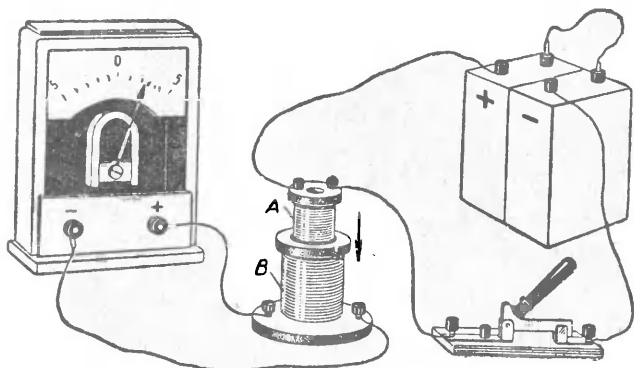


Рис. 200. Установка для обнаружения электромагнитной индукции.

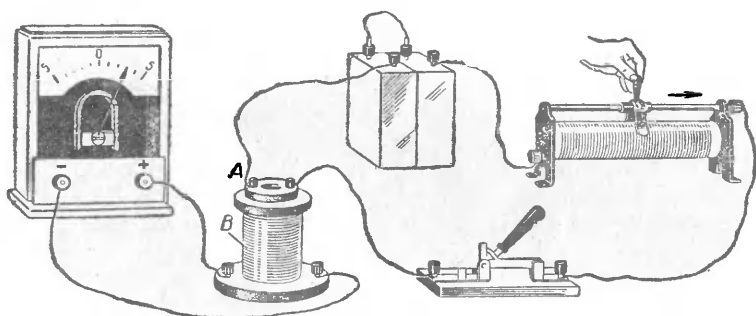


Рис. 201. При изменении (при помощи реостата) силы тока в катушке *A* в катушке *B* индуктируется ток.

§ 139. Генераторы переменного тока. Машины, превращающие механическую энергию в электрическую, называются генераторами. Простейшим генератором будет являться рамка, вращающаяся в магнитном поле, концы которой выведены на два изолированных друг от друга кольца (рис. 202).

Будем медленно вращать рамку. При ее повороте станет изменяться пронизывающее ее контур магнитное поле. Возникает индукционный ток. Мы заметим по отклонению стрелки гальванометра, что в течение одной половины полного оборота индук-

ционный ток идет в одном направлении, в течение другой половины оборота — в обратном направлении. При этом все время изменяется и сила тока: за один оборот рамки ток постепенно возрастает от нуля до наибольшей величины, затем убывает до нуля, далее процесс возрастания и убывания повторяется, но уже при обратном направлении тока.

Такой ток, величина и направление которого периодически изменяются, является переменным током.

На принципе вращения рамки в магнитном поле можно было бы построить технические генераторы переменного тока, но только для получения небольших мощностей.

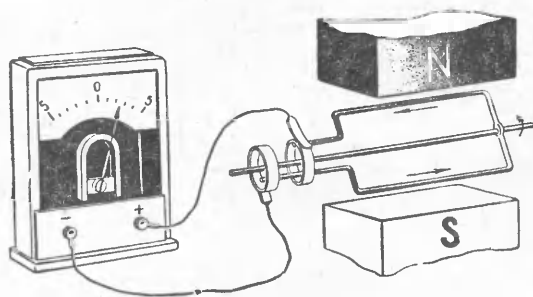


Рис. 202. Простейшая схема генератора переменного тока.

Сейчас строятся очень мощные генераторы, дающие ток высокого напряжения. Например, каждый генератор Волжской гидроэлектростанции имени В. И. Ленина вырабатывает ток мощностью 115 000 *квт* при напряжении 13 800 *в*, а генератор Братской ГЭС — мощностью 225 000 *квт* при напряжении 15 750 *в*. Передавать такой ток через скользящие контакты (кольца и щетки) невозможно.

Подумайте, почему.

Вместо того чтобы вращать рамку относительно неподвижного магнита, можно закрепить рамку неподвижно и внутри нее вращать магнит. В этом случае магнитное поле внутри контура рамки будет также непрерывно изменяться и в рамке возникнет переменный ток.

В техническом генераторе обмотка, в которой индуцируется ток (выполняющая роль рамки), уложена в неподвижном железном корпусе — статоре (рис. 203). Внутри статора вращается (вместо постоянного магнита) сильный электромагнит — ротор. Обмотка ротора (рис. 204) питается через щетки и кольца постоянным током от постороннего источника. При вращении ротора в статорной обмотке индуцируется переменный

ток. В схеме генератора, изображенного на рисунках 203 и 204, за один оборот ротора переменный ток претерпевает одно полное изменение. За первые пол-оборота ток возрастает от нуля до максимального значения, а затем вновь убывает до нуля. За вторые пол-оборота ротора происходит повторение процесса, но при обратном направлении тока.

§ 140. Переменный ток. Как мы указывали в § 97, в СССР и ряде других стран используется ток стандартной частоты 50 гц. Это значит, что за одну секунду ток претерпевает

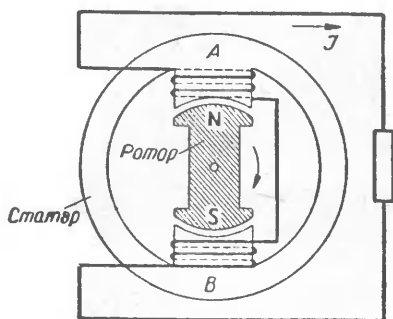


Рис. 203. Схема генератора с обмотками А и В на статоре и вращающимся магнитом.

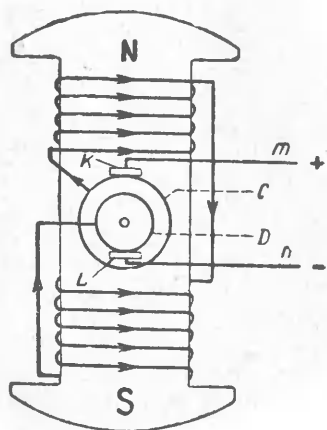


Рис. 204. Схема устройства ротора генератора переменного тока.

m, n — провода от источника постоянного тока; *K, L* — неподвижные щетки; *D, C* — кольца.

50 полных изменений. Поясним это подробнее на примере электрической лампы, включенной в сеть переменного тока. В течение $\frac{1}{100}$ доли секунды ток течет через нить лампы в одном направлении, причем за первую половину этого времени ток возрастает, а за вторую половину убывает до нуля. В следующую $\frac{1}{100}$ сек ток идет в противоположном направлении, также сначала возрастая, а затем убывая до нуля. Через $\frac{1}{50}$ сек (два раза по $\frac{1}{100}$ сек) процесс повторяется.

Таким образом, величина напряжения и силы переменного тока все время изменяется. Однако мы говорим: напряжение в сети многих больших городов 127 в, а в сельских местностях 220 в; сила тока в лампе 1 а и т. д. Как же это надо понимать?

В § 16, когда речь шла о переменном движении, скорость которого все время меняется, мы, сравнивая это движение с равномерным, ввели понятие средней скорости. Так же и здесь, *переменный ток сравнивают с постоянным по их тепловому дей-*

ствию, одинаковому как для переменного, так и для постоянного тока. Например, напряжение переменного тока в сети 220 в означает, что в разные мгновения напряжение меняется от 0 до максимальной величины (в данном случае максимальное значение будет 314 в), однако лампа или плитка, включенные в эту сеть, будут нагреваться так же, как будто они подключены к источнику постоянного тока с напряжением 220 в. Это напряжение носит название действующего или эффективного.

Объясните сами, как надо понимать выражение: по плитке течет переменный ток силой 5 а.

Электроизмерительные приборы (амперметры и вольтметры) переменного тока сконструированы так, что они показывают действующие значения силы тока и напряжения.

§ 141. Получение постоянного тока. Хотя переменный ток получил широкое распространение, в ряде случаев он не может быть использован. Например, используя переменный ток, нельзя выделять металл из электролита, нельзя заряжать аккумуляторы.

Для получения постоянного тока могут служить генераторы постоянного тока, которые часто называются *динамо-машинами*.

Динамо-машиной может служить любой двигатель постоянного тока, если его якорь привести во вращение действием какой-нибудь внешней силы.

Составим цепь, присоединив к полюсам электродвигателя какой-нибудь потребитель, например лампу и амперметр постоянного тока. Приведя якорь во вращение, мы заметим, что лампа загорится, стрелка амперметра отклонится. Электродвигатель стал генератором (динамо-машиной).

Динамо-машины нельзя изготавливать для получения тока большой мощности, так как ток снимается через скользящие контакты (щетki — коллектор), которые в таком случае быстро обгорают и выходят из строя.

Так как все электростанции вырабатывают переменный ток, то в тех случаях, когда необходимо воспользоваться постоянным током, например в электролитических цехах заводов, на городском электрическом транспорте (трамвай, троллейбус, метро), на электрифицированных участках железных дорог, пользуются специальными устройствами, преобразующими переменный ток в постоянный, которые именуются *выпрямителями*.

Все выпрямители, независимо от их устройства и силы выпрямляемого ими тока (от долей миллиампера в радиотехнических установках, до тысяч ампер на железнодорожных подстанциях), имеют одинаковый принцип действия. Они пропускают ток только в одном направлении и не пропускают его в обратном.

В настоящее время широкое распространение получили селеновые выпрямители. Схема одного из них изображена на рисунке 205. Он состоит из алюминиевого основания 1, на которое нанесен тончайший слой селена 2 толщиной 0,05—0,06 мм. На селен наносится контактный слой 5, представляющий сплав различных металлов. На границе



Рис. 205. Принципиальная схема селенового выпрямителя.

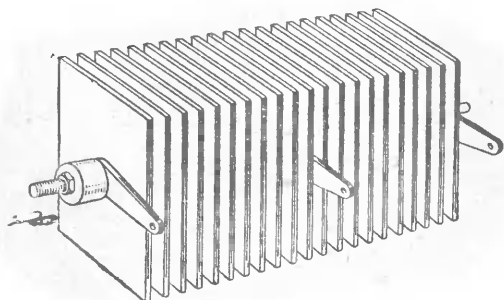


Рис. 206. Внешний вид селенового выпрямителя (столбика).

селена и контактного слоя создается так называемый запирающий слой 3. Центральное отверстие 4 предназначено для последовательного соединения нескольких выпрямителей на стяжных шпильках (рис. 206). Такая батарея носит название селенового столбика

Селеновый выпрямитель обладает свойством пропускать ток только в направлении от алюминиевого основания к контактному слою. На рисунке 207, а показано условное обозначение выпрямителя. Если составить цепь так, чтобы положительный полюс источника тока был подключен к основанию выпрямителя (рис. 207, б), амперметр покажет ток в цепи. Если же положительный полюс будет подключен к контактному слою — ток не пойдет (рис. 207, в). При включении такого выпрямителя или столбика в цепь переменного тока ток станет проходить в течение тех промежутков времени, когда основание выпрямителя будет являться положительным полюсом, и будет отсутствовать, когда направление тока должно было бы измениться. Ток, возникающий при этом, называется пульсирующим.

Так как при этом половину времени ток

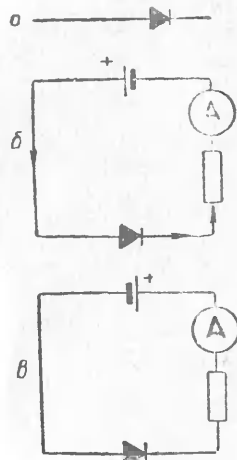


Рис. 207. а — условное обозначение выпрямителя; б — ток проходит через выпрямитель; в — ток не проходит.

в цепи отсутствует, то такое выпрямление применяется редко. Существуют различные схемы, позволяющие исправлять этот недостаток. Рассмотрим одну из них. При одном направлении тока, идущего от генератора, работают выпрямители 1 и 3 (рис. 208, а), при обратном направлении работают выпрямители 2 и 4 (рис. 208, б). Через потребитель R идет ток, хотя и меняющий свою силу, но все время в одном направлении.

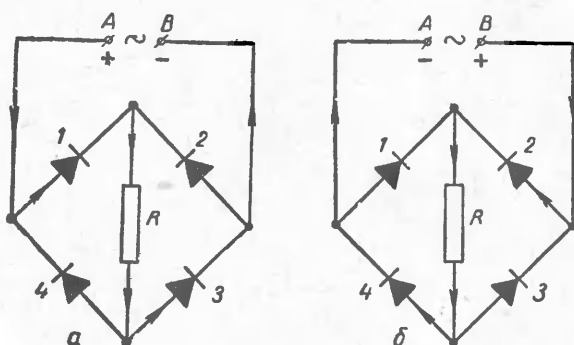


Рис. 208. Соединение выпрямителей, позволяющее осуществить непрерывное прохождение тока через потребитель R в одном направлении.

§ 142. Трансформаторы. Вспомним опыт (см. рис. 201), описанный в § 138. Мы вызывали индукционный ток во вторичной катушке, замыкая и размыкая первичную цепь или усиливая и ослабляя при помощи реостата ток в первичной катушке.

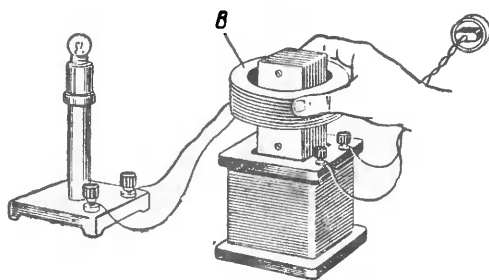


Рис. 209. Переменное магнитное поле индуцирует в катушке B переменный ток, вследствие чего лампочка горит.

А если питать первичную катушку не постоянным, а переменным током? Магнитное поле будет все время изменяться, а значит, во вторичной катушке будет индуцироваться переменный ток (рис. 209).

На этом принципе основано действие трансформатора¹, впервые созданного в 1882 г. русским ученым И. Ф. Усагиным.

Для того чтобы магнитное поле, созданное током первичной катушки, не рассеивалось в воздухе, а полностью пронизывало контур вторичной катушки, обмотки обеих катушек помещаются на замкнутый железный сердечник (рис. 210).

