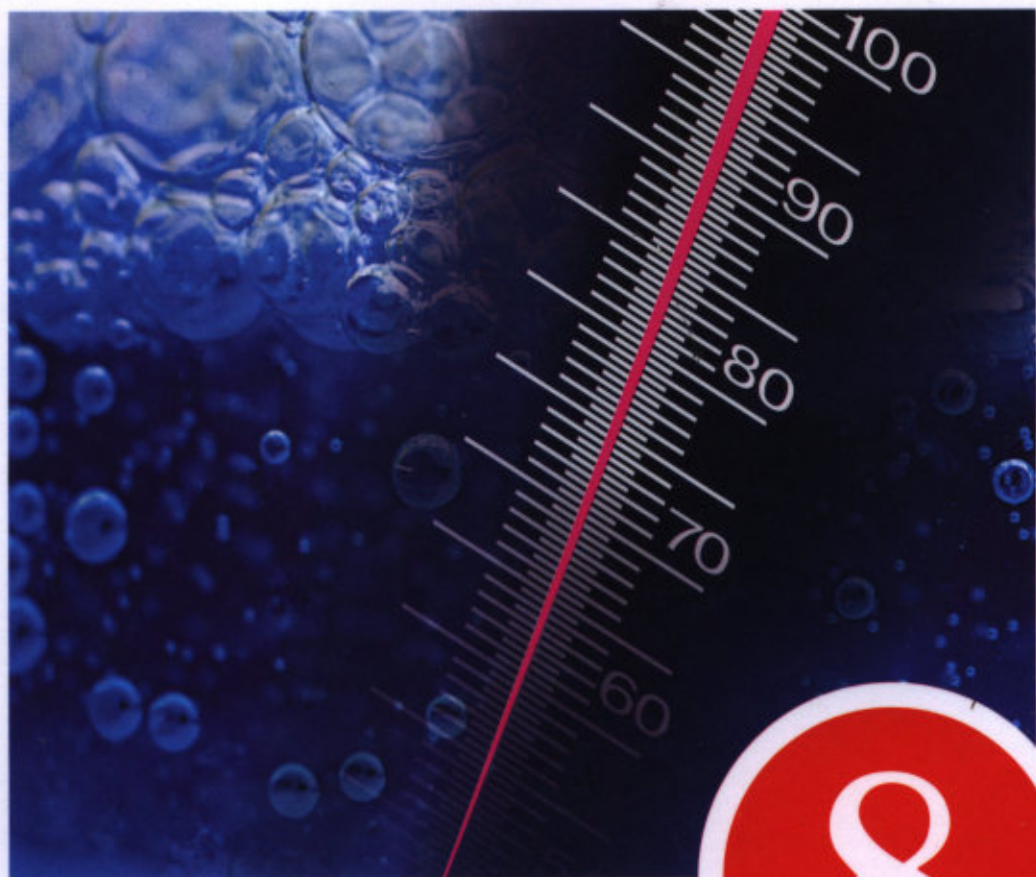




И. М. Перышкин, А. И. Иванов

ФИЗИКА



И. М. Перышкин, А. И. Иванов

ФИЗИКА



УЧЕБНИК

Допущено
Министерством просвещения
Российской Федерации

2-е издание, стереотипное



Москва
«Просвещение»
2022

УДК 373.167.1:53+53(075.3)
ББК 22.3я721
П27


Учебник допущен к использованию при реализации имеющих государственную аккредитацию образовательных программ начального общего, основного общего, среднего общего образования организациями, осуществляющими образовательную деятельность, в соответствии с Приказом Министерства просвещения Российской Федерации № 766 от 23.12.2020.

Эксперты, осуществлявшие экспертизу учебника:
Репина И. В., Цыганкова П. В., Васильева И. В., Жиганова А. В.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Ответ на вопросы  ; *обсуди* с товарищами  ;

реши задачи из  УПРАЖНЕНИЯ ;

примени полученные знания  ЗАДАНИЕ ;



— экспериментальное,



— исследовательское,




— проектное,



— графическое;

расширь свой кругозор **Это любопытно...** ;

научись пользоваться приборами **ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ** 

Перышкин, И. М.

П27 Физика : 8-й класс : учебник / И. М. Перышкин, А. И. Иванов. — 2-е изд., стер. — Москва : Просвещение, 2022. — 255, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-09-092688-1.

Учебник соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту основного общего образования.

Большое количество красочных иллюстраций, разнообразные вопросы и задания, а также дополнительные сведения и любопытные факты способствуют эффективному усвоению учебного материала.

УДК 373.167.1:53+53(075.3)
ББК 22.3я721

ISBN 978-5-09-092688-1

© АО «Издательство «Просвещение», 2021
© Художественное оформление.
АО «Издательство «Просвещение», 2021
Все права защищены

Глава 1

ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 1

ТЕПЛОВОЕ ДВИЖЕНИЕ. ТЕМПЕРАТУРА

В 7 классе вы познакомились с основами теории строения вещества. Эту теорию называют *молекулярно-кинетической теорией* (МКТ). В её основе лежат три основных положения.

1. Все вещества состоят из частиц (молекул, атомов, ионов), между которыми существуют промежутки.

2. Все частицы вещества находятся в непрерывном хаотическом (беспорядочном) движении.

3. Между частицами вещества существует взаимодействие: притяжение и отталкивание.

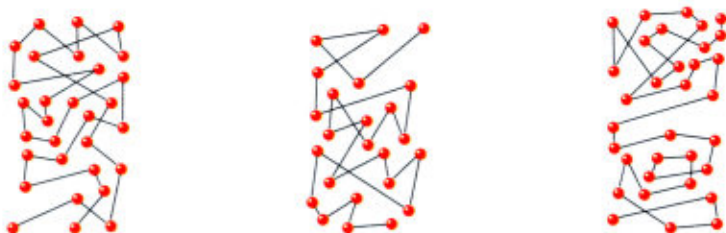
Напомним, что молекулы состоят из атомов. Размеры атомов очень малы — порядка 10^{-10} м. Простые молекулы имеют размеры, сравнимые с размерами атомов. Сложные молекулы, состоящие из большого количества атомов, могут быть существенно больших размеров (например, молекула ДНК человека может достигать нескольких сантиметров).

Основные положения МКТ подтверждаются большим числом экспериментальных данных. Одним из них является уже известное вам явление диффузии — самопроизвольное смешивание соприкасающихся веществ. Подтверждением основных положений МКТ является броуновское движение — беспорядочное движение маленьких частиц, взвешенных в жидкости или газе (рис. 1). Эксперименты показы-



Молекула ДНК

Рис. 1. Траектория движения микро-частиц краски, растворённой в воде



вают, что скорость диффузии и интенсивность броуновского движения увеличиваются при повышении температуры. Что же характеризует *температура*? И как она связана с движением молекул?

Каждый из вас может отличать тёплое от холодного, горячее от тёплого. Явления, важной характеристикой которых является температура, называют *тепловыми*. К таким явлениям относятся, например, нагревание и охлаждение воды, образование льда, плавление парафина.

Температуру измеряют с помощью термометра. Вспомните, как вы измеряете температуру собственного тела специальным медицинским термометром (в быту его называют градусником) — зажимаете его под мышкой. Вначале термометр холодит тело, затем ощущение холода исчезает. Через 10 мин вы вынимаете термометр и смотрите, какую температуру он показывает.

Температуру чего показывает термометр? Ответ вам кажется очевидным: температуру вашего тела. Но не торопитесь. Он показывает собственную температуру. Мы помещаем термометр под мышку для того, чтобы привести его в плотное соприкосновение с телом, тогда температура термометра через небольшой промежуток времени станет равной температуре нашего тела. Если несколько тел различной температуры привести в соприкосновение друг с другом, то через некоторое время температура всех тел станет одинаковой. Говорят, что тела находятся в *тепловом равновесии*.



а)



б)

Примеры тепловых явлений:
а — таяние льда;
б — замерзание воды



Плавление парафина

Принцип действия жидкостного термометра основан на расширении жидкостей при нагревании. Приходя в тепловое равновесие с телом, температура которого измеряется, жидкость изменяет свой объём. О температуре тела судят по длине столбика жидкости.

Как только вы достали из-под руки термометр, его температура должна понизиться, приближаясь к температуре окружающего воздуха. Но показания термометра не меняются, потому что в его капилляре сделано специальное сужение, которое разрывает столб ртути, не давая ей опускаться. Таким образом, медицинский термометр фиксирует максимальную температуру, поэтому его называют **максимальным**. Другие термометры, не имеющие такого сужения, нельзя вынимать из среды, температуру которой они измеряют.

Из собственного опыта вы знаете, что чем больше нагрето тело, тем более высокую температуру оно имеет. Повышение температуры приводит к увеличению скорости диффузии и броуновского движения, которые определяются скоростями движения молекул. Значит, скорости движения молекул и их кинетические энергии возрастают с увеличением температуры. Именно поэтому беспорядочное движение молекул называют **тепловым**.

Отличие механического движения от теплового заключается в том, что механическое движение совершает отдельная частица и для любого момента времени можно определить её положение и скорость. В тепловом же движении участвует огромное число молекул, и зафиксировать информацию о положении и скорости каждой из них просто невозможно. Изучая тепловое движение, вводят характеристики, относящиеся не к отдельным частицам, а к совокупностям большого числа частиц.

Оказывается, температура характеризует среднюю кинетическую энергию теплового движения молекул. Когда тела приходят в тепловое равновесие, средние кинетические энергии



Максимальный термометр

их молекул становятся одинаковыми. Подчеркнём, что температура характеризует тело в целом, среднюю кинетическую энергию огромного числа молекул (эта величина получится, если сумму кинетических энергий молекул разделить на их общее число), а не отдельную молекулу. Молекулы тела при данной температуре имеют разные скорости. Они сталкиваются, их скорости и кинетические энергии изменяются. Средняя же кинетическая энергия молекул при данной температуре остаётся неизменной. Таким образом, *температура является мерой средней кинетической энергии теплового движения молекул.*

Увеличение средней кинетической энергии молекул воспринимается нами как повышение температуры тела, а уменьшение кинетической энергии — как её понижение. Если все молекулы перестанут двигаться, то кинетическая энергия каждой молекулы, а значит, и средняя энергия будут равны нулю. Чему будет равна температура в этом случае? Если использовать наиболее распространённую в практике температурную шкалу Цельсия, температура

будет равна $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Меньшей температуры в природе не существует. Эта температурная шкала предложена в 1742 г. шведским учёным *Андерсом Цельсием* (1701—1744). Температура по шкале Цельсия обозначается буквой t и измеряется в *градусах Цельсия* ($^{\circ}\text{C}$). По шкале Цельсия за $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ принята температура тающего льда, за $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ — температура паров кипящей воды при нормальном атмосферном давлении (760 мм рт. ст.)¹.

В физике ещё используется шкала Кельвина (рис. 2), названная по



Рис. 2. Шкалы температур

¹ Если нет специальных указаний, считают, что значения температур приведены при нормальном атмосферном давлении.

имени английского физика **Томсона Уильяма Кельвина** (1824—1907). По этой шкале нуль соответствует температуре, при которой прекратилось бы тепловое движение молекул. Эту температуру называют *абсолютным нулём*. По шкале Цельсия абсолютному нулю соответствует температура $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (при вычислениях округляют до $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$). Температура по шкале Кельвина обозначается буквой *T*. Единицей температуры по этой шкале является *кельвин (К)*.

Один кельвин равен одному градусу Цельсия: $1\text{ К} = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Связь температур по шкале Кельвина и шкале Цельсия выражается соотношением:

$$T = t + 273.$$

Итак, результаты экспериментов показывают, что молекулы находятся в тепловом движении. В жидкостях и твёрдых телах молекулы и атомы тоже движутся беспорядочно, как и в газах. Только характер этого движения несколько другой. В твёрдых телах они колеблются около некоторых средних положений. В жидкостях молекулы могут колебаться, вращаться и перемещаться относительно друг друга.



1. Приведите примеры тепловых явлений.
2. Чем отличается тепловое движение от механического?
3. Что характеризует температура? Каковы её единицы измерения?
4. Как связана температура тела со скоростью движения его молекул? Какие явления это доказывают?
5. Что такое абсолютный нуль температуры?
6. Каким соотношением выражается связь температур по шкале Кельвина и шкале Цельсия?
7. Почему обычный термометр, в отличие от максимального, нельзя вынимать из среды, температуру которой измеряют?



УПРАЖНЕНИЕ 1

1. Температура тела изменилась от 25 до $27\text{ }^{\circ}\text{C}$. На сколько градусов оно нагрелось: а) по шкале Цельсия; б) по шкале Кельвина?
2. Переведите значения температуры: а) в градусы Цельсия: 300 К , 220 К , 273 К , 673 К ; б) в кельвины: $127\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$, $36,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.
3. Расположите значения температуры в порядке возрастания: а) 273 К , $10\text{ }^{\circ}\text{C}$; б) $27\text{ }^{\circ}\text{C}$, 290 К ; в) $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 0 К .



ЗАДАНИЕ



- Измерьте температуру воздуха в тени на улице. Внесите термометр в комнату. Как меняется его показание? В какой момент вы можете сказать, чему равна температура воздуха в комнате?



Постройте график зависимости показаний термометра t от времени τ . Интервал времени возьмите равным 30 с.

§ 2

ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ

Вы знакомы с двумя видами механической энергии: **потенциальной** и **кинетической**. Потенциальная энергия — это энергия взаимодействия тел или частей одного тела, кинетическая — это энергия движущихся тел.

В любом веществе, независимо от его агрегатного состояния (твёрдого, жидкого, газообразного), молекулы находятся в тепловом движении. Следовательно, даже если само тело покоится, его молекулы обладают кинетической энергией. Молекулы тела взаимодействуют между собой, поэтому обладают потенциальной энергией.

Сумму кинетической энергии теплового движения всех молекул тела и потенциальной энергии их взаимодействия называют внутренней энергией тела.

Внутреннюю энергию обозначают буквой U и измеряют в *джоулях* (Дж).

Кинетическая и потенциальная энергия одной молекулы — очень маленькая величина. Но суммарная энергия всех молекул, которые содержатся в теле, велика.

В различных процессах, происходящих с телом, механическая энергия (кинетическая и потенциальная энергия) тела и его внутренняя энергия могут переходить друг в друга.



а)



б)

Тела, обладающие потенциальной энергией:

а — деформированная пружина;

б — камень, поднятый над землёй



Чтобы в этом убедиться, проведём следующий опыт. Возьмём свинцовый шар, поднимем его над свинцовой плитой (рис. 3, а) и опустим. При падении высота шара над плитой уменьшается, а его скорость увеличивается (рис. 3, б). Поэтому потенциальная энергия шара уменьшается, а кинетическая — возрастает. После падения на плиту он остановится. И кинетическая, и потенциальная энергия шара станут равными нулю. Но это не значит, что энергия исчезла.

Внимательно осмотрев шар, обнаружим, что он деформировался. Значит, расстояния между его молекулами изменились, а поэтому изменилась и потенциальная энергия их взаимодействия. Если же измерить температуру шара сразу после удара, обнаружится, что он нагрелся. Значит, увеличилась средняя кинетическая энергия его молекул, а поэтому и суммарная кинетическая энергия молекул.

Итак, внутренняя энергия шара изменилась. Плита в результате взаимодействия с шаром тоже деформировалась и нагрелась. Таким образом, механическая энергия шара перешла во внутреннюю энергию шара и плиты.

Полная энергия тела — сумма его механической (кинетической и потенциальной) энергии и внутренней.

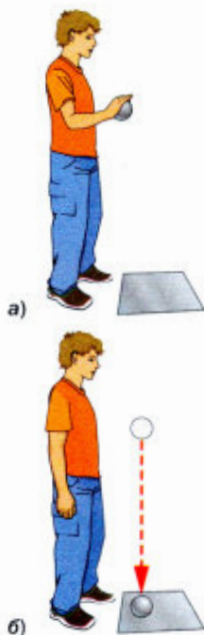


Рис. 3. Превращение механической энергии свинцового шара

Приведём другие примеры перехода механической энергии тела в его внутреннюю энергию. При движении тела в присутствии трения нагревание соприкасающихся поверхностей может быть очень сильным. Так, при торможении поезда тормозные колодки значительно нагреваются. Значит, увеличивается внутренняя энергия тормозных колодок (части поезда), а кинетическая энергия поезда уменьшается.

Трение увеличивает и внутреннюю энергию возвращающегося с орбиты космического ап-

парата перед посадкой на Землю. Поэтому на нём приходится устанавливать специальную тепловую защиту и уменьшать скорость его спуска. При этом механическая энергия самого аппарата уменьшается.

Внутренняя энергия тела не зависит от его механического движения и положения относительно других тел. Так, внутренняя энергия шара не изменится, если его положить на стол, а затем поднять над столом.

Внутренняя энергия — величина, определяемая внутренним состоянием тела (характером движения и взаимным расположением молекул).

Кроме нагревания, тела могут испытывать и другие изменения состояния. Например, они могут плавиться, испаряться и т. д. Во всех случаях изменяется состояние тел, а значит, и внутренняя энергия.



1. Что называют внутренней энергией тела? **2.** Рассмотрите превращения энергии, которые происходят при подъёме шара и при его падении. **3.** Что свидетельствует об изменении состояний свинцового шара и свинцовой плиты в результате их соударения? **4.** Какую энергию называют полной энергией тела? **5.** Приведите примеры перехода механической энергии тела в его внутреннюю энергию. **6.** От чего не зависит внутренняя энергия тела?



1. Подумайте, существует ли связь между внутренней энергией и температурой тела.
2. Докажите, пользуясь основными положениями молекулярно-кинетической теории, что все тела обладают внутренней энергией.



УПРАЖНЕНИЕ 2

1. Сравните внутренние и механические энергии планёра, стоящего на вершине горы и находящегося в полёте, если его температуру на горе и в воздухе считать: а) одинаковой; б) различной.
2. В одном стакане находится холодная вода, в другом — горячая той же массы. Одинакова ли внутренняя энергия воды в этих стаканах?
3. В стакане находятся одинаковые массы воды и льда при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Обладает ли лёд внутренней энергией? Одинакова ли внутренняя энергия воды и льда?

Из истории учения о теплоте

С глубокой древности люди задумывались над вопросом: чем отличается горячее тело от холодного? Ещё в 1744—1745 гг. **Михаил Васильевич Ломоносов** в своей работе «Размышления о причине теплоты и холода» высказал утверждение о том, что тепловые явления обусловлены движением частиц тела — его молекул. Чтобы стало понятным принципиальное отличие взглядов Ломоносова от господствовавших тогда теорий, остановимся кратко на тех представлениях о теплоте, которые прочно сложились к XVIII столетию.