Напряжение на концах вторичной обмотки зависит от соотношения числа витков первичной и вторичной обмоток. Опыт и

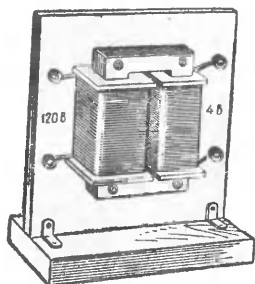


Рис. 210. Внешний вид трансформатора небольшой мощности.

теоретические расчеты показывают, что, во сколько раз число витков вторичной обмотки (n_2) меньше (больше) числа витков

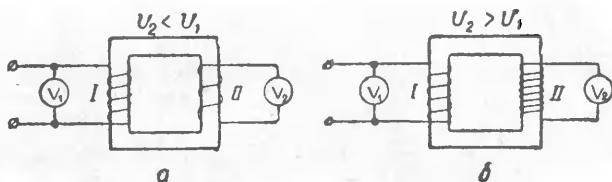


Рис. 211. Схема трансформаторов: а — понижающего и б — повышающего.

первичной обмотки (n_1), во столько же раз напряжение на выводах вторичной обмотки U_2 меньше (или соответственно больше) напряжения, подаваемого на первичную обмотку (U_1):

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Трансформатор, дающий напряжение меньше, чем в первичной обмотке, называется понижающим (рис. 211, а). Трансформатор, который служит для увеличения напряжения, называют повышающим (рис. 211, б).

¹ От латинского слова «трансформаторе» — преобразовать.

Подумайте, можно ли один и тот же трансформатор использовать в одном случае как понижающий, а в другом — как повышающий.

Решите задачу. Первичная обмотка трансформатора имеет 1100 витков. Из скольких витков надо выполнить вторичную обмотку, чтобы повысить напряжение с 220 в до 600 в?

Трансформатор может иметь несколько вторичных обмоток. Например, для питания ламп радиоприемника нужно получить напряжение 600 в и 6,3 в, питая первичную цепь от сети в 127 в или 220 в.

Разберитесь в условной схеме такого трансформатора (рис. 212).

§ 143. Закон сохранения энергии при трансформации тока. Сила тока во вторичной цепи трансформатора I_2 зависит от сопротивления потребителя, подключенного ко вторичной обмотке. Мощность (§ 112) во вторичной цепи P_2 измеряется произведением силы тока I_2 на напряжение U_2 :

$$P_2 = U_2 \cdot I_2.$$

Но на основании закона сохранения энергии мы не можем «выиграть» в мощности, значит, мощность, потребляемая первичной обмоткой P_1 , в лучшем случае (если пренебречь незна-

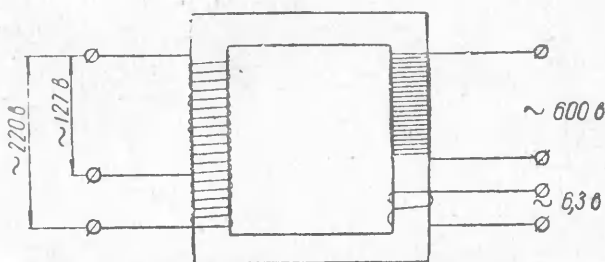


Рис. 212. К вопросу в § 142.

чительными потерями энергии на нагревание сердечника и обмоток) равна мощности P_2 .

$$P_1 = P_2,$$

но $P_1 = U_1 I_1$, где I_1 — сила тока в первичной обмотке.

$$U_2 \cdot I_2 = U_1 \cdot I_1,$$

откуда

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2}.$$

Это значит, что сила тока во вторичной цепи во столько раз меньше силы тока в первичной цепи, во сколько раз напряжение, полученное на вторичной обмотке, больше напряжения, подаваемого на первичную обмотку. Иными словами, во сколько раз мы «выигрываем» в напряжении, во столько же раз «проигрываем» в силе тока.

Объясните то же соотношение сил токов для понижающего трансформатора.

Вспомните, с каким аналогичным законом вы познакомились при изучении механики.

§ 144. Передача электроэнергии на расстояние. Мощные электростанции иногда находятся от основных потребителей на расстоянии в сотни и тысячи километров. При передаче тока по проводам на большое расстояние часть энергии неизбежно расходуется на нагревание проводов. Чтобы уменьшить эту потерю, надо по возможности уменьшить силу передаваемого тока, конечно, без изменения передаваемой мощности. А это можно сделать, применив повышающие трансформаторы. Поэтому передача энергии на большие расстояния ведется под большим напряжением. Чем выше напряжение, тем экономичнее линия электропередачи. В нашей стране (в зависимости от расстояния) строятся линии на 35, 110, 220, 400 и даже 500 тысяч вольт.

На месте потребления иногда приходится применять целую лестницу понижающих подстанций: сначала до 35 кВ, потом до 3 кВ, 6 кВ или 10 кВ и, наконец, до рабочего напряжения 127 В, 220 В, 380 В.

Возможность постройки генераторов большой мощности, а главное простота трансформации тока — вот основные преимущества переменного тока перед постоянным.

Рассмотрите упрощенную схему электропередачи от электростанции к потребителям (рис. 213). Самостоятельно дайте пояснение всем обозначениям, данным на ней. Указываем, что цифрой «5» обозначен мощный выпрямитель переменного тока в постоянный.

§ 145. Электрификация СССР. В своем историческом докладе на VIII Всероссийском съезде Советов в декабре 1920 г. В. И. Ленин дал формулу, полную глубокого смысла: *«Коммунизм — это есть Советская власть плюс электрификация всей страны»*¹. Опираясь на работы передовых советских ученых Г. М. Кржижановского, Г. О. Графтио, И. Г. Александрова и др., Советское правительство уже в 1920 г. наметило план электрификации страны (план ГОЭЛРО).

План ГОЭЛРО к конечному сроку (1935) был перевыполнен более чем в 2 раза. К началу 1935 г. уже работала Днепровская

¹ В. И. Ленин. Полное собрание сочинений, т. 42, стр. 159.

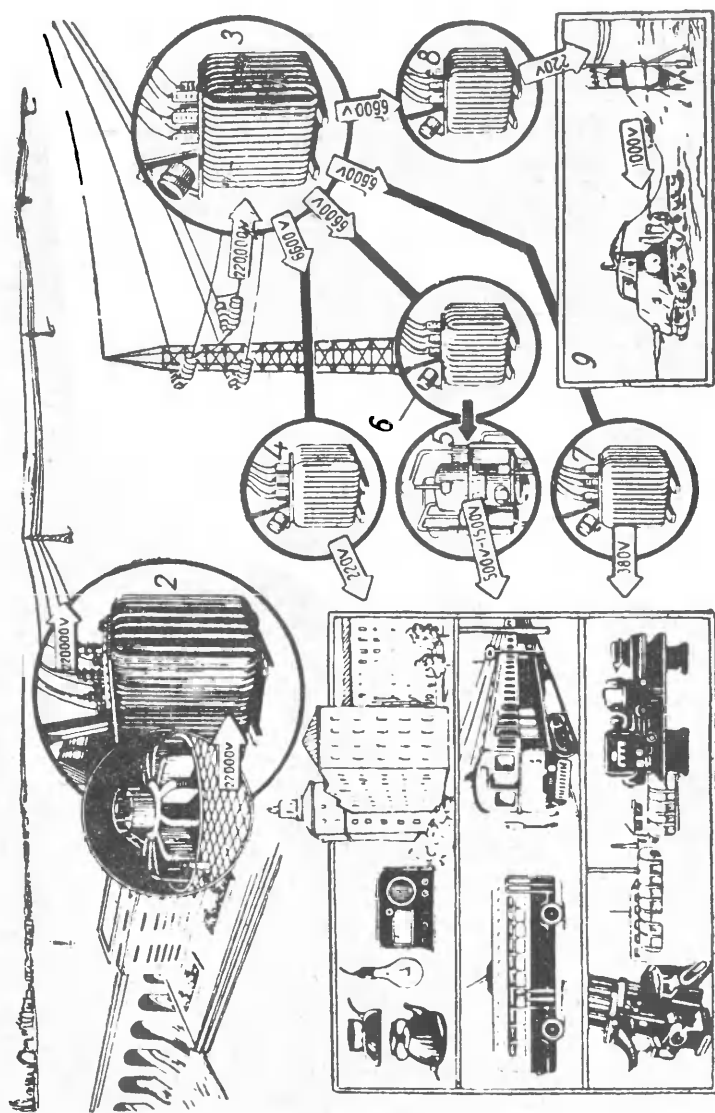


Рис. 213. Схема передачи электроэнергии от электростанции к потребителям.

ГЭС, развивая мощность 434 тыс. *квт*. Эта мощность в те годы казалась нам грандиозной. Однако в последующие годы стали строиться электростанции с еще большими мощностями. Достаточно указать, что строящаяся в настоящее время Красноярская ГЭС будет иметь мощность, равную 5 млн. *квт*.

Приводим данные об общей мощности всех электростанций Советского Союза и производимой ими электроэнергии в течение года,

Годы	Мощность в млн. <i>квт</i>	Производство электроэнергии в млрд. <i>квт·ч</i> в год
1921	1,2	0,5
1928	1,9	5,0
1932	4,7	13,5
1937	8,2	36,2
1940	11,2	48,3
1945	11,1	43,3
1950	19,6	91,2
1955	37,2	170,2
1960	66,7	292,3
1965	112	507

Пользуясь данными таблицы, постройте диаграммы роста мощности всех наших электростанций и производства ими электроэнергии, откладывая по горизонтальной оси годы, а по вертикальной оси соответствующие мощности и количество производимой электроэнергии.

Приводим данные о некоторых наших гидроэлектростанциях.

Наименование гидроэлектростанций	Мощность в тыс. <i>квт</i>	Выработка электроэнергии в год в млрд. <i>квт·ч</i>
Цимлянская	160	0,46
Днепровская	648	3,06
Волжская имени В. И. Ленина . . .	2300	10,8
Волжская имени XXII съезда КПСС . .	2530	11,5
Братская	4500	21,5

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ СВЕДЕНИЯ О РАДИОПЕРЕДАЧЕ И РАДИОПРИЕМЕ

§ 146. Колебательный контур. Необходимым элементом всякого радиотехнического устройства является так называемый колебательный контур.



Рис. 214. Колебательный контур.

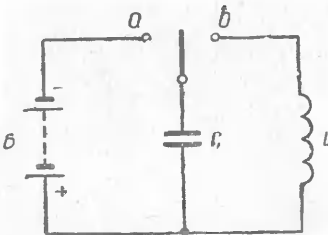


Рис. 215. Получение электромагнитных колебаний.

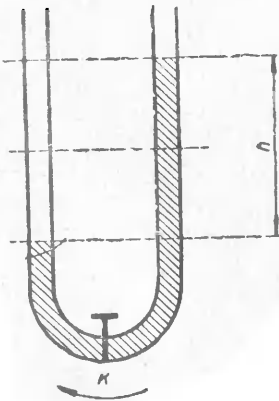


Рис. 216. Колебания уровня воды в сообщающихся сосудах.

Колебательный контур состоит из конденсатора C и катушки L (рис. 214). Если собрать цепь по схеме (рис. 215), повернув переключатель на контакт a , то произойдет зарядка конденсатора: нижняя пластина C зарядится положительно, а верхняя — отрицательно. Это значит, что на верхней пластине будет избыток электронов, а на нижней — их недостаток. Для того чтобы лучше понять процесс, происходящий в контуре, сравним его с движением воды в трубках, изображенных на рисунке 216. При открытии крана K вода придет в движение в направлении, показанном стрелкой. Когда уровни в коленах сравняются, вода приобретает наибольшую скорость и по инерции будет продолжать движение. Если бы не было трения и сопротивления воздуха, то течение прекратилось бы только тогда, когда разность уровней воды между левым и правым коленом стала равной h , т. е. той разности высот, которая была раньше с другой стороны. Теперь уже вода начнет двигаться в обратном направлении, потом снова в первоначальном и т. д., т. е. частицы воды станут совершать колебательное движение. Вследствие того что энергия движущейся воды расходуется на преодоление различных сопротивлений, вода, совершив несколько колебаний, прекратит движение и остановится на одинаковом уровне в обоих коленах.

Вернемся к рассмотрению колебательного контура. Замкнем пере-

ключатель на контакт *b*. Электроны придут в движение от верхней пластины к нижней, и через катушку пойдет ток. Однако когда конденсатор разрядится, электроны, продолжая движение, начнут перезаряжать конденсатор. Его нижняя пластина теперь зарядится отрицательно, а верхняя положительно. (Сравните движение воды в трубках!) Процесс повторится в обратном направлении, потом вновь в первоначальном и т. д. В контуре возникнут электрические колебания, иными словами, будет идти переменный ток. Так как при этом энергия постепенно расходуется на нагревание проводов, ток весьма быстро прекращается. Однако при помощи специальных устройств (электронных ламп или полупроводниковых приборов) колебания можно поддерживать, т. е. получить в контуре переменный ток. Но мы знаем, что переменный ток можно получить и другим способом при помощи генератора. Для чего же нужен колебательный контур? Чтобы ответить на этот вопрос, ознакомимся с некоторыми свойствами конденсатора и катушки.

§ 147. Частота колебаний в контуре. Конденсатор характеризуется физической величиной, называемой *электроемкостью* (или просто: *емкостью*). Чтобы зарядить различные конденсаторы до одного и того же напряжения, им надо сообщить различные заряды. Чем больший заряд надо сообщить конденсатору, чтобы зарядить его до какого-либо строго определенного напряжения, например 1 в, тем больше емкость такого конденсатора.

Катушка характеризуется физической величиной, называемой *индуктивностью*. Если через разные катушки пропустить один и тот же ток, например 1 а, то возникнут различные магнитные поля. Чем сильнее поле катушки, тем больше ее индуктивность.

Подумайте, как зависит индуктивность катушки от числа витков и от введения в нее железного сердечника.

Теоретические исследования и опыт показывают, что частота колебаний переменного тока в контуре тем больше, чем меньше емкость конденсатора и индуктивность катушки. Подбирая различные емкости и индуктивности, можно получить колебания любой частоты.