Теплоту представляли в виде невесомой и невидимой жидкости, пропитывающей поры тела, как вода пропитывает губку. Действительно, мы замечаем, что тепло от огня в очаге передаётся через стенки котла воде, нагревая её. Горячая вода нагревает погружённую в неё холодную ложку. Каждый из вас может привести пример, как бы подтверждающий представление о теплоте как о жидкости, протекающей через тончайшие поры тела. То, что эта жидкость не только невидима, но и невесома, было к тому времени установлено сравнительным взвешиванием холодных и горячих тел. Такую жидкость называли теплородом. Чем больше теплорода в теле, тем выше его температура.

Ломоносов решительно отрицал существование теплорода и говорил, что «причиной теплоты является внутреннее вращательное движение связанной материи». Однако многие крупные учёные Европы продолжали защищать представление о теплороде. Эксперименты, свидетельствовавшие против теории теплорода, были поставлены лишь в конце XVIII в. английским физиком **Бенджамин Томпсоном** (граф Румфорд).

Многие выдающиеся учёные XVI—XVIII вв. отстаивали этот же взгляд на природу теплоты. Английский учёный **Фрэнсис Бэкон** писал: «Сама теплота в своей сущности есть не что иное, как движение... Теплота состоит в переменном движении мельчайших частиц тела».

§ 3

СПОСОБЫ ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ ТЕЛА

Ранее был поставлен вопрос о сравнении механических и внутренних энергий планёра, стоящего на горе и находящегося в полёте, при условии, что его температура в обоих случаях

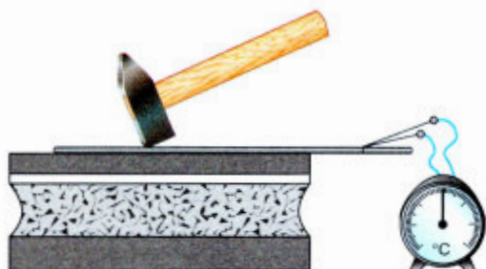


Рис. 4. Увеличение внутренней энергии металлического стержня совершением работы

одинакова. Механическая энергия планёра на горе и в полёте различна, так как в полёте изменяется его скорость и положение относительно других тел. Именно этими двумя способами можно изменить механическую энергию тела.

Как же изменить внутреннюю энергию тела? Проведём простой опыт. Ударим по металлическому стержню молотком (рис. 4).

В этом случае над стержнем будет совершена работа, он нагреется и деформируется. Значит, кинетическая энергия движения молекул и потенциальная энергия их взаимодействия изменятся. Следовательно, изменится и внутренняя энергия стержня.

Если работа совершается над телом, то внутренняя энергия этого тела увеличивается. Подтверждением этого может служить следующий опыт. Латунную трубку с эфиром (рис. 5) плотно закрыли пробкой. Трубку обвили вокруг верёвкой, которую быстро двигают. В результате через некоторое время эфир нагревается, закипает, и пар выбивает пробку.

Если работу совершает само тело, то его внутренняя энергия уменьшается. Наблюдать это можно на опыте.

Возьмём толстостенную стеклянную банку с узким горлом, закроем её пробкой и накачаем воздух (рис. 6). Через некоторое время пробка вылетит, а на внутренней стенке банки появятся капельки жидкости. Дело в том, что, выталкивая пробку, воздух совершает работу. При этом он резко охлаждается, и водяной пар, находящийся в воздухе, превращается в воду. В банке появляется туман. Работу совершает само тело (воздух), поэтому внутренняя энергия его уменьшается.

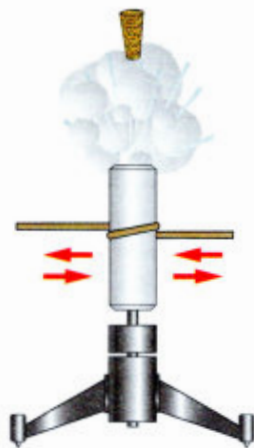


Рис. 5. Увеличение внутренней энергии эфира совершением работы



Рис. 6. Уменьшение внутренней энергии воздуха при совершении им работы

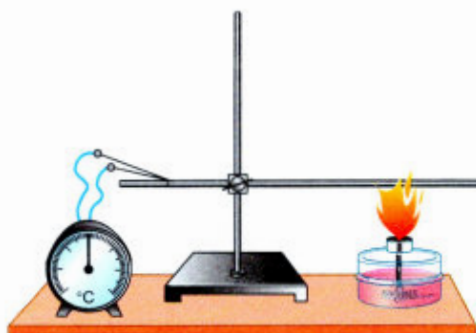


Рис. 7. Увеличение внутренней энергии металлического стержня теплопередачей

Внутренняя энергия тела изменяется не только при совершении работы. К одному концу металлического стержня поднесём пламя спиртовки (рис. 7). Через некоторое время нагреется весь стержень. Как вам известно, при нагревании молекулы тела начинают двигаться быстрее. Следовательно, их кинетическая энергия увеличивается. Значит, увеличивается внутренняя энергия стержня.

Процесс изменения внутренней энергии тела без совершения работы называют теплопередачей.

Внутреннюю энергию тела можно изменить двумя способами: совершением работы и теплопередачей.



1. Пользуясь рисунком 4, расскажите, как изменяется внутренняя энергия тела, когда над ним совершают работу. **2.** Опишите опыт, показывающий, что внутренняя энергия тела уменьшается при совершении работы. **3.** Приведите примеры изменения внутренней энергии тела путём теплопередачи. **4.** Что такое теплопередача? **5.** Назовите способы изменения внутренней энергии тела.



Чем объяснить, что при вколачивании гвоздя в стену его шляпка почти не нагревается, но, когда гвоздь вбит, достаточно нескольких ударов, чтобы шляпка сильно нагрелась?



УПРАЖНЕНИЕ 3

1. Каким способом — совершением работы или теплопередачей — изменялась внутренняя энергия детали: а) при сверлении в ней отверстия; б) при нагревании её в печи перед закалкой; в) при быстром охлаждении детали в воде?
2. В кузнице с помощью молота (холоднаяковка) получают нужную форму детали. Как вы думаете, нагревается ли деталь после ударов молота?
3. Кусок свинца можно нагреть разными способами: ударяя по нему несколько раз молотком, помещая в пламя горелки, сгибая и разгибая несколько раз, помещая в горячую воду. Можно ли утверждать, что во всех случаях внутренняя энергия куска свинца изменилась?
4. Что происходит со спичкой при трении её о коробок? Меняется ли при этом её внутренняя энергия? Ответ обоснуйте.

§ 4

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

Вы знаете, что внутреннюю энергию тела можно изменить путём теплопередачи. Понимать механизм теплопередачи и уметь её использовать в жизни очень важно для человека. Существуют три вида теплопередачи: *теплопроводность*, *конвекция*, *излучение*. Рассмотрим сначала теплопроводность.

Прделаем несколько опытов. К металлическому стержню (спице) прикрепим с помощью воска несколько гвоздиков (рис. 8). Нагревая один конец стержня, проследим за их поведением. Мы заметим, что по мере нагревания стержня воск будет плавиться и гвоздики начнут падать. Сначала упадут гвоздики вблизи пламени, затем те, которые находятся дальше от него. Это значит, что стержень разогревается постепенно —

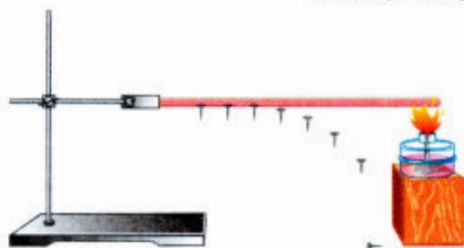


Рис. 8. Передача тепла от одной части твёрдого тела к другой



Передача внутренней энергии от одной части гвоздя к другой при нагревании

чем дальше от пламени часть стержня, тем большее время требуется для её нагревания.

Объясним, как передаётся энергия при теплопроводности. При нагревании одного конца стержня частицы этой части металла начинают двигаться быстрее. В результате их взаимодействия с соседними частицами последние тоже ускоряются. Так постепенно энергия передаётся по всему стержню, и он нагревается.

Рассмотрим другой пример. В стакан с горячим чаем опустим ложку. Через некоторое время она нагреется, а чай немного остынет. Почему это происходит? Частицы горячей воды движутся в среднем с большими скоростями, чем частицы холодной ложки. Встречая на своём пути холодную ложку, эти частицы воды передают частицам ложки часть своей кинетической энергии. При этом внутренняя энергия воды уменьшается, а ложки — увеличивается.

Ещё один пример. На газ поставили сковороду и разбили в неё яйцо. Вскоре сковорода нагреется, и яичница поджарится. В этом случае происходит перенос тепла от дна сковороды к той пище, которая на ней готовится.



Изменение внутренней энергии тела путём теплопередачи

Теплопроводность — процесс, при котором энергия передаётся от одного тела к другому или от одной части тела к другой за счёт теплового движения частиц и их взаимодействия между собой.

Важно отметить, что при теплопроводности происходит только передача энергии, а переноса вещества не происходит. В противном случае при нагревании стержня (см. рис. 8), например, изменялась бы его толщина, чего не происходит.

Рассмотрим теплопроводность различных веществ. Возьмём пробирку с водой, опустим



Рис. 9. Теплопроводность жидкости



Рис. 10. Теплопроводность газа



При горении спички её противоположный конец остаётся холодным, что свидетельствует о плохой теплопроводности дерева

в неё кусочек льда. (Для того чтобы лёд утонул, его нужно утяжелить, например, прикрепить к нему гайку.) Расположим верхнюю часть пробирки над пламенем спиртовки. Нагревая пробирку, доведём воду до кипения (рис. 9). Что можно сказать о температуре воды в нижней части пробирки? Можно предположить, что вода не нагрелась, поскольку лёд не растаял. Значит, теплопроводность воды плохая.

Не только вода, но и другие жидкости, за исключением расплавленных металлов, обладают плохой теплопроводностью. Это объясняется тем, что частицы в жидкости, как правило, расположены на больших расстояниях, чем в твёрдых телах. И взаимодействие молекул в жидкости слабее.

Расстояние между молекулами газа ещё больше, чем у жидкостей. Взаимодействуют они между собой очень слабо, поэтому следует ожидать, что теплопроводность газов очень мала.

Проверим нашу гипотезу на опыте, изображённом на рисунке 10.

Расположим пробирку с воздухом закрытым концом вверх, а открытый конец заткнём пальцем. Подержим пробирку некоторое время над пламенем горелки. Палец очень долго не будет чувствовать тепло. Таким образом, все газы обладают плохой теплопроводностью. Плохая теплопроводность газов позволяет использовать их как теплоизоляторы. Самую низкую теплопроводность имеет очень сильно разреженный газ (вакуум).

Итак, большую теплопроводность имеют металлы. Газы и жидкости обладают плохой теплопроводностью.

Как мы выяснили, скорость теплопередачи определяется силами взаимодействия между частицами вещества. Поэтому **различные вещества обладают разной теплопроводностью.** В этом можно убедиться на опыте, показанном на рисунке 11.



Рис. 11. Теплопроводность разных металлов

Разная теплопроводность веществ используется человеком в различных сферах деятельности. Наиболее ярким примером учёта теплопроводности в быту является приготовление пищи. Посуду изготавливают из материалов, которые хорошо проводят тепло не только через дно, но и через стенки. Иногда бывает необходимо уменьшить передачу тепла. Например, ручки у сковороды и чайника делают из плохо проводящих тепло материалов — из дерева, пластмассы. Чайные чашки, тарелки делают из глины, фарфора, также обладающих плохой теплопроводностью.

Для сохранения тепла стены домов изготавливают из материалов с плохой теплопроводностью, часто их делают многослойными. А металлические трубы со всевозможными теплоносителями (отопление) или хладоносителями (холодильники) имеют с внешней стороны слой теплоизоляции, уменьшающий передачу энергии окружающей среде.



1. Каков механизм передачи энергии по металлическому стержню при его нагревании?
2. В чём состоит процесс теплопроводности?
3. Объясните на основе МКТ нагревание ложки, опущенной в горячую воду.
4. Объясните опыт (см. рис. 11), показывающий, что различные вещества обладают разной теплопроводностью.
5. Приведите примеры применения веществ, имеющих хорошую и плохую теплопроводность.



1. Греет ли ватное одеяло?
2. Ножницы и карандаш, лежащие на столе, имеют одинаковую температуру. Почему же на ощупь ножницы кажутся холоднее?



УПРАЖНЕНИЕ 4

1. Почему металлический чайник, стоящий на огне, брать рукой опасно, а горящую спичку можно держать, не обжигаясь?
2. Объясните плохую теплопроводность газов на основе знаний о молекулярном строении вещества.
3. Почему вакуум имеет самую плохую теплопроводность?
4. При какой температуре и металл, и дерево будут казаться на ощупь одинаково нагретыми?
- 5*. Половина ледяной поверхности пруда была покрыта с начала зимы толстым слоем снега, а другая половина расчищена для катания на коньках. На какой половине толщина льда больше?



ЗАДАНИЕ



- Возьмите две проволоочки — стальную и медную или стальную и алюминиевую длиной по 5 см каждая. Отметьте время в секундах и введите одновременно обе проволоочки на 1 см в один и тот же слой верхней части пламени свечи, держа проволоочки за один конец двумя пальцами. Пальцы должны захватывать 1 см каждой проволоочки. Когда пальцам на одной проволоочке станет горячо, нужно выпустить её из рук и отметить время. Так же поступите и с другой проволоочкой. Сравните результаты. Остудите обе проволоочки в блюде с холодной водой (или под краном), вытрите их насухо тряпочкой и повторите опыт, чтобы закрепить результат.

Это любопытно...

Приспособление животных к различным температурным условиям

Из-за свойств цитоплазмы клеток большинство живых существ способны жить при температуре между 0 и 50 °С. Большая часть мест обитания на поверхности нашей планеты имеет температуру именно в этих пределах. Для многих видов живых организмов выход за эти пределы означает гибель либо от холода, либо от жары. Однако имеются бактерии и синезелёные водоросли, населяющие источники воды с температурой выше 85 °С.

Животные менее стойки к экстремальным температурам. Чтобы сохранить температуру тела постоянной, животное должно либо уменьшить потери тепла эффективной защитой, либо увеличить производство тепла. Это достигается весьма разнообразными способами. Прежде всего, важен защитный покров, будь то шерсть, перья или жировой слой. Защит-



Фенек



Лиса



Песец

ная роль шерстяного покрова хорошо известна. Благодаря ему ездовая собака может, например, спать на снегу при температуре $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. С приближением зимы мех её становится гуще и длиннее. Перья и шерсть не просто пассивные оболочки. Распушив их, птицы и животные создают воздушную подушку с хорошими теплоизоляционными свойствами.

Хорошо известна и защитная роль жира. Несмотря на то что у китов нет шерстяного покрова, а у моржей, тюленей отсутствует развитый меховой покров, они часами плавают в ледяной воде. Под кожей у них находится толстый слой жира, который препятствует потере тепла.

Кончики лап и кончики носа животных не могут быть покрыты шерстью, перьями или жиром, так как иначе они не выполняли бы своих основных функций.

Существуют различные механизмы для сохранения тепла в незащищённых местах, действующие за счёт теплообмена в пучках кровеносных сосудов, где соприкасаются вены и артерии. Оказывается, что уши, хвост и лапы тем короче, чем холоднее климат. Хорошим примером этого может служить лисица: фенек Сахары имеет длинные конечности и огромные уши; лисица, живущая в умеренных широтах, более приземиста, её уши намного короче; у песца, живущего в Арктике, очень маленькие уши и короткая морда.



ЗАДАНИЕ

- Заполните таблицу, используя материалы учебников физики и биологии, а также дополнительную литературу.

№ п/п	Название животного	Место обитания	Анатомические особенности для терморегулирования организма



Подготовьте сообщение о фактах адаптации животных к различным климатическим условиям, которые показались вам наиболее интересными.

На опытах вы убедились, что жидкости и газы обладают плохой теплопроводностью. Между тем ряд примеров убеждает нас в том, что они всё же передают тепло от одних тел к другим. Так, зимой воздух в комнате нагревается от радиаторов водяного отопления. Происходит это в результате того, что тёплый нагретый воздух поднимается вверх, вытесняя вниз холодный. Это ещё один вид теплопередачи — *конвекция*.

Рассмотрим механизм конвекции на примере передачи тепла в жидкости. Возьмём колбу с водой, опустим в неё красящее вещество и нагреем снизу. Вы сможете наблюдать потоки подкрашенной жидкости, поднимающиеся вверх (рис. 12, а). Это явление можно объяснить тем, что слои воды, расположенные возле горелки, нагреваются сильнее остальной части воды. Нагреваясь, вода расширяется. Вам известно, что при увеличении объёма тела при неизменной массе его плотность уменьшается. Поэтому сила Архимеда, действующая на нагретую жидкость, становится больше силы тяжести. Это приводит к тому, что нагретая жидкость поднимается вверх.

Перенос энергии восходящими потоками жидкости и газа называют конвекцией.

Таким же способом передаётся тепло и в газах. Соберите вертушку, изображённую на рисунке 12, б, и увидите, что под действием потоков нагретого воздуха она начинает вращаться. Конвекция существует только в жидкостях и газах и является основным способом теплопередачи в них.

В отличие от теплопроводности при конвекции происходит перенос вещества.



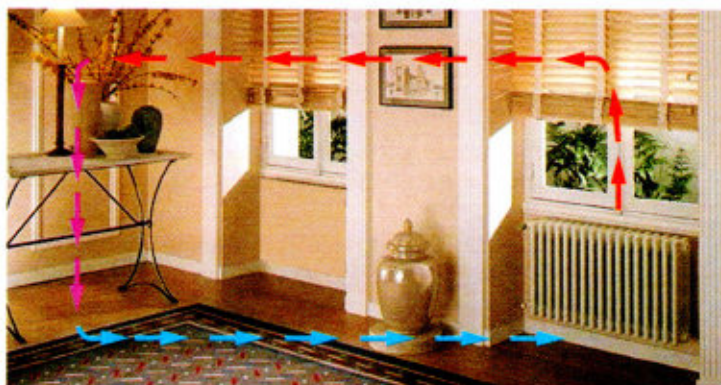
а)



б)

Рис. 12. Конвекция:
а — в жидкости;
б — в воздухе

Рис. 13. Нагревание воздуха путём конвекции



В твёрдых телах конвекция не происходит, так как их частицы могут только колебаться около своих положений и образование потока вещества невозможно.

Конвекция, так же как и теплопроводность, широко используется в быту и технике. Её можно наблюдать при обогреве комнаты радиаторами (рис. 13). Воздух, находящийся около радиатора, нагревается, расширяется и поднимается вверх. Наверху он остывает и опускается вниз, где снова нагревается от радиатора и поднимается вверх и т. д. Примером использования конвекции является тяга, модель для демонстрации которой показана на рисунке 14. Тяга обеспечивает естественный приток воздуха, необходимый, например, для поддержания горения в печах, котлах, каминах.