Теперь можно ответить на вопрос, поставленный в предыдущем параграфе: почему нельзя использовать генератор переменного тока? Дело в том, что в радиотехнике надо получать колебания (переменный ток) очень большой частоты: от 100 кГц (килогерц) до 10 000 МГц (мегагерц) — такую частоту не может дать обычный генератор.

§ 148. Передача и распространение электромагнитных волн. В колебательном контуре (при наличии соответствующих устройств) возникают незатухающие электрические колебания, или

переменный ток высокой частоты. Периодическое изменение заряда конденсатора вызывает появление переменного электрического поля, а изменение силы тока, проходящего через катушку, сопровождается возникновением переменного магнитного поля.

Если одну из обкладок конденсатора (рис. 217) заземлить (З), а другую присоединить к антенне А — высоко поднятому над землей проводнику, то переменные электрические и магнитные поля будут распространяться в пространстве на большое расстояние.

Процесс распространения в пространстве переменных электрического и магнитных полей носит название электромагнитных волн или радиоволн.

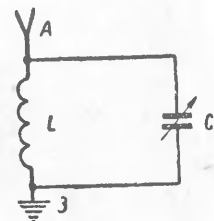


Рис. 217. Колебательный контур в антенной.

Как следует понимать, например, что радиостанция излучает электромагнитные волны с частотой 50 Мгц? Это означает (§ 57), что в каждой точке пространства состояние электрического и магнитного полей полностью изменяется 50 000 000 раз в секунду, т. е. через каждую стомиллионную долю секунды направление электрических и магнитных силовых линий изменяется на противоположное.

Поясните, как следует понимать, что на корабле-спутнике «Восток-2» было установлено три радиопередатчика с частотами 15,765 Мгц, 20,006 Мгц и 143,625 Мгц.

Электромагнитные волны распространяются в пространстве со скоростью света, т. е. 300 000 км/сек.

Во второй половине прошлого века было установлено, что видимый нами свет тоже представляет собой электромагнитные волны с очень высокой частотой.

При радиопередачах часто указывают еще одну важную характеристику радиоволн — длину волны, т. е. то расстояние, на которое распространяются электромагнитные волны за время одного периода (§ 57).

Как найти частоту колебаний, зная, например, что радиостанция работает на длине волны¹ 300 м?

Так как радиоволны распространяются за 1 секунду на расстояние 300 000 км = 300 000 000 м, а за один период на 300 м, то число полных периодов за 1 сек или частота колебаний f составит:

$$A = \frac{300\,000\,000}{300} = 1\,000\,000 \text{ (гц)} = 1 \text{ (Мгц)}.$$

¹ Длину волны обозначают греческой буквой λ «лямбда».

Следовательно, для определения частоты колебаний надо скорость распространения радиоволн, выраженную в м/сек, разделить на длину волны в м.

§ 149. Прием электромагнитных волн. Чтобы принять электромагнитные волны, необходимо иметь колебательный контур, соединенный с землей и антенной, принципиально такой же, как на передающей станции (см. рис. 217).

Благодаря антенне, находящейся в переменном электромагнитном поле, в контуре появятся очень слабые электрические колебания, иными словами, переменный ток той же частоты, которая излучалась передающей станцией. Появление переменного тока в контуре до некоторой степени напоминает возникновение индукционного тока во вторичной катушке трансформатора.

Но ведь антенна принимает тысячи радиостанций, работающих на всевозможных частотах и расположенных в различных концах земного шара. Как же настроить радиоприемник на одну, нужную нам радиостанцию?

Мы уже говорили, что в колебательном контуре передающей станции возникают электрические колебания строго определенной частоты, зависящей от индуктивности катушки и емкости конденсатора. Эта частота носит название собственной частоты контура.

Контур приемной станции также имеет собственную частоту колебаний, т. е. ту, которая возникала бы в нем, если бы он стоял на передающей станции. Оказывается, что из электромагнитных колебаний, возникающих в контуре, колебания с частотой, соответствующей собственной частоте контура, будут в сотни и тысячи раз сильнее всех остальных. Иными словами, *колебательный контур будет принимать только ту радиостанцию, которая работает на частоте, соответствующей собственной частоте контура.*

Чтобы можно было настроиться на нужную нам радиостанцию, необходимо добиться того, чтобы собственная частота приемного контура совпадала с частотой передающей станции. Это обычно делается путем изменения емкости конденсатора (реже используется изменение индуктивности катушки). Для этой цели применяются специальные конденсаторы переменной емкости (рис. 218). Вращая рукоятку настройки, мы изменяем емкость, вследствие чего меняется собственная частота контура.

§ 150. Детекторный приемник. Рассмотрим принцип действия простейшего детекторного приемника. Параллельно

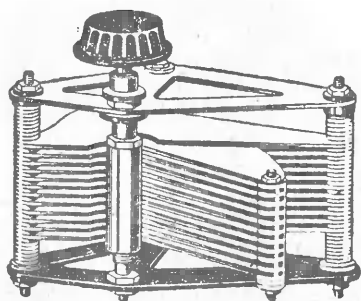


Рис. 218. Конденсатор переменной емкости.

колебательному контуру (рис. 219) подключается полупроводниковый выпрямитель, который в радиотехнике носит название детектора D , и телефон T , соединенный с ним последовательно.

Каково назначение детектора? Если бы мы составили цепь без детектора, то через катушки телефона проходил бы переменный ток высокой частоты в миллионы герц. Мембрана телефона

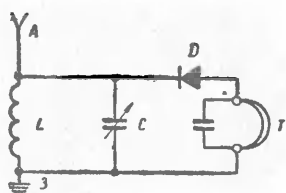


Рис. 219. Схема детекторного приемника.

вследствие инерции, конечно, не может колебаться с такой частотой, и никакого звука мы не услышим. Детектор выпрямляет ток в цепи телефона, создавая постоянный по направлению, но пульсирующий ток (§ 141). В этом случае мембрана телефона будет притягиваться к катушкам. Если ток, проходящий через мембрану телефона,

будет периодически прерываться (это можно сделать, поставив телеграфный ключ на передающей станции), то мы услышим отдельные щелчки. Если вместо телефона поставить принимающий телеграфный аппарат (в этом случае необходимо предварительно усилить ток специальными устройствами — усилителями), то можно установить телеграфную связь без проводов на большом расстоянии.

Для осуществления радиотелефонии, т. е. передачи звуков по радио, на передающей станции устанавливается микрофон. При произнесении звуков перед микрофоном специальные радиотехнические устройства изменяют силу переменного тока в передающем контуре в точном соответствии со звуковыми колебаниями. Вследствие этого распространяющиеся радиоволны меняют свою интенсивность столько раз в секунду, какова частота передаваемого звука. Мембрана телефона принимающей станции приходит в колебания с той же частотой, воспроизводя соответствующие звуки. Для улучшения качества звука параллельно телефону подключается конденсатор.

Мы разобрали простейшие идеи радиопередачи и приема. Современные радиоприемники — сложнейшие технические установки, позволяющие улавливать передачи от самых удаленных станций, усиливать звук и добиваться хорошей слышимости.

Достижения отечественной радиотехники чрезвычайно велики. Радио используется не только для культурных целей, но и имеет самые различные применения в технике, в первую очередь для управления машинами и приборами на расстоянии. Широко применяется радио и для научных исследований. Вспомните хотя бы те важные радиоинформации, которые мы получаем из космического пространства с кораблей-спутников.

§ 151. Изобретатель радио А. С. Попов. Александр Степанович Попов родился в 1859 г. и по окончании университета стал

преподавать в Минном офицерском классе в Кронштадте. Еще в 1889 г. он говорил: «Человеческий организм не имеет такого органа чувств, который замечал бы электромагнитные волны в эфире; если бы изобрести такой прибор, который заменил бы нам электромагнитные чувства, то его можно было бы применить к передаче сигналов на расстояние». Попов создал такой прибор, в котором впервые осуществил применение антенны и заземления.

7 мая 1895 г. он демонстрировал грозоотметчик, который регистрировал электромагнитные волны, возникающие во время грозы. В 1896 г. он передал первую в мире радиотелеграмму на расстояние в 250 м, а на следующий год уже установил связь с кораблями при расстоянии до них в 6 км. В 1899 г. Попов наладил связь с потерпевшим аварию броненосцем, причем радиопередача происходила с расстояния более 40 км. В 1900 г. на Всемирной выставке в Париже А. С. Попов получил за свое замечательное изобретение большую золотую медаль.

Глава XVII

ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ СВЕТА

§ 152. Источники света. Тела, излучающие свет, воспринимаемый нашим органом зрения, глазом, называются источниками света. Мы также видим тела, непосредственно не излучающие свет, если они сами освещены источниками света и отражают падающие на них лучи.

Для нас, жителей Земли, самым мощным естественным источником света является Солнце. Много тысяч лет назад люди стали пользоваться искусственными источниками света: сначала кострами, горящей лучиной, факелом, потом появилась свеча, керосиновая лампа, газовые светильники. Ныне электрическое освещение почти повсеместно вытеснило другие источники. Это лампы накаливания, где свет излучает раскаленная до нескольких тысяч градусов металлическая нить.

В настоящее время находят широкое применение так называемые люминесцентные лампы, которые дают свет различных оттенков: лампы «дневного света» (ДС), лампы «холодного белого света» (ХБС), лампы «белого света» (БС), лампы «теплого белого света» (ТБС).

Для сигнального освещения на воздушных и морских трассах, для оформления световой рекламы используются газосветные трубки, которые в зависимости от состава газа дают свечение различного цвета.

В последнее время для освещения цехов заводов, улиц и площадей стали применять очень яркие и экономичные ртутные лампы.

Во всех этих лампах (люминесцентных, газосветных, ртутных) при прохождении тока светится газ, заполняющий трубку, а иногда и вещество, покрывающее ее стенки.

В нашей стране созданы мощные источники света, например газоразрядная лампа «Сириус», освещающая павильон «Машиностроение» на ВДНХ, излучает столько света, сколько дали бы 25 тысяч ламп накаливания по 50 *вт*.

Создание ярких и экономичных источников света — важная задача народного хозяйства.

§ 153. Прямолинейное распространение света.

Все хорошо знают, что свет распространяется прямолинейно (рис. 220). Приведите примеры, доказывающие это.

Прямолинейным распространением света можно объяснить образование тени (рис. 221), т. е. области, куда не попадают лучи от источника света. Если источник света S очень мал, то будет резкая граница между тенью и освещенным пространством. Если источник света имеет конечные размеры (рис. 222), то на экране, кроме области AB , в которую вообще не попадают лучи от источника (ее называют тенью), возникает область,

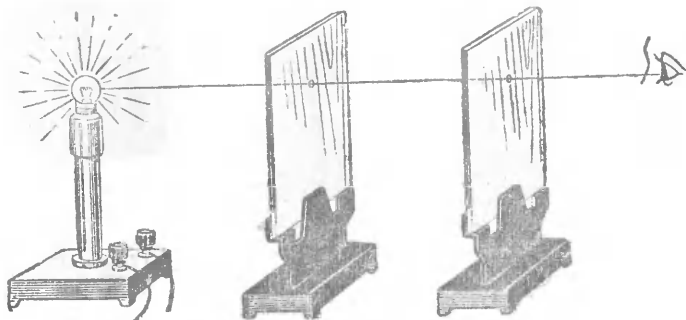


Рис. 220. Прямолинейное распространение света.

которая освещена частично (AM и BM_1). Ее называют полутенью. В область полутени попадают лучи только от части светящегося тела.

Найдите построением, какая часть источника света (см. рис. 222) освещает точку K .

Прямолинейным распространением света объясняется происхождение затмений Луны и Солнца.

При своем движении вокруг Земли Луна может оказаться как раз между Солнцем и Землей (рис. 223). В этом случае будет наблюдаться затмение Солнца. В тех местах земной поверхности, куда падает полная тень от Луны (область A), будет наблюдаться полное солнечное затмение; в остальных местах только часть Солнца будет закрыта Луной, здесь происходит частное затмение.

При лунном затмении Луна входит в область тени, отбрасываемой Землей. На рисунке 224 показано полное лунное затмение.

Укажите, где должна быть Луна при частном затмении.

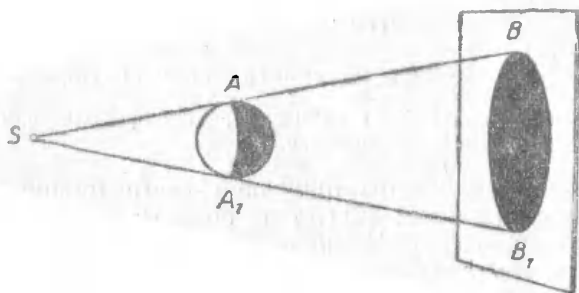


Рис. 221. Образование тени.

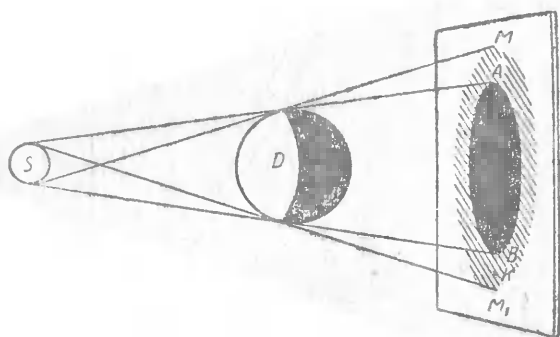


Рис. 222. Образование полутени.



Рис. 223. Затмение Солнца;
S — Солнце, L — Луна, T — Земля.

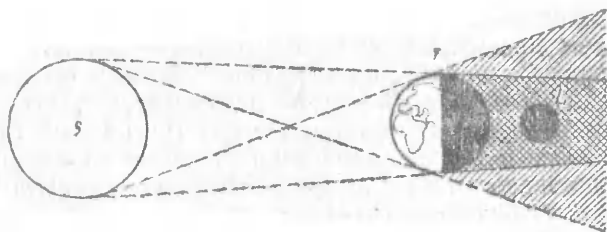


Рис. 224. Затмение Луны;
S — Солнце, T — Земля, L — Луна.