Рис. 14. Модель для демонстрации тяги



1. Объясните, механизм нагревания воды в колбе, поставленной на огонь. **2.** Объясните, как и почему происходит перемещение воздуха над нагретой лампой. **3.** Какой вид теплопередачи называют конвекцией? **4.** Почему конвекцию невозможно наблюдать в твёрдых телах? **5.** Приведите примеры использования конвекции в быту и технике.



1. В чём различие механизмов передачи энергии при теплопроводности и конвекции?

2. Почему жидкости и газы нагревают не сверху, а снизу?



УПРАЖНЕНИЕ 5

1. Почему радиаторы водяного отопления располагают внизу, под окнами?
2. В каком случае наполненная до краёв кастрюля с кипятком остынет скорее: когда её поставили на лёд или когда лёд положили на крышку кастрюли?
3. Что остынет быстрее — стакан с компотом или стакан с киселём? Ответ обоснуйте.
4. Объясните действие тяги (см. рис. 14). Когда тяга лучше — зимой или летом?
- 5*¹. Будет ли гореть свеча на борту космического орбитального комплекса?



ЗАДАНИЕ



- Возьмите зажжённую свечу, откройте немного входную дверь так, чтобы получилась узкая щель. Помещайте свечу в трёх местах: наверху, внизу и в середине высоты двери. Следите за направлением языков пламени. Сделайте вывод. Опыт проводите под наблюдением взрослых.

§ 6

ИЗЛУЧЕНИЕ

Основным источником тепла на Земле является Солнце. Как же энергия передаётся от Солнца к Земле? Ясно, что не путём теплопроводности и не путём конвекции, потому что пространство между Землёй и Солнцем вещества практически не содержит, т. е. является вакуумом. А вакуум обладает плохой теплопроводностью. **Тепло от Солнца к Земле передаётся излучением.**

Изучим на опыте нагревание за счёт излучения. Для этого возьмём теплоприёмник — металлическую коробочку, одна сторона которой чёрная, другая — отполирована до зеркального блеска. Внутри коробочки теплоприёмника находится воздух. Соединим теплоприёмник с жидкостным манометром с помощью резиновой трубки. Если воздух в теплоприёмнике нагревать, то он расширится и вытеснит часть воздуха из трубки. Из-за этого давление на жидкость в левом колене манометра увеличит-



Излучение в природе

¹ Звёздочкой обозначены задачи повышенной сложности.

ся, и её уровень понизится. По разности уровней в коленях манометра можно судить о том, что воздух в коробочке нагрелся. Чем выше температура воздуха в коробочке, тем больше расширяется воздух при нагревании и, значит, разность уровней жидкости в коленях манометра будет больше.

Поднесём к теплоприёмнику кусок металла, нагретый до высокой температуры (рис. 15, а). Разность уровней в коленях манометра свидетельствует о том, что воздух в коробочке теплоприёмника нагрелся. Мы не прикасались к коробочке теплоприёмника, поэтому путём теплопроводности передача энергии произойти не могла. Не могла она произойти и путём конвекции, поскольку коробочка теплоприёмника располагалась на одном уровне с куском металла. Значит, коробочка нагрелась за счёт излучения.

Выясним, какая поверхность — чёрная или блестящая — поглощает энергию лучше. Для этого поднесём кусок нагретого металла сначала к чёрной поверхности (см. рис. 15, а), а затем — к блестящей (рис. 15, б). Разность уровней жидкости в манометре в первом случае больше, чем во втором, значит, *чёрная поверхность поглощает больше энергии, чем белая. Чёрная поверхность, как показывает опыт, и излучает больше энергии, чем белая.*

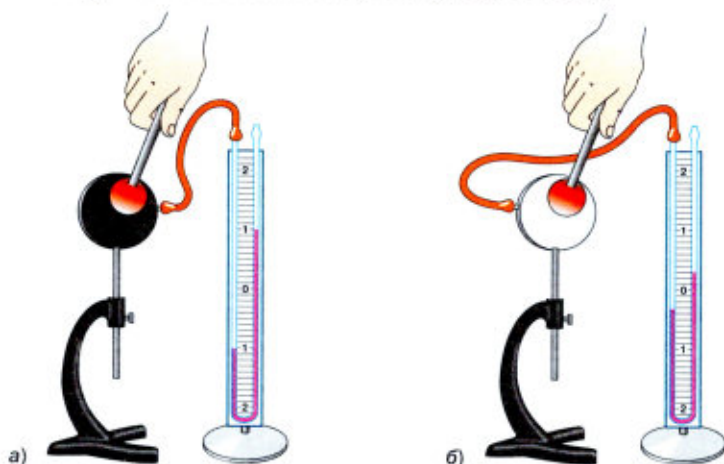
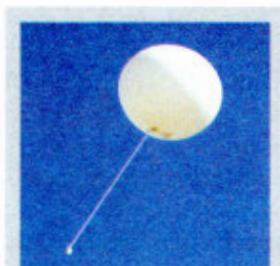


Рис. 15. Передача энергии путём излучения



Серебристая поверхность метеозонда отражает солнечные лучи

Передача энергии излучением приобретает первостепенное значение там, где тела нагреты до очень высоких температур, например в различного рода тепловых агрегатах — котлах, топках и т. п. Нагревание излучением используется в парниках. Воздух в парнике согревается потому, что солнечное излучение легко проходит сквозь почти прозрачное для него стекло, поглощается тёмной поверхностью почвы и нагревает её. Излучение нагретой почвы стекло пропускает плохо. К тому же в парниках очень слабая циркуляция воздуха. Таким образом, тепло не может выйти наружу.

Вследствие содержания в нашей атмосфере газов, также плохо пропускающих излучение нагретой земной поверхности (водяной пар, углекислый газ и др.), на Земле создаётся аналогичный парниковый эффект. Повышение содержания в атмосфере таких газов ведёт к росту температуры на Земле. Происходит глобальное потепление.

Виды теплопередачи встречаются не изолированно, а в различных комбинациях. Например, в котельной установке передача энергии от раскалённых газов к поверхности котла происходит одновременно излучением и конвекцией, через стенки котла — теплопроводностью, а от стенок котла к жидкости — главным образом путём конвекции.

Сложный теплообмен осуществляется, например, в *термосе* (рис. 16). Он представляет собой стеклянную колбу 4 с двойными стенками, её внутренняя поверхность покрыта блестящим металлическим слоем. В термосе пространство между стенками колбы лишено воздуха, что препятствует передаче энергии путём теплопроводности. Блестящее покрытие колбы вследствие отражения препятствует передаче энергии излучением. Колбу помещают в пластмассовый или металлический футляр 3, чтобы защитить от повреждений, закрывают пробкой 2 и навинчивают колпачок 1. Термос



Рис. 16. Устройство термоса

используют для сохранения температуры пищи и напитков.



1. Как на опыте показать нагревание за счёт излучения?
2. Какие тела лучше поглощают энергию излучения, а какие хуже?
3. Приведите примеры учёта на практике различной способности тел поглощать энергию излучения.
4. Как устроен термос?



УПРАЖНЕНИЕ 6

1. Почему летом носят одежду светлых тонов?
2. Вы не раз сидели у костра и, наверное, защищали себя от тепла рукой. Почему это можно сделать?
3. Почему снег, покрытый сажой или грязью, тает быстрее, чем чистый?
4. Почему спецодежда пожарных обычно серебристого цвета?
5. Скафандры, надеваемые космонавтами, обычно окрашены в белый цвет. В то же время некоторые поверхности космического корабля чёрные. Чем объясняется выбор цвета?

Это любопытно...

Загрязнение атмосферы

Воздух над городами загрязняется, что становится причиной обострения заболеваний органов дыхания и кровообращения. Смог усиливает парниковый эффект, т. е. препятствует отведению излишнего тепла от поверхности Земли, что ведёт к перегреву атмосферы. Со смогом можно бороться, улавливая прежде всего частицы пыли, дыма, сажи, пепла и т. п. Для этого используются различные фильтры, простейшими и наиболее надёжными из которых являются тканевые и волокнистые.

Над большими городами часто возникают «острова тепла». Городские постройки стоят вертикально, улицы подобны оврагам, поэтому город поглощает больше солнечной энергии и дольше сохраняет её ночью по сравнению с равной по площади застройкой сельской местностью. В центре города концентрируется более тёплый воздух потому, что там больше высоких зданий и асфальтированных улиц. Высокие постройки и промышленные здания препятствуют свободному перемещению масс воздуха. Тёплый воздух поднимается вверх, переносит с собой часть загрязнителей, и опускается на окраинах города.

Взвешенные в воздухе частицы уменьшают приток солнечной энергии и препятствуют нагреванию поверхностных слоёв. Обычные вертикальные потоки в этом случае уменьшаются. В безветренные дни под городским «дымным колпаком» концентрация загрязнителей заметно увеличи-

вается. Наблюдения показали, что «острова тепла» имеются почти во всех промышленных городах, при этом разность температур между центром города и его окраинами составляет от 1 до 10 °С.

§ 7

КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ. ЕДИНИЦЫ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ

Вы знаете, что внутреннюю энергию можно изменить двумя способами: совершением работы и теплопередачей.

Часть энергии, которая передаётся телу или теряется им в процессе теплопередачи, называют количеством теплоты.

Количество теплоты обозначают буквой Q . Так как количество теплоты является мерой изменения внутренней энергии, то единицей количества теплоты в СИ является *джоуль* (Дж). Используют также и *килоджоули* (кДж).

$$1 \text{ кДж} = 1000 \text{ Дж} = 10^3 \text{ Дж}.$$

Изменение температуры тела свидетельствует об изменении его внутренней энергии. Если при теплопередаче температура тела повышается, то это значит, что оно получает некоторое количество теплоты; если температура тела уменьшается, то оно отдаёт какое-то количество теплоты.

Нальём в один химический стакан воду массой 100 г, в другой — массой 200 г. Нагревая сосуды на одинаковых горелках, будем следить за изменением температуры с помощью термометров. Увидим, что за одно и то же время вода большей массы нагрелась на меньшее число градусов (рис. 17), хотя получили сосуды от горелок одинаковое количество теплоты. Чтобы изменение температуры воды в сосудах было одинаковым, необходимо сосуд с водой большей массы нагревать большее время, а значит, затратить большее количество теплоты.

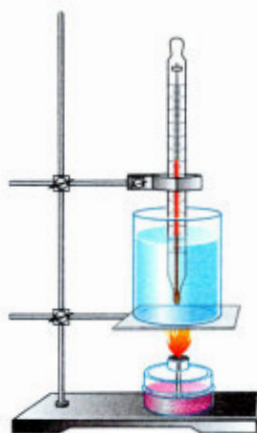
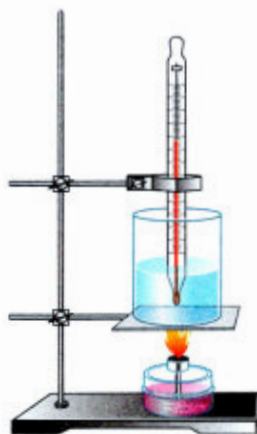


Рис. 17. Нагревание воды разной массы

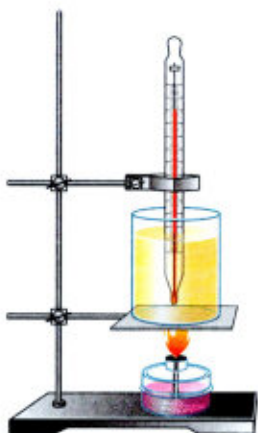
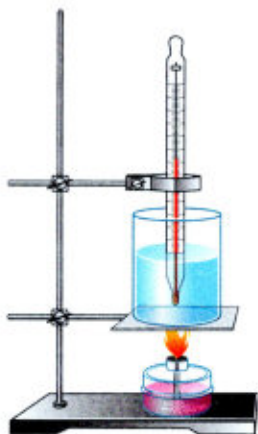


Рис. 18. Нагревание разных веществ равной массы

Следовательно, *количество теплоты, которое необходимо сообщить телу для его нагревания, зависит от его массы.*

Будем нагревать на одинаковых горелках воду одинаковой массы в одном стакане от температуры $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до температуры $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, в другом — от 20 до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Опыт показывает, что на нагревание воды во втором стакане требуется больше времени, а значит, большее количество теплоты. Следовательно, *количество теплоты, которое необходимо для нагревания тела, зависит от того, на сколько градусов оно нагревается, т. е. от разности конечной и начальной температур тела.*

Проведем другой опыт. Нагреем на одинаковых горелках воду и растительное масло равной массы, начальные температуры которых были одинаковы. За одинаковое время они нагреются по-разному (рис. 18). Масло нагреется до более высокой температуры. Чтобы температура воды стала равной температуре масла, воде требуется сообщить дополнительное количество теплоты. Следовательно, *количество теплоты, необходимое для нагревания тела, зависит от рода вещества, из которого оно состоит.*

Опыт показывает, что количество теплоты, которое выделяется при охлаждении тела, зависит от тех же физических величин, что и количество теплоты, необходимое для нагревания этого тела.

Таким образом, *количество теплоты, необходимое для нагревания тела (или выделяющееся при его охлаждении), зависит от массы тела, разности конечной и начальной температур и от рода вещества, из которого оно состоит.*



1. Что называют количеством теплоты?
2. Какова единица количества теплоты?
3. Как зависит количество теплоты от массы тела?
4. Как зависит количество теплоты от разности конечной и начальной температур тела?
5. Опишите опыт, показывающий, что количество те-

плоты зависит от рода вещества, из которого состоит тело. 6. От каких величин зависит количество теплоты, которое выделяется при охлаждении тела?



В ходе лабораторных экспериментов были получены графики зависимости температуры жидкости от времени (рис. 19).

Опишите, при каких условиях, с вашей точки зрения, температура жидкости может меняться со временем так, как показано на графиках.

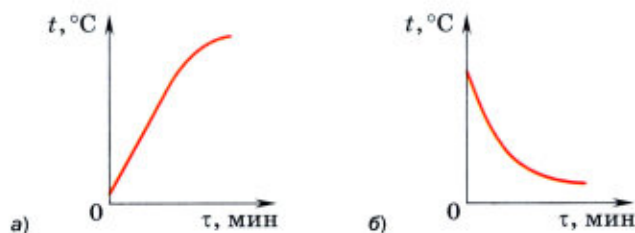


Рис. 19

§ 8

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЁМКОСТЬ

Вам уже известно, что количество теплоты, необходимое для нагревания тела на определённое число градусов, зависит от рода вещества. Например, опыт показывает, что для нагревания 1 кг воды на 1°C потребуется количество теплоты, равное 4200 Дж, для нагревания 1 кг стали на 1°C необходимо 500 Дж энергии.

Физическую величину, показывающую, какое количество теплоты необходимо сообщить телу массой 1 кг для изменения его температуры на 1°C , называют удельной теплоёмкостью вещества.

Удельную теплоёмкость вещества обозначают буквой c и измеряют в *джоулях на килограмм-градус Цельсия* $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}\right)$.

Вспомним, что количество теплоты — мера изменения внутренней энергии тела. Следовательно, *удельная теплоёмкость показывает, на сколько изменяется внутренняя энергия*

вещества массой 1 кг при изменении температуры на 1 °С. Так, при изменении температуры на 1 °С (при нагревании или охлаждении) внутренняя энергия подсолнечного масла массой 1 кг изменится на 1700 Дж.

Таким образом, удельная теплоёмкость подсолнечного масла $1700 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$ означает, что для нагревания подсолнечного масла массой 1 кг на 1 °С необходимо передать ему количество теплоты, равное 1700 Дж, а при охлаждении 1 кг подсолнечного масла на 1 °С выделится 1700 Дж энергии.

Так как молекулы различных веществ взаимодействуют по-разному, разные вещества имеют разную удельную теплоёмкость (табл. 1).

Таблица 1. Удельная теплоёмкость некоторых веществ

Вещество	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$	Вещество	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$	Вещество	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$
Золото	130	Железо	460	Лёд	2100
Ртуть	138	Сталь	500	Керосин	2100
Свинец	140	Чугун	540	Эфир	2350
Олово	230	Стекло	840	Дерево (дуб)	2400
Серебро	250	Кирпич	880	Спирт	2500
Медь	400	Алюминий	920	Молоко жирное	3900
Цинк	400	Масло подсолнечное	1700		
Латунь	400			Вода	4200

Удельная теплоёмкость одного и того же вещества, находящегося в разных агрегатных состояниях, различна. Например, удельная теплоёмкость воды в жидком состоянии равна

$4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$, а в твёрдом состоянии (лёд) —

$2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$.



1. Что такое удельная теплоёмкость вещества? 2. Какова единица удельной теплоёмкости вещества? 3. Почему разные вещества имеют разную удельную теплоёмкость? 4. Почему различна удельная теплоёмкость одного и того же вещества, находящегося в разных агрегатных состояниях?



1. Удельную теплоёмкость измеряют как в $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, так и в $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$. Объясните почему.
2. Почему в радиаторах центрального отопления используют воду?
3. Климат морской отличается от климата континентального. Чем это объяснить?
4. В два стакана, стеклянный и алюминиевый, одинаковой ёмкости и массы одновременно наливают одинаковое количество горячей воды. Прикасаясь руками к стаканам, обнаруживают, что один стакан (какой?) прогрелся быстрее, хотя удельная теплоёмкость стекла и алюминия почти одинаковая. Объясните явление.



УПРАЖНЕНИЕ 7

1. Что потребует большего количества теплоты для нагревания на 1°C — вода в стеклянной банке или вода такой же массы в алюминиевом бидоне? Массы банки и бидона считать одинаковыми.

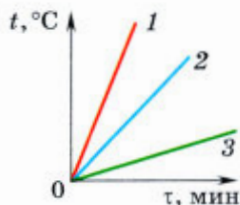


Рис. 20

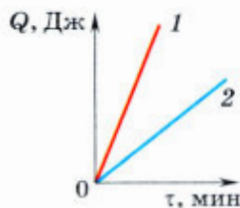


Рис. 21

2. Что потребует большего количества теплоты для нагревания на 1°C — 100 г воды или 100 г меди?
3. Ученик на вопрос учителя: «Что значит: удельная теплоёмкость цинка равна $400 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$?» — ответил: «Это значит, что для нагревания цинка на 1°C потребуется количество теплоты, равное 400 Дж». Правильный ли ответ дал ученик? Ответ обоснуйте.
4. Медной и стальной гирькам одинаковой массы и температуры сообщили равное количество теплоты. У какой гирьки температура изменится больше?
5. На горелках одинаковой мощности нагревают три одинаковых сосуда, в которых находятся вода, керосин и подсолнечное масло равной массы. Определите, какому веществу соответствует каждый график зависимости температуры от времени нагревания (рис. 20).
6. На электрической плитке стоит алюминиевый чайник, наполненный водой. На рисунке 21 приведены

графики зависимости количества теплоты, полученного чайником и водой, от времени нагревания. Массы чайника и налитой в него воды одинаковы. Какой из графиков соответствует воде, а какой алюминию?