Плоскость орбиты Луны наклонена к плоскости орбиты Земли примерно на 5° , поэтому лунные затмения происходят не так часто, как это было бы, если бы эти плоскости совпадали (примерно один раз в год).

Раньше лунные и особенно солнечные затмения наводили на людей панический ужас. Наука не только объясняет эти явления, но и может с большой точностью предсказать, когда и где они будут наблюдаться. Например, последнее полное солнечное затмение в Москве наблюдалось 25 февраля 1476 г., а ближайшее будет 16 октября 2126 г. в 10 ч 58 мин.

§ 154. Скорость света. Многочисленными опытами установлено, что свет распространяется хотя и очень быстро, но не мгновенно. *Скорость света в воздухе и безвоздушном пространстве около 300 000 км/сек.* В других средах скорость света меняется; например, в воде около 225 000 км/сек, в стекле примерно 200 000 км/сек. Чем меньше скорость света в среде, тем более оптически плотной называется эта среда.

В масштабах земных расстояний можно считать, что свет распространяется мгновенно. Так, например, свет проходит расстояние от Москвы до Ленинграда примерно за 0,0002 сек.

Проверьте это расчетом. Однако даже от самой близкой к нам звезды свет идет более 4 лет, а от других звезд сотни, тысячи и миллионы лет.

Рассчитайте, в какое время свет проходит расстояние от Солнца до Земли, равное примерно 150 000 000 км.

Глава XVIII

ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА

§ 155. Законы отражения света. Направим узкий пучок света AB (рис. 225) (будем называть его лучом света) на зеркало MN , луч отразится от зеркала по направлению BC . Точка B называется точкой падения луча, AB — *лучом падающим*, BC — *лучом отраженным*. Угол i между падающим лучом и перпендикуляром BD , восстановленным в точке падения луча к отражающей лучи поверхности MN , называется углом падения. Угол i' между отраженным лучом и тем же перпендикуляром BD называется углом отражения.

При изменении угла падения соответственно меняется и угол отражения. Измерения этих углов показали, что *угол отражения равен углу падения*.

Кроме этого закона отражения света, установлено, что *лучи отраженный и падающий лежат в одной плоскости с перпендикуляром BD* .

Этот второй закон иногда кажется очевидным, так как на плоском чертеже другой картины представить себе нельзя. Однако создадим пространственную картину (рис. 226). AB — па-

дающий луч. Восстановим перпендикуляр BD . Можно построить сколько угодно углов отражения, равных углу падения (например, $\angle DBC_1, \angle DBC_2$), т. е. только первый закон не определяет направление отраженного луча; надо выбрать плоскость, в которой проводить отраженный луч, а ее положение как раз устанавливает второй закон.

Если направить пучок параллельных лучей на очень гладкую плоскость (зеркало, отполированная поверхность металла, спокойная поверхность воды), то отраженные лучи также пойдут параллельным пучком (рис. 227). Такое отражение называется зеркальным. Однако в большинстве случаев поверхности окру-

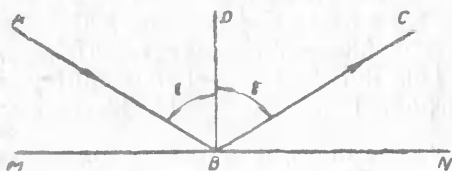


Рис. 225. Отражение света.

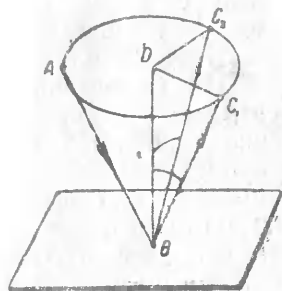


Рис. 226. Недостаточность указания равенства углов отражения и падения без определения плоскости, в которой лежит отраженный луч.

жающих нас тел шероховаты. Для шероховатой поверхности перпендикуляры, восстановленные в точках падения лучей, не параллельны, и отраженные лучи пойдут в разных направлениях. Такое отражение называется рассеянным (рис. 228). Мы видим окружающие нас тела, освещенные каким-либо источником света, благодаря рассеянному отражению.

При падении света на поверхность тела свет частично отражается, частично поглощается (энергия света переходит в этом случае во внутреннюю энергию и вызывает нагревание тела).

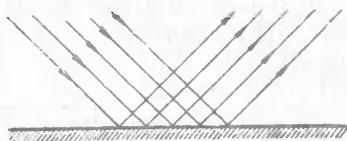


Рис. 227. Зеркальное отражение света.

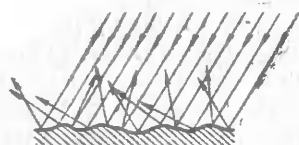


Рис. 228. Рассеянное отражение света.

Кроме того, прозрачные вещества могут пропускать свет. Например, зеркало отражает около 85% света и 15% поглощает; белая бумага отражает 75% и поглощает 25%; оконное стекло толщиной 1—3 мм отражает 8%, поглощает 2% и 90% пропус-

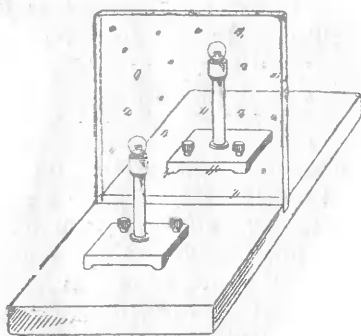


Рис. 229. Если включить лампочку, то и вторая лампочка кажется нам включенной.

кает; черный бархат отражает 0,5% и поглощает 99,5%; слой воздуха толщиной в 1 км при ясной погоде пропускает 90% и поглощает 10%, а при сильном тумане поглощает 40% и пропускает 60%.

§ 156. Зеркала. В плоском зеркале мы видим изображение окружающих нас предметов где-то в глубине, за зеркалом, и тем дальше, чем дальше от зеркала находится предмет.

Расположим включенную лампу (рис. 229) перед стеклом. Перемещая вторую незажженную лампу за стеклом, добьемся та-

кого положения, чтобы лампа казалась включенной. Это означает, что не включенная лампа находится в том месте, где наблюдается изображение включенной лампы. Измерив расстояние от ламп до стекла, мы убеждаемся, что *изображение предмета в плоском зеркале кажется расположенным на таком же расстоянии за зеркалом, на каком перед зеркалом находится сам предмет.*

Объясним вывод, полученный опытным путем, с точки зрения изученных нами законов отражения. Перед зеркалом MN (рис. 230) находится источник света S . Лучи SA и SC , отражаясь от зеркала, попадают в наш глаз по направлениям AB и CD . Продолжим лучи AB и CD за зеркало до их пересечения в точке S_1 . Если убрать зеркало и поместить источник света в точку S_1 , то лучи от него пойдут точно так же, как от источника S при наличии зеркала. Таким образом, нам кажется, что источник света S находится за зеркалом в точке S_1 . Эта точка называется мнимым (несуществующим) изображением реальной точки S .

Докажем, что расстояние точек S_1 и S_2 до зеркала одинаково, т. е. $SO = OS_1$ и $SS_1 \perp MN$. $\triangle S_1CA = \triangle SCA$, так как AC — общая сторона, а $\angle S_1AC = \angle SAC$ и $\angle S_1CA = \angle SCA$ (равенство углов обоснуйте самостоятельно, используя закон отражения). Следовательно, $S_1A = SA$ и $\triangle S_1AS$ равнобедренный. AO — биссектриса, так как $\angle S_1AO = \angle SAO$. В равнобедренном

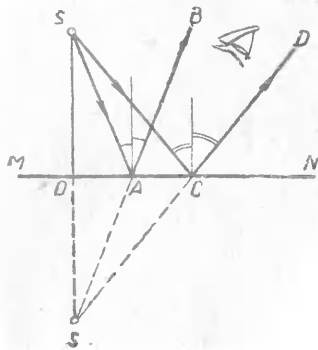


Рис. 230. Получение изображения источника света в плоском зеркале.

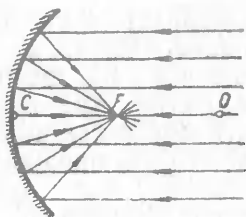


Рис. 231. Лучи, падающие параллельно радиусу OC , после отражения от вогнутого зеркала проходят через его фокус F .

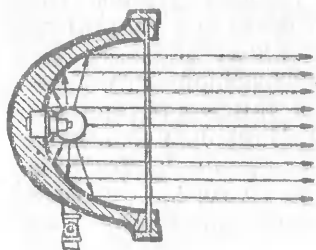


Рис. 232. Схема устройства автомобильной фары. Источник света находится около фокуса вогнутого зеркала, отраженные лучи дают почти параллельный пучок.

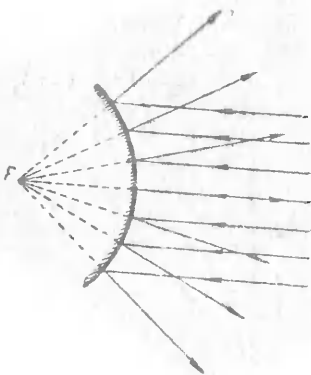


Рис. 233. В выпуклом зеркале лучи отражаются расходящимся пучком.

треугольнике биссектриса является медианой и высотой, следовательно, $S_1O = OS$ и $S_1S \perp MN$.

Приведите примеры применений плоского зеркала.

Кроме плоского зеркала, применяются вогнутые и выпуклые зеркала. Направим на вогнутое зеркало пучок лучей, параллельных радиусу OC , проведенному через середину зеркала (рис. 231). Лучи, отразившись от зеркала, пересекутся в одной точке, называемой фокусом зеркала.

Поскольку вся световая энергия, падающая на зеркало, сосредоточилась в одной точке, интенсивность света здесь очень велика. Направив, например, зеркало на Солнце, мы можем зажечь кусочек дерева, помещенный в фокусе.

Поместив источник света около фокуса (рис. 232), мы добьемся того, что лучи, отразившись от зеркала, пойдут направленным, т. е. почти параллельным, пучком. Таким образом, мы всю световую энергию, падающую на зеркало, сосредоточим в одном направлении.

Вогнутое зеркало (его часто называют рефлектором) применяется в автомобильных фарах, прожекторах, световых маяках.

В выпуклом зеркале параллельные лучи отражаются расходящимся пучком (рис. 233). Изображение окружающих нас предметов кажется нам уменьшенным, но зато по сравнению с плоским зеркалом мы видим большой участок, находящийся позади нас. Это используется на транспорте. Зеркало устанавливается так, чтобы водитель мог видеть сравнительно большой участок, находящийся позади него.

ПРЕЛОМЛЕНИЕ И РАЗЛОЖЕНИЕ СВЕТА

§ 157. **Законы преломления света.** При переходе светового луча из одной прозрачной среды в другую он изменяет свое направление (рис. 234). Это явление носит название преломления света.

Пусть на поверхность MN (рис. 235), являющуюся границей двух сред, например воздуха и воды, в точку A попадает луч CA .

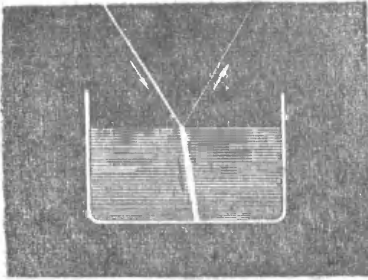


Рис. 234. Входя в воду, луч изменяет свое направление.

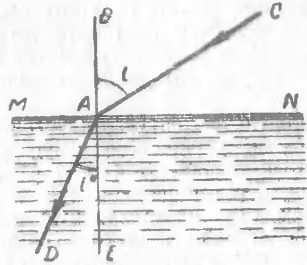


Рис. 235. Преломление света.

Угол i между падающим лучом и перпендикуляром BE , проведенным в точке падения луча к поверхности MN , как мы уже отмечали в § 155, называется углом падения. При переходе в другую среду (на нашем рисунке из верхней среды в нижнюю) луч изменит свое направление и далее пойдет по линии AD . Этот луч именуется преломленным, а угол i' между ним и перпендикуляром BE называется углом преломления.

Из опыта установлено, что при переходе луча из менее оптически плотной среды (например, воздуха) в более оптически плотную среду (например, воду или стекло) угол преломления i'

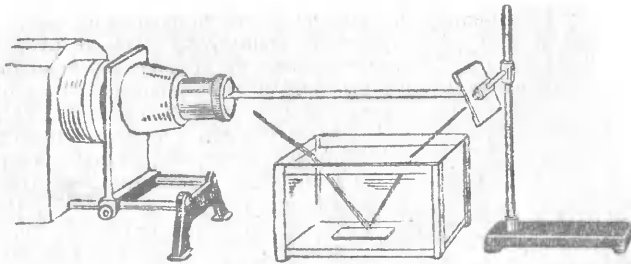


Рис. 236. Установка для наблюдения явления преломления света при переходе из воздуха в воду и из воды в воздух.

меньше угла падения i . При обратном переходе (например, из воды в воздух), наоборот, $i < i''$ (рис. 236).

Лучи, падающий и преломленный, лежат в одной плоскости с перпендикуляром, проведенным через точку падения луча к границе двух сред.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Преломление света в пластинке с плоскопараллельными гранями

Расположим стеклянную пластинку на листе белой бумаги, как показано на рисунке 237. Воткните вертикально в точках A и B булавки и, смотря через пластину, воткните булавки в точках C и D так, чтобы все булавки казались расположенными по одной прямой.

Обведите контуры пластинки карандашом и, убрав пластинку, соедините прямыми точками A и B , A и C , C и D . Линия BA изображает луч, падающий из воздуха на стеклянную пластинку. Линия AC — путь этого луча в стекле. Линия CD — направление луча в воздухе по выходе из стеклянной пластинки.

Таким образом, луч BA дважды преломляется на границах MN и KL . Проведите перпендикуляры в точках A и C . Укажите для каждой границы углы падения и преломления и измерьте их транспортиром. Сделайте выводы о законах преломления луча при переходе из менее оптически плотной среды в более плотную (на границе MN) и при переходе из более в менее оптически плотную среду (на границе KL).

Повторите опыт 2—3 раза, изменяя угол падения луча.