§ 9

РАСЧЁТ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ НАГРЕВАНИЯ ТЕЛА ИЛИ ВЫДЕЛЯЕМОГО ИМ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ

Что нужно знать, чтобы подсчитать количество теплоты, необходимое для нагревания тела? Опытным путём было установлено, что полученное телом количество теплоты прямо пропорционально массе тела m , разности температур $(t_2 - t_1)$ в конце (t_2) и начале нагревания (t_1) и зависит от рода вещества:

$$Q = cm(t_2 - t_1)$$

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

где c — удельная теплоёмкость.

Если тело не нагревается, а охлаждается, то его конечная температура t_2 будет меньше начальной температуры t_1 . В этом случае тело отдаёт количество теплоты

$$Q = cm(t_1 - t_2).$$

Пример 1. В алюминиевом котелке массой 800 г нагрели 3 л воды от 20 до 60 °С. Какое количество теплоты было передано при этом воде и котелку?

В задаче описан процесс теплообмена между котелком и водой — оба тела будут нагреваться вместе, их температуры одинаковы. В данном случае будем считать, что теплообменом с окружающим воздухом можно прене-



Нагревание воды
в котелке

брець. Вода и котелок при нагревании получают разные количества теплоты, так как их массы и удельные теплоёмкости (см. табл. 1) различны. Для решения задачи потребуется значение плотности воды $\left(1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:	СИ	Решение:
$m_1 = 800 \text{ г}$	$0,8 \text{ кг}$	Количество теплоты, полученное котелком, равно:
$c_1 = 920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$		$Q_1 = c_1 m_1 (t_2 - t_1),$
$V_2 = 3 \text{ л}$	$3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	$Q_1 = 920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \times$
$\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$		$\times 0,8 \text{ кг} \cdot (60 ^\circ\text{C} -$
$c_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$		$- 20 ^\circ\text{C}) =$
$t_1 = 20 ^\circ\text{C}$		$= 29\,440 \text{ Дж}.$
$t_2 = 60 ^\circ\text{C}$		Количество теплоты, полученное водой, равно:
$Q - ?$		

$$Q_2 = c_2 m_2 (t_2 - t_1).$$

Массу воды определим по формуле

$$m_2 = \rho V_2.$$

Следовательно,

$$Q_2 = c_2 \rho V_2 (t_2 - t_1),$$

$$Q_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot (60 ^\circ\text{C} - 20 ^\circ\text{C}) = 504\,000 \text{ Дж}.$$

Количество теплоты, которое израсходовано на нагревание котелка и воды в нём:

$$Q = Q_1 + Q_2,$$

$$Q = 29\,440 \text{ Дж} + 504\,000 \text{ Дж} = 533\,440 \text{ Дж} \approx 533 \text{ кДж}.$$

Ответ: $Q \approx 533 \text{ кДж}$.

Пример 2. Решив выпить чаю, мальчик смешал 120 г кипятка, температура которого 100 °С, и 60 г заваренного чая при температуре 10 °С. В стакане установилась температура 70 °С. Вычислите количество теплоты, которое отдал кипяток при остывании. Какое количество теплоты получил холодный заваренный чай при нагревании?

Дано:

$$m_1 = 120 \text{ г}$$

$$t_1 = 100 \text{ °С}$$

$$m_2 = 60 \text{ г}$$

$$t_2 = 10 \text{ °С}$$

$$t = 70 \text{ °С}$$

$$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$$

$$Q_1 = ?$$

$$Q_2 = ?$$

СИ

$$0,12 \text{ кг}$$

$$0,06 \text{ кг}$$

Решение:

Кипяток, остывая от температуры t_1 до t , отдал количество теплоты:

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

$$Q_1 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}} \times$$

$$\times 0,12 \text{ кг} \cdot 30 \text{ °С} =$$

$$= 15\,120 \text{ Дж}.$$

Холодный заваренный чай, нагреваясь от температуры t_2 до t , получил количество теплоты:

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

$$Q_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}} \cdot 0,06 \text{ кг} \cdot 60 \text{ °С} = 15\,120 \text{ Дж}.$$

Ответ: $Q_1 = Q_2 = 15\,120 \text{ Дж}$.

Проанализируем ответ, полученный при решении примера 2. Количество теплоты, отданное кипятком, оказалось равным количеству теплоты, полученному холодным заваренным чаем. Следовательно, теплообмен с окружаю-

щими телами не происходит. В данном случае в систему, в которой происходит теплообмен, входят горячая вода и заваренный чай.

Если процесс теплообмена происходит в системе, которая не обменивается энергией с внешними телами, то количество теплоты, отданное одними телами, равно количеству теплоты, полученному другими телами системы.

$$Q_{\text{отд}} = Q_{\text{пол}}$$

$$Q_{\text{отд}} = Q_{\text{пол}}$$

Если нет теплообмена с окружающей средой, то внутренняя энергия нагреваемых тел, участвующих в теплообмене, увеличивается ровно на столько, на сколько уменьшается внутренняя энергия остывающих тел.



1. Что нужно знать, чтобы вычислить количество теплоты, необходимое для нагревания тела? 2. Как рассчитывают количество теплоты, сообщённое телу при его нагревании или выделяющееся при его охлаждении? 3. В каком случае выполняется равенство $Q_{\text{отд}} = Q_{\text{пол}}$?



УПРАЖНЕНИЕ 8



Рис. 22

1. Какое количество теплоты необходимо передать льду массой 1,5 кг при температуре $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ для его нагревания на $20\text{ }^{\circ}\text{C}$?
2. Вода массой 2 кг остыла от 95 до $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. На сколько при этом изменилась её внутренняя энергия?
3. На рисунке 22 приведён график зависимости температуры медного тела от переданного ему количества теплоты. Какова масса тела?
4. В стеклянный стакан массой 120 г налили 200 г молока при температуре $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Какое количество теплоты выделится при охлаждении стакана с молоком до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$?
5. Мальчик налил в аквариум 10 л воды при температуре $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Затем он долил воду при температуре $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и в аквариуме установилась температура $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Определите объём воды, долитой в аквариум.

6. Ученик провёл физический эксперимент: в воду массой 250 г он опустил нагретое в кипящей воде до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ металлическое тело массой 100 г. Начальная температура воды $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, после установления теплового равновесия температура стала $24,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Определите по данным опыта удельную теплоёмкость металлического тела, если: а) теплообменом с окружающей средой и сосудом можно пренебречь; б) вода налита в алюминиевый стакан массой 60 г, а теплообменом с окружающей средой можно пренебречь.



ЗАДАНИЕ

- Придумайте несколько задач, используя данные таблицы 1. Обменяйтесь с товарищем условиями задач и решите их.

Это любопытно...

Калория — единица количества теплоты

Первые измерения количества теплоты проводились во второй половине XVIII в., когда понятия работы и энергии ещё не были введены. Количество теплоты измерялось особой единицей — *калорией* (кал). В быту она используется и сегодня. Например, в калориях указывается энергетическая ценность продуктов. Эта первая единица количества теплоты была определена как количество теплоты, необходимое для нагревания 1 г воды на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. $1\text{ кал} = 4,1868\text{ Дж}$.



На сколько градусов нагреется вода массой 250 г, если ей сообщить количество теплоты, равное 2200 кал?

§ 10

ЭНЕРГИЯ ТОПЛИВА. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ

Часто, когда нам нужно получить некоторое количество теплоты, мы используем топливо (газ, бензин, керосин, уголь, дрова и т. п.).

Почему при сгорании топлива выделяется энергия? Для ответа на этот вопрос вспомним, что молекулы состоят из атомов, которые при-

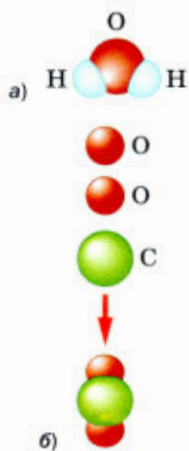


Рис. 23. Строение молекул: *а* — воды; *б* — углекислого газа (соединение атома углерода и двух атомов кислорода)

тягиваются друг к другу (рис. 23, *а*). Именно поэтому молекулы не распадаются на атомы самопроизвольно. Чтобы разделить молекулы на атомы, нужно совершить работу по преодолению сил притяжения, т. е. затратить энергию. И наоборот, при соединении атомов в молекулу энергия выделяется. При сгорании топлива выделение энергии происходит из-за того, что атомы объединяются в молекулы.

В топливе содержатся атомы углерода, которые при горении соединяются с атомами кислорода: один атом углерода с двумя атомами кислорода (рис. 23, *б*). При этом образуется молекула углекислого газа и выделяется энергия.

Характеристикой топлива является его удельная теплота сгорания.

Удельная теплота сгорания — физическая величина, показывающая, какое количество теплоты выделяется при полном сгорании 1 кг топлива.

Удельную теплоту сгорания обозначают буквой q . Единица удельной теплоты сгорания — джоуль на килограмм $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$.

Удельную теплоту сгорания разных видов топлива определяют опытным путём (табл. 2).