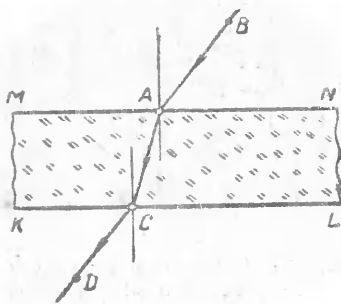


Рис. 237. К лабораторной работе «Преломление света в пластинке с плоскопараллельными гранями».

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Преломление света в трехгранной призме

Расположите трехгранную призму на листе бумаги (рис. 238). Воткните булавки в точках A и B и, смотря через грань NK , воткните булавки в точках C и D так, чтобы все булавки казались расположенными по одной прямой. Обведите карандашом контуры призмы и, убрав ее, соедините точки

A и B , B и C , C и D . Это будет ход луча AB через призму. Проведя через точку B перпендикуляр к грани MN , измерьте транспортиром угол падения i и угол преломления i'' . Прделайте то же для грани NK . Повторите опыт, изменив угол падения. Сделайте вывод о законах преломления. Ответьте на вопрос, в каком направлении смещается луч, прошедший через трехгранную призму. Измерьте угол отклонения луча δ .

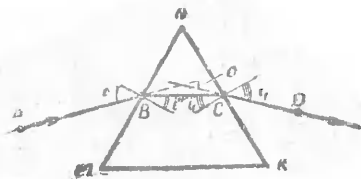


Рис. 238. К лабораторной работе «Преломление света в трехгранной призме».

§ 158. Линзы. Прозрачные тела (чаще всего стеклянные), ограниченные с двух сторон сферическими поверхностями¹ (одна поверхность может быть плоской), называются линзами. Линзы применяются во всевозможных оптических приборах.

Приведите примеры применения линз.

На рисунке 239 показаны различные формы линз. Те линзы, у которых середина толще, чем края (1, 3, 5), называются собирающими; линзы, у которых края толще середины (2, 4, 6), — рассеивающими.



Рис. 239. Различные формы линз (в разрезе).

Прямая C_1C_2 (рис. 240), являющаяся осью симметрии линзы, называется ее оптической осью. Она проходит через центры сферических поверхностей, ограничивающих поверхность линзы.

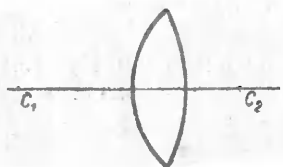


Рис. 240. Линия C_1C_2 — оптическая ось линзы.

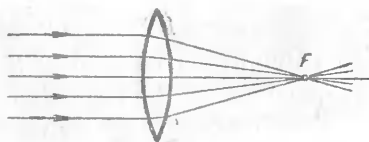


Рис. 241. Лучи, параллельные оптической оси линзы, проходят через ее фокус.

Если на собирающую линзу направить пучок лучей, параллельных ее оптической оси, то после преломления в линзе они пройдут через точку (рис. 241), которая носит название фокуса линзы и обозначается буквой F . Расстояние между фокусом и самой линзой именуется фокусным расстоянием, его обозначают f и измеряют обычно в метрах.

Для тонких линз их толщиной можно пренебречь. Для толстых линз фокусное расстояние отсчитывается от точки O (ее называют оптическим центром линзы) до фокуса, т. е. $f = OF$. У симметричных линз оптический центр лежит посередине линзы, как это показано на рисунке 242, а. Для несимметричных линз точка O ближе к поверхности с большей кривизной

¹ Сферическая поверхность — часть поверхности шара.

(рис. 242, б). Для плоско-выпуклой или плоско-вогнутой линзы она находится в точке, где оптическая ось пересекает сферическую поверхность (рис. 242, в).

Чем больше кривизна поверхностей линзы, тем сильнее линза преломляет лучи и тем короче ее фокусное расстояние. На практике часто употребляют термин оптическая сила линзы. Чем меньше фокусное расстояние линзы, тем больше ее оптическая сила. Значит, все короткофокусные линзы имеют боль-

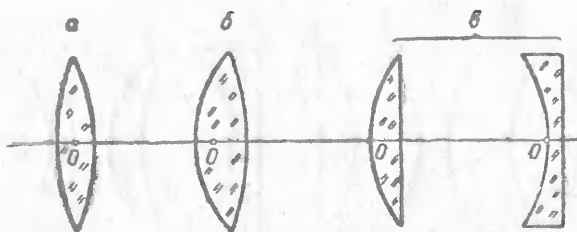


Рис. 242. Положение оптического центра у различных линз.

шую оптическую силу, а длиннофокусные — малую. Оптическая сила линзы Φ измеряется величиной, обратной ее фокусному расстоянию:

$$\Phi = \frac{1}{f}.$$

За единицу оптической силы принята диоптрия. Это оптическая сила линзы с фокусным расстоянием, равным 1 метру.

Вам прописали очки с оптической силой в 2 диоптрия. Каково фокусное расстояние такой линзы? Из формулы получаем:

$$f = \frac{1}{\Phi} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ (м)}.$$

Подсчитайте сами оптическую силу линз с фокусными расстояниями 20 см, 50 см, 80 см, 2 м и фокусные расстояния для линз с оптической силой 4 диоптрия и 0,8 диоптрия.

Подумайте, как определить фокусное расстояние линзы в солнечный день.

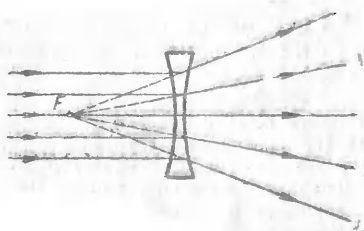


Рис. 243. Минимй фокус рассеивающей линзы.

Лучи, падающие на рассеивающую линзу параллельно оптической оси (рис. 243), выходят из нее расходящимся пучком. Для характеристики преломляющих свойств рассеивающей линзы вводят понятие о мнимом фокусе, эта точка пересечения продолжений лучей, вышедших из линзы после преломления,

Фокусное расстояние рассеивающих линз считают отрицательным. В связи с этим оптическая сила таких линз сопровождается знаком минус. Если были прописаны очки с оптической силой — 2 диоптрии, то значит, что это рассеивающая линза с фокусным расстоянием:

$$f = \frac{1}{-2} = -0,5 \text{ (м)},$$

т. е. ее мнимый фокус лежит на расстоянии от линзы, равном 0,5 м.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Получение изображений с помощью линзы

Проведем лабораторную работу, на основании которой изучим законы получения изображений при помощи собирающей линзы.

Для этой цели необходимо иметь источник света (свечу или лампу), собирающую линзу, экран и линейку (рис. 244).

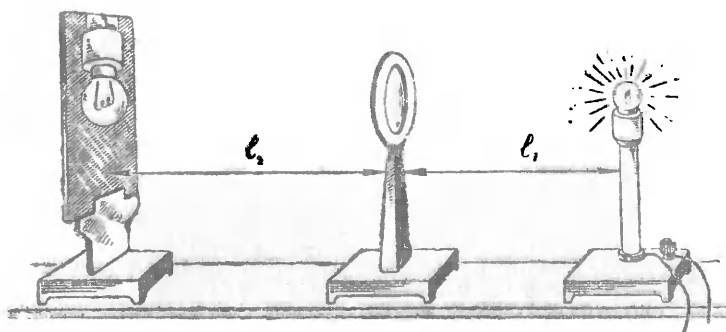


Рис. 244. Установка для получения на опыте различных изображений в линзе.

Расположите лампу по возможности дальше от линзы и, перемещая экран, найдите такое его положение, при котором на экране будет получено наиболее четкое изображение лампочки. Если она находится достаточно далеко от линзы, то лучи, идущие от лампочки, можно считать практически параллельными; пройдя линзу, они пересекутся очень близко от фокуса линзы.

Измерьте расстояние от экрана до линзы: этим вы определите с достаточной точностью фокусное расстояние.

Начните приближать лампочку к линзе — изображение на экране будет расплываться. Для того чтобы вновь получить четкое изображение, экран придется несколько отодвинуть от линзы. Измерьте расстояние от лампочки до линзы (обозначается буквой l_1) и расстояние от экрана до линзы (l_2). Проведите 2—3 измерения для случая, когда лампочка отстоит от линзы дальше, чем экран от нее ($l_1 > l_2$). Изображение получается обратным (перевернутым), уменьшенным и действительным (изображение называем действительным, если оно реально существует, т. е. его можно получить на экране). Во сколько раз l_1 больше l_2 , во столько же раз линейные размеры изображения меньше соответствующих размеров источника света.

Проверьте это хотя бы приближенно.

Приближая лампочку к линзе и соответственно каждый раз перемещая экран, добейтесь такого положения, когда размеры лампочки и ее изображения будут равны. Измерив l_1 и l_2 , вы убедитесь, что они равны между собой и равны двойному фокусному расстоянию $2f$.

При дальнейшем приближении лампочки к линзе экран приходится удалять от линзы ($l_1 < l_2$). Изображение, оставаясь обратным и действительным, становится увеличенным, причем *размеры изображения во столько раз больше размеров источника света, во сколько раз l_2 больше l_1* . Проверьте это, проведя 2—3 измерения.

Если источник света поместить в фокусе линзы, то изображение на экране получить невозможно, так как лучи выйдут из линзы параллельными пучками — они не могут пересечься и дать действительное изображение.

При дальнейшем приближении источника света лучи, идущие от каждой его точки, будут расходиться, изображение на экране также получить невозможно. Но если смотреть через линзу на предмет, то вы увидите увеличенное, прямое (не перевернутое) его изображение. Каждая точка предмета вам будет казаться там, где пересекается продолжение лучей (так же, как в плоском зеркале), идущих от нее (рис. 245). Такое изображение называется *мнимым*.



Рис. 245. Получение мнимого изображения в собирающей линзе.

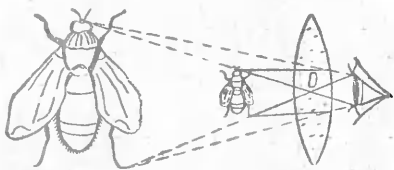


Рис. 246. Лупа.

Проверьте это, посмотрев через линзу на текст учебника, расположив его ближе фокусного расстояния от линзы.

Линза, применяемая для получения прямого, увеличенного мнимого изображения, носит название *увеличительного стекла или лупы* (рис. 246).

При помощи рассеивающей линзы вообще нельзя получить действительного изображения (почему?). Если смотреть через рассеивающую линзу на предмет, то при любом взаимном расположении глаза, линзы и предмета изображение будет уменьшенным, прямым и мнимым.

Проверьте это.

Составьте отчет о работе. На основании наблюдений сделайте выводы по каждому этапу работы: 1) $l_1 > 2f$; 2) $l_1 = 2f$; 3) $f < l_1 < 2f$; 4) $l_1 = f$; 5) $l_1 < f$.

Для рассеивающей линзы дайте один общий вывод.

§ 159. Фотоаппарат. Фотоаппарат состоит из светонепроницаемой камеры, в передней части которой находится объектив, т. е. система линз, ведущая себя так же, как одна собирающая линза, но дающая лучшее качество изображения, а в задней — фотопленка или фотопластинка, играющая роль экрана (рис. 247).

Так как фотографируемый предмет обычно находится значительно дальше двойного фокусного расстояния объектива¹

¹ Фокусное расстояние в современных фотоаппаратах обычно составляет всего несколько сантиметров.

($u_1 > 2f$), то на фотопленке получается *действительное, уменьшенное и обратное* изображение. Получение резкого изображения достигается путем перемещения объектива. В аппаратах старых конструкций на месте пленки находилось матовое стекло. Перемещением объектива добивались резкого изображения предмета на матовом стекле. В современных аппаратах имеются специальные оптические приспособления, позволяющие добиться получения на пленке отчетливого изображения, а также около объектива нанесена шкала, фиксирующая положение объектива при заданном расстоянии до предмета.

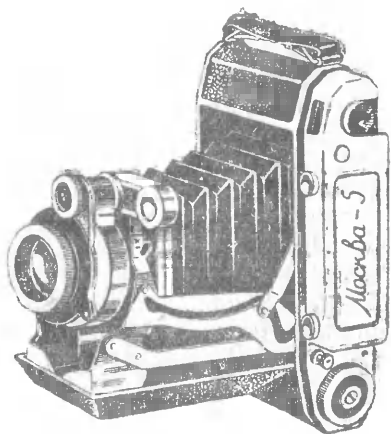


Рис. 247. Фотоаппарат.

При съемке объектив кратковременно открывают и получают изображение фотографируемого предмета на пленке. Пленка покрыта светочувствительным слоем, в котором под действием света идут химические реакции, причем тем интенсивнее, чем

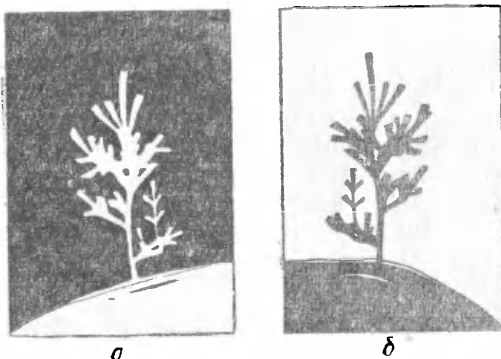


Рис. 248. а — негатив; б — позитив.

ярче освещен данный участок. После обработки пленки специальными химическими составами (проявление, закрепление, промывка) получают негатив (рис. 248, а), в котором темные места предмета получаются светлыми, а светлые темными.

Готовый негатив прикладывают к фотобумаге, покрытой светочувствительным слоем. Освещая бумагу через негатив и обработав ее так же, как негатив, получают позитив (фотографию), т. е. такое изображение, на котором темные и светлые места соответствуют фотографируемому предмету (рис. 248, б).

В настоящее время для получения позитива, как правило, применяют фотоувеличитель.

§ 160. Фотоувеличитель. Проекционные аппараты. В фотоувеличителе ярко освещенный негатив помещают между фокусом и двойным фокусом объектива. В этом случае на фотографической бумаге мы получаем увеличенное изображение. Его размеры зависят от расстояния между фотобумагой и объективом, а резкость изображения достигается путем перемещения объектива. Добившись нужного изображения сначала на простой бумаге, гасят свет и при красном свете, не действующем на фотобумагу, помещают на место простой бумаги фотобумагу. Процесс обработки позитива аналогичен описанному в предыдущем параграфе процессу обработки негатива.

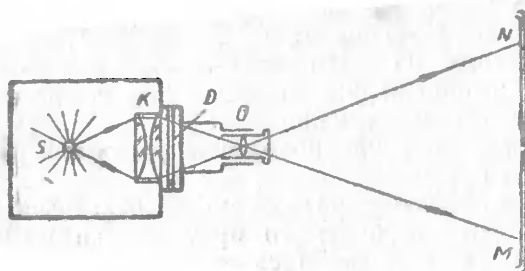


Рис. 249. Схема устройства проекционного фонаря.

Принцип работы проекционных аппаратов ничем не отличается от принципа действия фотоувеличителя, только вместо негатива помещают диапозитив — снимок (можно и цветной), сделанный на стекле или пленке, увеличенное изображение которого получают на достаточно удаленном экране.

На рисунке 249 диапозитив D помещен перед конденсором K (осветительной линзой), на которую падают лучи от источника света S . Объектив O дает на экране увеличенное изображение MN .

Поясните самостоятельно принцип получения изображения при помощи проекционного аппарата, используя схематический рисунок 249.

Ответьте на следующие вопросы:

1. Почему для получения на экране прямого изображения диапозитив следует расположить в проекционном фонаре наоборот, т. е. верхней частью вниз?
2. Как надо расположить диапозитив по отношению к фокусу объектива?
3. Как изменяются размеры изображения при удалении экрана? В какую сторону в этом случае надо сместить объектив для получения резкого изображения?
4. Во сколько раз линейные размеры изображения больше размеров диапозитива, если расстояние от диапозитива до объектива (l_1) равно 12 см, а от объектива до экрана (l_2) 2,4 м?
5. Расстояние от диапозитива до объектива 10 см. На каком расстоянии надо поместить экран, чтобы получить двадцатикратное увеличение? (Отв.: 2 м.)

§ 161. Кинематограф.

Принцип получения изображения отдельного кадра фильма на экране кинематографа такой же, как в проекционном аппарате. Кинопленка (рис. 250) состоит из отдельных кадров, снятых через очень малые промежутки времени¹. При нормальной съемке за 1 сек снимают 24 кадра, т. е. за один киносеанс на экране появляются 15 000—20 000 отдельных фотографий. При перемещении ленты, т. е. при смене кадров (за 1 сек сменяется 24 кадра), объектив закрывается, и зал погружается в темноту. Однако наш глаз обладает свойством сохранять зрительное впечатление примерно 0,1 сек, поэтому мы не замечаем темноты, а нам кажется, что появившееся новое изображение следует непосредственно за предыдущим, благодаря чему и создается картина непрерывного движения.

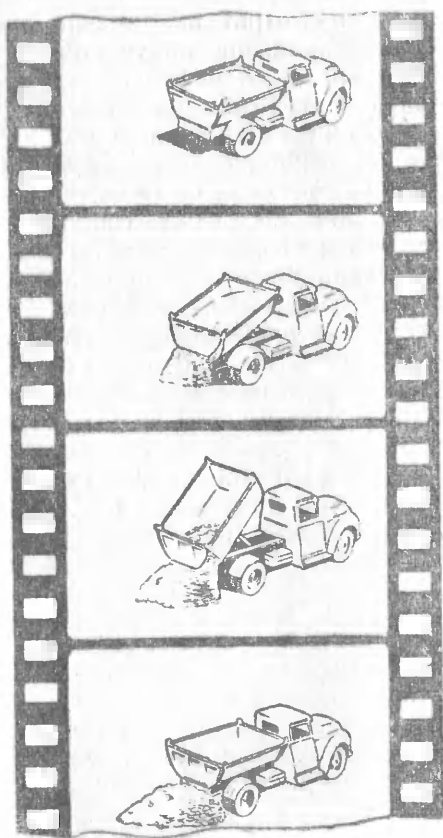


Рис. 250. Несколько кадров из фильма.

§ 162. Глаз. Очки. Человеческий глаз (рис. 251)

представляет оптическую систему, несколько напоминающую фотоаппарат. Роль объектива в основном играет прозрачное хрящевидное тело L — хрусталик, экраном является глазное дно rr , пронизанное чувствительными к свету разветвлениями зрительного нерва. Таким образом, на глазном дне получается изображение предмета. Это изображение вызывает раздражение в окончаниях зрительного нерва соответственно характеру освещенности данного участка, в результате чего мы видим предмет.

Получение отчетливого изображения на пленке как дальних, так и близких предметов достигается в фотоаппарате путем перемещения его объектива относительно пленки. Как же осуществляет человеческий глаз наводку на резкость?

¹ На рисунке кадры идут не подряд.

Когда человек с нормальным зрением смотрит на дальний предмет, изображение получается в фокусе глаза, а фокус нормального глаза находится на глазном дне, вследствие чего на нем возникает резкое изображение предмета. При переводе взгляда на ближние предметы, как мы знаем, изображение удаляется от фокуса. В этом случае хрусталик сжимается и становится более выпуклым. Увеличиваются его преломляющие свойства и уменьшается фокусное расстояние до тех пор, пока изображение вновь не получится на глазном дне. Чем ближе находится рассматриваемый предмет, тем сильнее сжимается хрусталик.

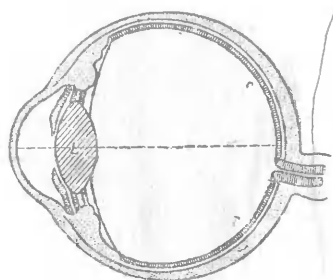


Рис. 251. Разрез глаза.

Наиболее распространенными дефектами зрения являются близорукость и дальнозоркость. У близорукого человека хрусталик глаза в ненапряженном состоянии уже сжат, и фокус лежит перед глазным дном. Поэтому близорукий глаз

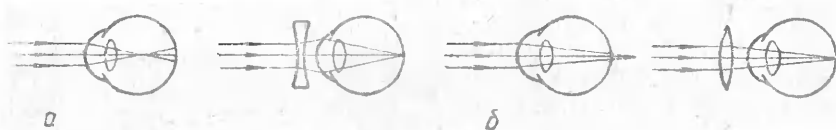


Рис. 252. а — ход лучей в близоруком глазе без очков и с очками; б — ход лучей в дальнозорком глазе без очков и с очками.

хорошо видит близкие предметы, а дальние туманно, расплывчато. Такому человеку прописывают очки с рассеивающими линзами, оптическая сила которых подбирается так, чтобы в ненапряженном состоянии хрусталика фокус совпадал с глазным дном (рис. 252, а). Дальнозоркий глаз не в состоянии достаточно сжать хрусталик при рассматривании близких предметов, т. е. изображение получается за глазным дном. Это часто бывает у людей пожилого возраста. Соответственно подобранные очки с собирающими линзами, которые дополняют недостающие преломляющие свойства хрусталика, дают возможность получить изображение рассматриваемого предмета на глазном дне (рис. 252, б).

§ 163. Разложение света. Мы знаем, что лучи света, проходя через трехгранную призму, дважды преломляются, отклоняясь к ее основанию (§ 157). При этом можно заметить, что узкий пучок белого света, пройдя через призму, дает на экране радужную полоску, тем более широкую, чем дальше отстоит экран от призмы. Эта полоска называется спектром.



Рис. 253. Круг, окрашенный в цвета спектра.

В спектре цвета плавно переходят один в другой в таком порядке — красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый. Отсюда можно сделать вывод, что *белый луч состоит из лучей различных цветов, которые, проходя через призму, не одинаково преломляются: больше всех преломляются фиолетовые лучи, меньше всех — красные*. Бесконечное разнообразие оттенков цвета создается путем сочетания различных лучей, попадающих в глаз.

Почему же различные предметы при одинаковом освещении их белыми лучами от Солнца или электрической лампочки оказываются окрашенными по-разному?

Мы уже говорили, что *всякая поверхность частично поглощает и частично отражает падающие на нее лучи*. Оказывается, что различные поверхности обладают свойством в большей или меньшей степени поглощать лучи различных цветов. К нам в глаз попадают только отраженные лучи, и в зависимости от сочетания их цветов мы видим ту или иную окраску. Красное тело отражает преимущественно красные лучи, зеленое — преимущественно зеленые и т. д. Белое тело отражает все лучи, которые в своей совокупности и создают впечатление белого цвета. Черное тело, наоборот, поглощает почти полностью и в одинаковой степени лучи всех цветов.

Ответьте на вопрос: какого цвета вам будет казаться кружок, окрашенный в цвета спектра (рис. 253), если его быстро вращать вокруг оси, проходящей через его центр?

§ 164. Инфракрасные и ультрафиолетовые лучи. Если поместить экран, покрытый определенным составом, ниже фиолетовой части спектра (рис. 254), то он начинает светиться, а специальные приборы (болометры) обнаруживают нагревание экрана выше красной части спектра. Значит, существуют невидимые для глаза лучи, которые, не оказывая физиологического действия на глаз, обладают другими свойствами.

Лучи, лежащие за фиолетовой частью спектра, называются *ультрафиолетовыми*; лучи, находящиеся за красными, — *инфракрасными*.

Ультрафиолетовые лучи излучаются телами, раскаленными до высокой темпе-

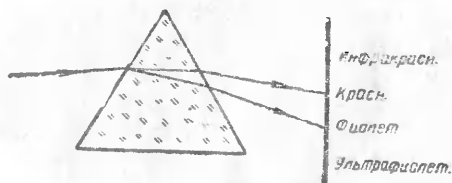


Рис. 254. Невидимые части спектра.

ратуры. Они обладают большой химической и биологической активностью, в частности, именно эти лучи вызывают загар.

В медицине ультрафиолетовыми лучами пользуются для лечения многих заболеваний. Облучение ягнят, поросят, телят и других животных ультрафиолетовыми лучами в зимнее время, когда эти лучи от Солнца доходят до нас в недостаточном количестве, усиливает рост молодых животных. Ультрафиолетовые лучи убивают многих бактерий, вот почему их используют при стерилизации молока и других продуктов.

Для получения ультрафиолетовых лучей пользуются особыми «кварцевыми лампами». Баллон такой лампы изготовляется из кварца, хорошо пропускающего ультрафиолетовые лучи, так как обыкновенное стекло их сильно поглощает. Баллон заполняется разреженными парами ртути, которые при прохождении через них электрического тока испускают свет, богатый ультрафиолетовыми лучами.

Наиболее характерным свойством инфракрасных лучей является их тепловое действие. Инфракрасные лучи излучаются всеми телами тем интенсивнее, чем выше температура тел.

При сушке фруктов, овощей, древесины, тканей и различных изделий на многих производствах применяются инфракрасные лучи, которые интенсивно проникают во внутренние слои тела.

В медицине инфракрасные лучи используются для прогревания тканей тела, что в ряде случаев оказывает благотворное влияние на организм.

ОТДЕЛ ШЕСТОЙ

СТРОЕНИЕ АТОМА И АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ

Глава XX

СТРОЕНИЕ АТОМА

§ 165. Электронная оболочка и ядро атома. Изучение явления электролиза (§ 99) позволило в 80-х годах прошлого столетия установить, что ионы всегда несут электрический заряд, равный $1,6 \cdot 10^{-19}$ кулона или кратный ему. Было естественно предположить, что этот заряд является элементарным, т. е. заряда меньше этой величины существовать не может. Оказалось также, что в сильно разреженных газах при достаточном напряжении из катода вылетают частицы, несущие отрицательный заряд, равный $1,6 \cdot 10^{-19}$ к. Эти частицы получили название электронов, а их поток назвали катодными лучами. Электроны могут вырываться из проводников под действием света (фотоэлектрический эффект), под влиянием высокой температуры (термоэлектронная эмиссия), а также некоторых других воздействий. Все эти факты говорят о том, что электроны входят в состав атомов.

Опыты Э. Резерфорда дали ему возможность сделать первое приближенное заключение о том, что *каждый атом состоит из положительно заряженного ядра, вокруг которого, как планеты вокруг Солнца, движутся по орбитам электроны.*

В целом атом нейтрален, так как положительный заряд ядра уравнивает сумму отрицательных зарядов всех движущихся вокруг него электронов.

Если принять заряд $1,6 \cdot 10^{-19}$ к за единицу, то можно сказать, что номер элемента, характеризующий его место в таблице Менделеева, показывает величину положительного заряда ядра, а также число электронов, движущихся вокруг ядра при нейтральном состоянии атома. Так, номер водорода равен 1, так как водород занимает первое место в таблице Менделеева. Следовательно, заряд его ядра равен $+1,6 \cdot 10^{-19}$ к и вокруг него движется по орбите один электрон. Номер гелия 2 показывает, что ядро его имеет заряд $+2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$ к, а вокруг ядра движутся у нейтрального атома два электрона. Номер урана, занимающего в таблице Менделеева одно из последних мест, равен 92, т. е. заряд его ядра $+92 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$ к, а количество



Рис. 255. Схема ядра атома гелия.

электронов у урана при его нейтральном состоянии тоже равно 92.

Потеря атомом одного или нескольких электронов вызывает соответствующее преобладание положительного заряда ядра, и атом становится положительным ионом. Наоборот, присоединение к атому одного или нескольких избыточных электронов превращает его в отрицательный ион.

§ 166. Состав ядра. Ядро атома водорода получило название протона¹. Опыты Э. Резерфорда показали, что протоны входят и в состав ядер всех элементов.

В 1932 г. была открыта еще одна частица, тоже входящая в состав ядер, которая получила название нейтрона, так как она не обладает электрическим зарядом. Масса нейтрона почти такая же, как протона.

Советский физик Д. Д. Иваненко создал теорию строения ядер из протонов и нейтронов.

Так как нейтроны не имеют электрического заряда, то их присутствие в ядре только увеличивает массу ядра, но не влияет на заряд ядра. *Заряд ядра определяется числом протонов, находящихся в нем.*

Под номером «2» в таблице периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева стоит гелий, имеющий массовое число 4². В ядре гелия содержатся 2 протона, а кроме того, 2 нейтрона, которые, не меняя заряда ядра, увеличивают его массу до 4 единиц (рис. 255).

Фтор имеет массовое число 19 и порядковый номер 9, т. е. заряд ядра, равный 9. Ядро фтора имеет 9 протонов и $(19-9) = 10$ нейтронов.

Ядро урана, номер которого 92 и массовое число 238, состоит из 92 протонов и $(238-92) = 146$ нейтронов.

Сколько протонов и нейтронов в ядрах атомов натрия (массовое число 23, номер 11), серебра (массовое число 107, номер 47), тория (массовое число 232, номер 90)?

Подводя итог, можно сказать, что *число протонов в ядре равно его порядковому номеру, а число нейтронов — разнице между массовым числом и порядковым номером.*

Как показали исследования, массовые числа одного и того же элемента могут отличаться друг от друга. Так, атомы лития встречаются как с массовым числом 6, так и с массовым числом 7. И те и другие имеют в своих ядрах по 3 протона (номер лития 3), а число нейтронов у них разное: у лития с массовым

¹ Протон — по-гречески простейший.

² Массовое число характеризует массу ядра и указывает на общее количество содержащихся в ядре протонов и нейтронов.

числом 6 — нейтронов 3, у лития с массовым числом 7 — нейтронов 4.

Атомы хлора встречаются в основном в двух видах: с массовыми числами 35 и 37. И те и другие имеют в своих ядрах по 17 протонов, что соответствует номеру хлора, число же нейтронов у одних атомов 18, у других — 20.

Каков состав ядер неона с массовыми числами 20, 21 и 22, если номер неона 10?

Элементы с одним номером, отличающиеся друг от друга своими массовыми числами, называются изотопами. Следовательно, мы рассматривали строения ядер изотопов лития, хлора и неона.

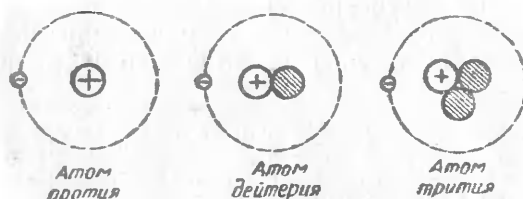


Рис. 256. Схемы ядер изотопов водорода.

Водород тоже имеет 3 изотопа. В природе, кроме обыкновенного водорода с массовым числом 1 (протия), в очень небольшом количестве встречается изотоп водорода с массовым числом 2. Его называют дейтерием. Ядро дейтерия содержит 1 протон и 1 нейтрон. Искусственным путем получают третий изотоп водорода — тритий с массовым числом 3. В его ядре, кроме протона, содержатся еще 2 нейтрона (рис. 256).

Глава XXI

АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ

§ 167. Радиоактивность. В последнее время научились получать изотопы, ядра которых являются непрочными и из них вырываются те или иные частицы или группы частиц. Такие изотопы получили название искусственно радиоактивных¹. В природе имеются вещества, обладающие естественной радиоактивностью.

Излучения радиоактивных веществ используются в медицине для лечения злокачественных опухолей и диагностики болезней. Добавление в пищу человека и животных радиоактивного изотопа того или иного элемента позволяет путем регистрации его излучений установить продвижение этого элемента в организме, степень усвоения, а также делать другие важные наблюдения.

¹ Слово радиоактивный в переводе с латинского языка значит лучедеятельный.

Например, оказывается, что в злокачественных опухолях некоторые элементы накапливаются в большем количестве, чем в остальных частях организма. В пищу больного добавляют в ничтожном количестве соответствующий радиоактивный изотоп, а потом при помощи прибора, регистрирующего излучения, определяют место его повышенного скопления.

Так как радиоактивные излучения поглощаются тем сильнее, чем толще слой вещества, через которое они проходят, то по степени их поглощения можно судить о толщине материала. Таким образом непрерывно контролируется на производствах при прокатке толщина металлических листов, а также измеряется толщина листов бумаги, пластмасс и т. д.

Радиоактивные излучения используются для борьбы с вредителями сельского хозяйства, для стерилизации продуктов, так как под их влиянием уничтожаются многие микробы и бактерии.

Обязательно при первой возможности прочтите какую-нибудь научно-популярную книгу о применении атомной энергии для мирных целей, где более подробно описано также и использование радиоактивных изотопов в технике, медицине, биологии и других науках.

§ 168. Понятие о цепной реакции. Уран, как и другие элементы, имеет несколько изотопов. В природе в основном он встречается в виде изотопа с массовым числом 238, однако около 0,7% урана принадлежит другому изотопу с массовым числом 235.

В 1939 г. группа немецких физиков обнаружила, что если нейтрон, движущийся со сравнительно небольшой скоростью, попадает в ядро урана 235, то оно разбивается на два осколка, разлетающихся с весьма большими скоростями, т. е. обладающих громадной энергией. Процесс сопровождается выделением из ядра урана еще 2 или 3 нейтронов.

Сделанное открытие позволило в дальнейшем на практике использовать энергию, тающуюся в недрах атома. Как же это осуществляется?

Если каждый из тех 2—3 нейтронов, которые разлетались в стороны при разбивании ядра урана 235 на два осколка, в свою очередь попадет во встречные ядра и вызовет их расщепление, то число образовавшихся при этом свободных нейтронов возрастет в 2—3 раза. Если же эти нейтроны опять попадут в ядра урана 235, а из каждого разбитого ядра вновь образуются 2—3 свободных нейтрона, то процесс распада ядер урана 235 начнет нарастать лавинообразно, т. е. произойдет цепная реакция (рис. 257).

Для ее осуществления необходимо, чтобы кусок урана 235¹ был достаточно больших размеров. Если взять небольшой ку-

¹ Цепная реакция может быть осуществлена при замене урана 235 плутонием — элементом, который получается искусственно.

сочек этого вещества, то образовавшиеся при первых делениях ядер нейтроны смогут вылететь, не натолкнувшись на своем пути на встречные ядра. Для возникновения цепной реакции, сопровождающейся взрывом, необходимо массу куска ядерного горючего взять достаточно большой, т. е. больше определенной величины, называемой критической массой. В зависимости от наличия примесей в куске урана 235 его критическая масса должна быть порядка 10—15 кг.

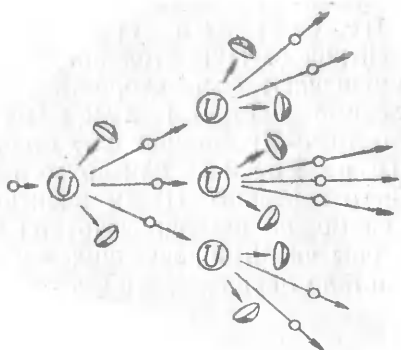


Рис. 257. Схема цепной реакции.

Если нужно произвести взрыв, то для этого следует воспользоваться двумя кусками урана 235, масса каждого из которых меньше критической. В момент взрыва эти куски урана должны соединиться вместе, их общая масса станет тогда больше критической, и первые нейтроны, которые всегда имеются в уране, вызовут образование цепной реакции. Рисунок 258 изображает схему устройства атомной бомбы.

§ 169. Атомные реакторы. Для мирного использования атомной энергии необходимо замедлить ход цепной реакции, т. е. осуществить равномерное освобождение нейтронов. Такие установки носят название атомных реакторов. На рисунке 259 показана схема такого реактора. Он сложен из кирпичей, изго-

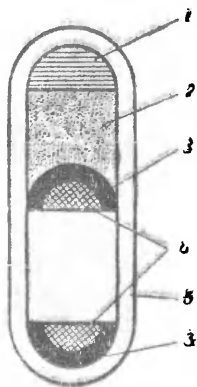


Рис. 258. Схема устройства атомной бомбы:

1 — взрыватель; 2 — заряд взрывчатого вещества; 3 — отрагатель нейтронов; 4 — уран 235; 5 — оболочка.

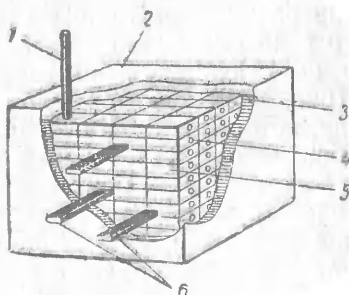


Рис. 259. Упрощенная схема атомного реактора:

1 — кадмиевый регулирующий стержень; 2 — бетонная защита; 3 — защитный свинцовый слой; 4 — трубки, в которых циркулирует теплоноситель; 5 — графитовый замедлитель; 6 — урановые стержни.

товленных из чистого графита, в который введены урановые стержни. Графит служит для замедления движения нейтронов. При столкновениях с атомами углерода нейтроны уменьшают свою скорость, а исследования показали, что медленные нейтроны лучше захватываются ядрами урана, чем быстрые. Кроме урановых стержней, в реактор вводятся стержни из кадмия или другого какого-либо вещества, поглощающего нейтроны. Путем вдвигания или выдвигания этих стержней можно регулировать ход ядерных реакций таким образом, чтобы число образующихся нейтронов каждую секунду не возрастало лавинообразно, а оставалось постоянным.

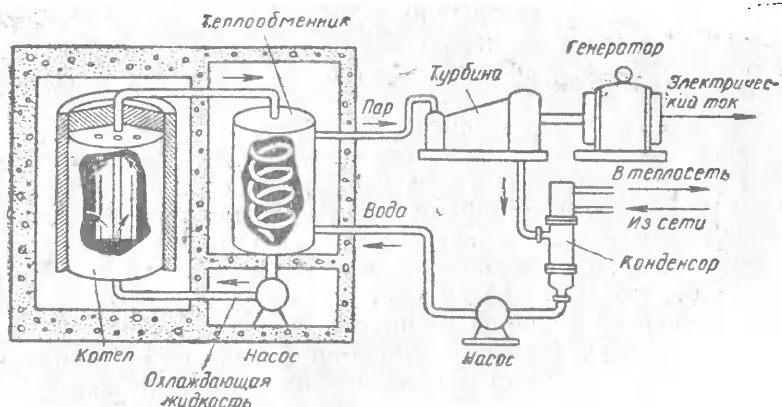


Рис. 260. Схема атомной электростанции.

Для защиты людей от вредного действия нейтронов реактор окружают толстой бетонной стенкой толщиной до 4 м.

По специальным каналам, которые проходят внутри реактора, непрерывно циркулирует какой-либо теплоноситель, например вода или жидкий металл. Теплоноситель отводит непрерывно выделяющуюся в реакторе энергию в теплообменник (рис. 260), где образуется пар, приводящий в движение турбину, которая в свою очередь вращает ротор генератора, вырабатывающего электрическую энергию.

Первая промышленная атомная электростанция была построена в СССР. Она была введена в эксплуатацию 27 июня 1954 г. Мощность турбогенератора станции 5000 квт. Расход урана в сутки составляет 30 г. К.п.д. станции — 17%.

В настоящее время в Советском Союзе введено в действие уже несколько атомных электростанций.

12 сентября 1959 г. было завершено строительство атомного ледокола «Ленин» (рис. 261). Приводим некоторые данные о нем.

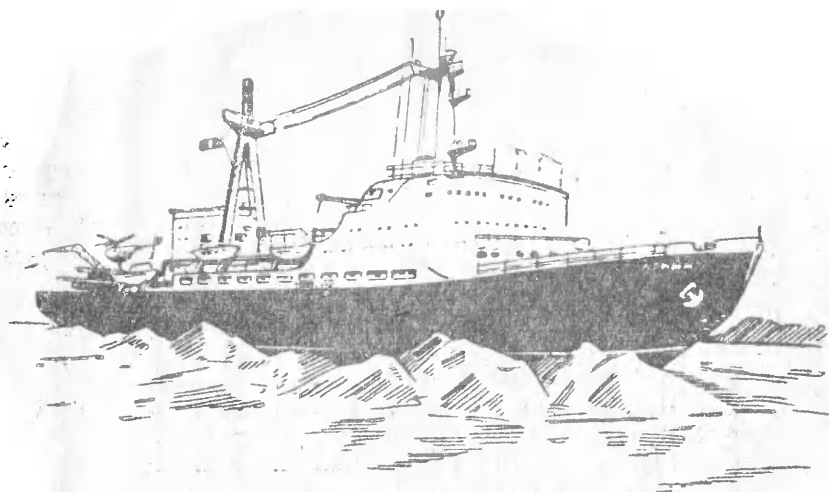


Рис. 261. Атомный ледокол «Ленин».

Длина ледокола	134 м
Наибольшая ширина	27,6 м
Высота борта (в средней части)	16,1 м
Осадка	9,2 м
Водоизмещение	16 000 т
Скорость движения (в чистой воде)	33,3 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$
Мощность	32 400 квт
Суточный расход урана при работе ледокола на полную мощность	около 200 г

ОГЛАВЛЕНИЕ

Как работать с учебным пособием	3
Введение	5
§ 1. Некоторые сведения о телах	—
§ 2. Предмет физики	6
§ 3. Задачи физики. Наблюдения и опыты	7
§ 4. Развитие физики в нашей стране	8
§ 5. Понятие об измерении	9
§ 6. Метрическая система единиц	10
§ 7. Измерение длины. Точность измерения	11
§ 8. Штангенциркуль	13
§ 9. Микрометр	14
§ 10. Измерение площадей	15
§ 11. Измерение объемов	—
§ 12. Измерение масс	16

Отдел первый

МЕХАНИКА

Глава I. Механическое движение	19
§ 13. Относительность движения и покоя	—
§ 14. Движение прямолинейное и криволинейное	—
§ 15. Переменное и равномерное движение	20
§ 16. Скорость	21
§ 17. Поступательное и вращательное движение	22
Глава II. Механические силы	25
§ 18. Сила	—
§ 19. Всемирное тяготение. Вес тела	26
§ 20. Единицы силы	27
§ 21. Измерение сил	29
§ 22. Графическое изображение сил	—
§ 23. Плотность	30
<i>Лабораторная работа. Определение плотности вещества</i>	31
§ 24. Удельный и объемный вес	—
§ 25. Сила давления и давление	33
§ 26. Передача давления твердыми телами	34

§ 27. Сила трения и сила тяги	35
§ 28. Трение скольжения	36
§ 29. Способы изменения сил трения. Трение качения	—
§ 30. Понятие о деформациях	37
§ 31. Действие и противодействие	38
 Глава III. Работа, мощность, энергия	39
§ 32. Механическая работа	—
§ 33. Мощность	40
§ 34. Момент силы	41
§ 35. Центр тяжести тела. Виды равновесия	43
§ 36. Устойчивость тела	45
§ 37. Рычаги	47
§ 38. Блоки	49
§ 39. Винт	51
§ 40. Наклонная плоскость	—
§ 41. Коэффициент полезного действия механизмов	52
<i>Лабораторная работа. Определение к.п.д. наклон-</i> <i>ной плоскости</i>	53
§ 42. Виды передач вращательного движения	54
§ 43. Механическая энергия	57
§ 44. Закон сохранения и превращения энергии	59
 Глава IV. Свойства жидкостей и газов	60
§ 45. Передача давления жидкостями и газами	—
§ 46. Давление жидкости на дно и стенки сосуда	62
§ 47. Сообщающиеся сосуды	64
§ 48. Атмосферное давление	66
§ 49. Барометры	69
§ 50. Связь давления газа с его объемом. Манометры	71
§ 51. Насосы	72
§ 52. Применение сжатого воздуха	75
§ 53. Закон Архимеда	76
§ 54. Плавание тел	78
<i>Лабораторная работа. Условие плавания тел</i>	—
§ 55. Закон Архимеда для газов	79
§ 56. Воздухоплавание	80

Отдел второй

З В У К

Глава V. Звуковые явления	81
§ 57. Колебательные движения	—
§ 58. Звуковые колебания	82
§ 59. Скорость звука	84
§ 60. Отражение звука	85
§ 61. Механическая запись и воспроизведение звука	86

Отдел третий
ТЕПЛОТА

Глава VI. Первоначальные сведения о теплоте	87
§ 62. Молекулярное строение вещества	—
§ 63. Движение молекул	88
§ 64. Молекулярные силы	89
§ 65. Расширение тел при нагревании	90
§ 66. Способы передачи теплоты	92
Глава VII. Внутренняя энергия и количество теплоты	
§ 67. Понятие о внутренней энергии	95
§ 68. Удельная теплоемкость вещества	96
§ 69. Калориметр	97
<i>Лабораторная работа.</i> Сравнение количества теплоты, отданной и полученной при смешении горячей и холодной воды	—
§ 70. Теплота сгорания топлива. К. п. д. нагревателя	98
<i>Лабораторная работа.</i> Определение к.п.д. нагревателя	99
Глава VIII. Твердые тела. Переход из твердого состояния в жидкое и обратно	—
§ 71. Вещества кристаллические и аморфные	—
§ 72. Плавление и отвердевание кристаллических веществ	100
<i>Лабораторная работа.</i> Наблюдение за температурой плавления и отвердевания нафталина	101
§ 73. Удельная теплота плавления	102
§ 74. Плавление и отвердевание аморфных веществ	103
§ 75. Изменение объема тел при плавлении	104
§ 76. Сплавы	—
Глава IX. Парообразование и конденсация	105
§ 77. Испарение и конденсация	—
<i>Лабораторная работа.</i> Наблюдение за температурой воды при нагревании и кипении	106
§ 78. Кипение	—
§ 79. Влияние давления на температуру кипения	—
§ 80. Удельная теплота парообразования	107
Глава X. Тепловые двигатели	109
§ 81. К. п. д. тепловых двигателей	—
§ 82. Паровая машина	110
§ 83. Паровая турбина	112
§ 84. Двигатель внутреннего сгорания	—
§ 85. Дизельный двигатель	114
§ 86. Реактивные двигатели	115
§ 87. Успехи нашей Родины в деле освоения космоса	116

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Глава XI Электрические заряды и электрическое поле	118
§ 88. Значение науки об электричестве	—
§ 89. Электризация тел	—
§ 90. Проводники и изоляторы	120
§ 91. Электроскоп	—
§ 92. Понятие об электрическом поле	121
§ 93. Объяснение электростатических явлений по электростатической теории	—
§ 94. Электростатическая индукция	122
§ 95. Конденсатор	124
§ 96. Атмосферное электричество. Гроза	125
Глава XII. Электрический ток	126
§ 97. Природа тока	—
§ 98. Тепловое действие тока	127
§ 99. Химическое действие тока	—
§ 100. Магнитное действие тока	128
§ 101. Гальванические элементы	—
§ 102. Аккумуляторы	129
§ 103. Термоэлементы	131
§ 104. Фотозлементы	132
Глава XIII. Электрическая цепь. Законы тока	133
§ 105. Условия возникновения тока	—
§ 106. Электрическая цепь	—
§ 107. Величина заряда	134
§ 108. Сила тока	—
§ 109. Амперметр	135
§ 110. Понятие о напряжении	136
§ 111. Вольтметр	137
§ 112. Мощность тока	138
§ 113. Работа тока	139
§ 114. Еще раз о напряжении	—
Лабораторная работа. Составление электрической цепи и измерение силы тока и напряжения на различных ее участках	140
§ 115. Единица работы тока ватт-час	—
§ 116. Сопротивление проводников	141
§ 117. Формула для расчета сопротивления проводника	—
§ 118. Реостаты	142
§ 119. Закон Ома	143
§ 120. Снова о напряжении	145
Лабораторная работа. Определение сопротивления проводника	—
Лабораторная работа. Изучение последовательного соединения проводников	146
Лабораторная работа. Изучение параллельного соединения проводников	—

§ 121. Тепловое действие тока	147
§ 122. Нагревательные приборы	148
§ 123. Лампа накаливания	149
§ 124. Плавкие предохранители	150
§ 125. Электрическая дуга	—
§ 126. Свеча Яблочкова	151
§ 127. Электрическая сварка	152
§ 128. Опасен ли для жизни ток при напряжении 127 и 220 в?	—
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	153
Глава XIV. Электромагнитные явления	154
§ 129. Свойства магнитов	—
§ 130. Строение магнита	155
§ 131. Магнитное поле	156
§ 132. Электромагнит	158
§ 133. Электромагнитное реле	159
§ 134. Телеграф	160
§ 135. Микрофон и телефон	161
§ 136. Движение проводника с током в магнитном поле	162
§ 137. Электрический двигатель постоянного тока . . .	163
Глава XV. Электромагнитная индукция. Переменный ток	165
§ 138. Явление электромагнитной индукции	—
§ 139. Генераторы переменного тока	167
§ 140. Переменный ток	169
§ 141. Получение постоянного тока	170
§ 142. Трансформаторы	172
§ 143. Закон сохранения энергии при трансформации тока	174
§ 144. Передача электроэнергии на расстояние . . .	175
§ 145. Электрификация СССР	—
Глава XVI. Элементарные сведения о радиопередаче и радиоприеме	178
§ 146. Колебательный контур	—
§ 147. Частота колебания в контуре	179
§ 148. Передача и распространение электромагнитных волн	—
§ 149. Прием электромагнитных волн	181
§ 150. Детекторный приемник	—
§ 151. Изобретатель радио А. С. Попов	182

Отдел пятый

СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Глава XVII. Прямолинейное распространение света . . .	184
§ 152. Источники света	—
§ 153. Прямолинейное распространение света	185
§ 154. Скорость света	187

Глава XVIII. Отражение света	187
§ 155. Законы отражения света	—
§ 156. Зеркала	189
Глава XIX. Преломление и разложение света	191
§ 157. Законы преломления света	—
<i>Лабораторная работа.</i> Преломление света в пластинке с плоскопараллельными гранями	192
<i>Лабораторная работа.</i> Преломление света в трехгранной призме	—
§ 158. Линзы	193
<i>Лабораторная работа.</i> Получение изображений с помощью линзы	195
§ 159. Фотоаппарат	196
§ 160. Фотоувеличитель. Проекционные аппараты	198
§ 161. Кинематограф	199
§ 162. Глаз. Очки	—
§ 163. Разложение света	200
§ 164. Инфракрасные и ультрафиолетовые лучи	201

Отдел шестой

СТРОЕНИЕ АТОМА И АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ

Глава XX. Строение атома	203
§ 165. Электронная оболочка и ядро атома	—
§ 166. Состав ядра	204
Глава XXI. Атомная энергия	205
§ 167. Радиоактивность	—
§ 168. Понятие о цепной реакции	206
§ 169. Атомные реакторы	207

Павел Адамович Рымкевич
и Андрей Павлович Рымкевич
ФИЗИКА

Редактор *Л. Л. Величко*
Художественный редактор *В. С. Эрденко*
Технический редактор *Н. Ф. Макарова*
Корректор *Т. Н. Смирнова*

* * *

Сдано в набор 29/I 1966 г. Подписано к печати 10/VI 1966 г. 60 × 90^{1/16}. Печ. л. 13,5. Уч.-изд. л. 13,19. Тираж 110 тыс. экз. А13488

* * *

Издательство «Просвещение» Комитета по печати при Совете Министров РСФСР. Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Типография им. Смирнова, Смоленского облуправления по печати, г. Смоленск, пр. им. Ю. Гагарина, 2. Заказ № 4334.

Цена без переплета 27 коп., переплет 7 коп.

(рис. 242, б). Для плоско-выпуклой или плоско-вогнутой линзы она находится в точке, где оптическая ось пересекает сферическую поверхность (рис. 242, в).

Чем больше кривизна поверхностей линзы, тем сильнее линза преломляет лучи и тем короче ее фокусное расстояние. На практике часто употребляют термин оптическая сила линзы. Чем меньше фокусное расстояние линзы, тем больше ее оптическая сила. Значит, все короткофокусные линзы имеют боль-

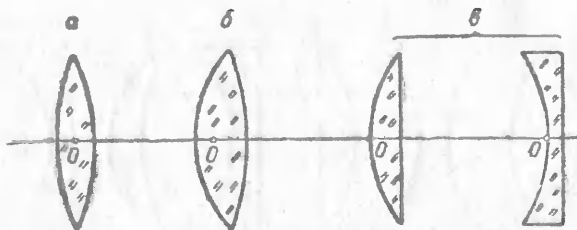


Рис. 242. Положение оптического центра у различных линз.

шую оптическую силу, а длиннофокусные — малую. Оптическая сила линзы Φ измеряется величиной, обратной ее фокусному расстоянию:

$$\Phi = \frac{1}{f}.$$

За единицу оптической силы принята диоптрия. Это оптическая сила линзы с фокусным расстоянием, равным 1 метру.

Вам прописали очки с оптической силой в 2 диоптрии. Каково фокусное расстояние такой линзы? Из формулы получаем:

$$f = \frac{1}{\Phi} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ (м)}.$$

Подсчитайте сами оптическую силу линз с фокусными расстояниями 20 см, 50 см, 80 см, 2 м и фокусные расстояния для линз с оптической силой 4 диоптрии и 0,8 диоптрии.

Подумайте, как определить фокусное расстояние линзы в солнечный день.

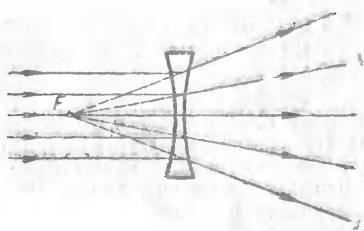


Рис. 243. Минимй фокус рассеивающей линзы.

Лучи, падающие на рассеивающую линзу параллельно оптической оси (рис. 243), выходят из нее расходящимся пучком. Для характеристики преломляющих свойств рассеивающей линзы вводят понятие о мнимом фокусе, эта точка пересечения продолжений лучей, вышедших из линзы после преломления,

Фокусное расстояние рассеивающих линз считают отрицательным. В связи с этим оптическая сила таких линз сопровождается знаком минус. Если были прописаны очки с оптической силой — 2 диоптрии, то значит, что это рассеивающая линза с фокусным расстоянием:

$$f = \frac{1}{-2} = -0,5 \text{ (м)},$$

т. е. ее мнимый фокус лежит на расстоянии от линзы, равном 0,5 м.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Получение изображений с помощью линзы

Проведем лабораторную работу, на основании которой изучим законы получения изображений при помощи собирающей линзы.

Для этой цели необходимо иметь источник света (свечу или лампу), собирающую линзу, экран и линейку (рис. 244).

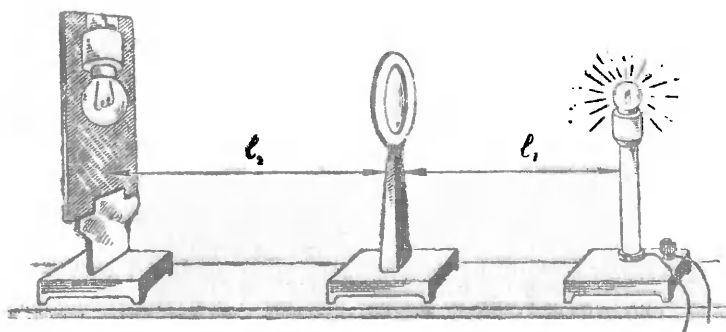


Рис. 244. Установка для получения на опыте различных изображений в линзе.

Расположите лампу по возможности дальше от линзы и, перемещая экран, найдите такое его положение, при котором на экране будет получено наиболее четкое изображение лампочки. Если она находится достаточно далеко от линзы, то лучи, идущие от лампочки, можно считать практически параллельными; пройдя линзу, они пересекутся очень близко от фокуса линзы.

Измерьте расстояние от экрана до линзы: этим вы определите с достаточной точностью фокусное расстояние.

Начните приближать лампочку к линзе — изображение на экране будет расплываться. Для того чтобы вновь получить четкое изображение, экран придется несколько отодвинуть от линзы. Измерьте расстояние от лампочки до линзы (обозначается буквой l_1) и расстояние от экрана до линзы (l_2). Проведите 2—3 измерения для случая, когда лампочка отстоит от линзы дальше, чем экран от нее ($l_1 > l_2$). Изображение получается обратным (перевернутым), уменьшенным и действительным (изображение называем действительным, если оно реально существует, т. е. его можно получить на экране). Во сколько раз l_1 больше l_2 , во столько же раз линейные размеры изображения меньше соответствующих размеров источника света.

Проверьте это хотя бы приближенно.

Цена 34 коп.