Таблица 2. Удельная теплота сгорания некоторых видов топлива

Вещество	$q, 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	Вещество	$q, 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
Порох	0,38	Древесный уголь	3,4
Дрова сухие	1,0	Природный газ	4,4
Торф	1,4	Нефть	4,4
Каменный уголь	2,7	Бензин	4,6
Спирт	2,7	Керосин	4,6
Антрацит	3,0	Водород	12

Например, удельная теплота сгорания торфа $1,4 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Это означает, что при полном сгорании торфа массой 1 кг выделяется $1,4 \cdot 10^7$ Дж энергии. При полном сгорании 2 кг торфа выделится энергии в 2 раза больше — $2,8 \cdot 10^7$ Дж. При полном сгорании топлива массой m выделяется количество теплоты:

$$Q = qm$$

$$Q = qm.$$



1. Что называют удельной теплотой сгорания топлива? **2.** Какова единица удельной теплоты сгорания топлива? **3.** По какой формуле можно вычислить количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива?



УПРАЖНЕНИЕ 9

1. Определите по таблице 2, чему равна удельная теплота сгорания природного газа. Объясните физический смысл этой величины.
2. При полном сгорании какого топлива одинаковой массы — каменного угля или нефти — выделится большее количество теплоты? Ответ поясните.
3. Какое количество теплоты выделяется при полном сгорании торфа массой 5 кг?
4. При полном сгорании 6 кг топлива выделилось количество теплоты $2,76 \cdot 10^8$ Дж. О каком топливе идёт речь?
5. Удельная теплота сгорания водорода больше, чем у газа бутана. Чем же тогда можно объяснить, что при сгорании баллона бутана выделилось большее количество теплоты, чем при сгорании такого же объёма водорода, если давление газов одинаково?
- 6*. На газовой плите воду в чайнике нагрели до кипения (100°C) за 15 мин. Сколько газа сгорает за 1 с, если в чайнике было 3 л воды при температуре 20°C ? Теплообменом с окружающей средой и чайником можно пренебречь.
- 7*. Ученики провели опыт для оценки удельной теплоты сгорания спирта. Какое значение они получили, если масса спиртовки до начала опыта была равна 155 г, после опыта 153 г, в алюминиевом калориметре массой 50 г было 200 г воды и в процессе нагревания её температура изменилась на 60°C ?



ЗАДАНИЕ

1. Придумайте несколько задач, используя данные таблицы 2. Обменяйтесь с товарищем условиями задач и решите их.
2. Определите минимальное количество природного газа, необходимое для того, чтобы довести до кипения воду в чайнике, которым вы пользуетесь. Почему на практике газа требуется больше? Как уменьшить расход газа?



Это любопытно...

Виды горючего топлива

Топливо — основа энергетики. Величина общего потребления энергии на душу населения, а также эффективность её использования относятся к самым важным показателям экономического развития страны.

Топливо применяют для получения энергии, которую можно использовать для технических или бытовых целей. К топливу относятся только такие вещества, которые при сгорании (окислении или другом химическом превращении) выделяют большое количество теплоты.

Топливо подразделяют на твёрдое, жидкое и газообразное. К твёрдому топливу относят каменный и бурый уголь, горючие сланцы, торф, древесину, к жидкому — нефть, к газообразному — природный газ. Всё это виды естественного топлива. Помимо естественного существует искусственное топливо. Например, в настоящее время получают искусственные нефть и газ путём переработки угля.

Топливо — сложное химическое вещество, состоящее из целого ряда элементов: углерода, водорода, серы, кислорода, азота, минеральной части (золы) и влаги. Главным горючим элементом всякого топлива является углерод, весовое содержание которого составляет 50—97%. Другим важным элементом является водород, весовое содержание которого доходит до 10% и выше. Чем больше углерода и водорода, тем ценнее топливо, так как при его сгорании выделится большее количество теплоты.

При сжигании топлива образуется много вредных отходов в виде оксида углерода, золы и т. п. Чем больше сжигается топлива, тем больше вредных отходов. Загрязнение воздуха и дефицит кислорода оказывают пагубное влияние на здоровье человека. В связи с этим необходимо вести строгий контроль за состоянием атмосферы, не допуская её загрязнения.

Вам уже известно, что в механических процессах потенциальная и кинетическая энергия тела могут переходить друг в друга. Полная механическая энергия, равная их сумме, в реальных процессах обычно не сохраняется. Происходит это, например, вследствие трения, вызывающего переход части механической энергии тела в его внутреннюю энергию.

Если трение очень мало и его можно не учитывать, полная механическая энергия остаётся неизменной, т. е. справедлив закон сохранения механической энергии. В реальных процессах всегда есть трение, поэтому механическая энергия уменьшается, а внутренняя энергия возрастает на величину уменьшения механической энергии. Механическая и внутренняя энергия могут переходить от одного тела к другому.

Как вы узнали из § 9, при теплопередаче уменьшение внутренней энергии более нагретого тела равно увеличению внутренней энергии менее нагретого тела, если нет теплообмена с окружающей средой. **Теплопередача всегда происходит от более нагретого тела к менее нагретому.**

Тепловые процессы необратимы, т. е. если привести в соприкосновение горячее и холодное тела, то горячее тело остынет, а холодное нагреется. Самопроизвольно такая система тел вернуться в прежнее состояние не сможет.

А в механике процессы могут быть обратимыми. Например, пружина передаёт свою энергию шару, подбросив его вверх, а затем шарик может вернуть энергию пружине, сжав её при падении.



Ветряная мельница.
Превращение энергии
ветра в механическую
работу

Внутренняя энергия тела может изменяться как за счёт действия внешних сил (совершения ими работы), так и за счёт теплообмена с окружающей средой. С учётом этого,

изменение полной энергии тела ΔE равно сумме работы внешних сил A и количества теплоты Q , полученного от окружающих тел.

$$\Delta E = \Delta E_{\text{мех}} + \Delta U = A + Q.$$

Если на тела системы не действуют другие тела ($A = 0$) и не происходит теплообмена с окружающими телами ($Q = 0$), то систему называют *замкнутой*. В этой системе энергия каждого тела может меняться. Полная же энергия замкнутой системы сохраняется, т. е. *в замкнутых системах при любых процессах между телами уменьшение механической энергии всегда в точности равно увеличению внутренней энергии системы*. Данное утверждение является частным случаем **закона сохранения энергии**:

во всех процессах в природе энергия не может появиться из ничего или исчезнуть бесследно. Она может лишь переходить от одного тела к другому и из одного вида в другой.

Открытию закона сохранения энергии способствовали исследования многих учёных. Огромное значение имели работы немецких учёных **Роберта Майера** (1814—1878) и **Германа Гельмгольца** (1821—1894), английского физика **Джеймса Джоуля** (1818—1889).

Использование энергии Солнца:
а — нагревание поверхности Земли;
б — поглощение энергии растениями и превращение её в химическую энергию





1. Приведите примеры превращения потенциальной энергии в кинетическую и внутреннюю энергии. **2.** Приведите примеры физических систем, в которых происходит переход энергии от одних тел системы к другим. **3.** В чём заключается необратимость тепловых процессов? **4.** В чём состоит закон сохранения энергии применительно к тепловым процессам? **5.** Какую систему называют замкнутой?



1. Газ, находящийся в цилиндре под поршнем, сжимают. Подумайте, положительную или отрицательную работу совершает при этом сила, действующая на поршень со стороны газа.

2*. Как вы думаете, будет ли количество теплоты, необходимое для нагревания до определённой температуры газа, находящегося в цилиндре под поршнем, зависеть от того, расширяется газ или нет?



УПРАЖНЕНИЕ 10

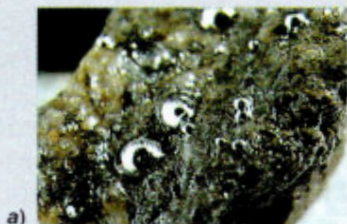
1. Некоторому газу передали количество теплоты 200 Дж. Предоставленный сам себе, он совершил работу при расширении 250 Дж. Определите, как и на сколько изменилась внутренняя энергия газа.
2. Какое количество теплоты отдал газ окружающей среде, если над ним совершили работу 2 кДж? Внутренняя энергия газа при этом увеличилась на 1 кДж.
3. Тело получило количество теплоты 12 Дж. Какую работу оно совершило, если его внутренняя энергия уменьшилась на 20 Дж?

§ 12

АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

Одним из самых распространённых на Земле веществ является вода. В каких состояниях вода встречается в природе? Конечно, в твёрдом, жидком и газообразном. Напомним, что эти состояния называют *агрегатными состояниями вещества*. Большинство ве-

Агрегатные состояния ртути:
а — твёрдое;
б — жидкое

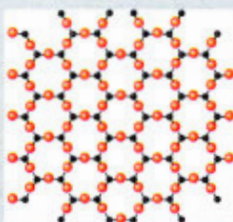




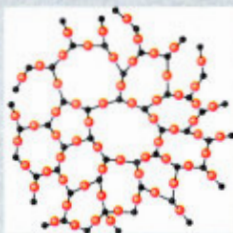
Кристаллы поваренной соли (NaCl)



Аморфное тело — капля смолы



а)



б)

Структура кварца:
а — кристаллическое состояние; б — аморфное состояние

ществ в зависимости от условий могут находиться в одном из этих состояний. Газы и пары, как правило, невидимы.

Как вы уже знаете, молекулы одного и того же вещества в жидком, твёрдом и газообразном состоянии не отличаются друг от друга. Почему же вода может быть как жидкостью, так и твёрдым телом и газом? Агрегатные состояния воды различаются расположением молекул, их взаимодействием и характером движения.

Средняя кинетическая энергия молекул пара, воды и льда, находящихся при одной и той же температуре, одинакова. В газах взаимодействие молекул минимально, в жидкостях — чуть больше, а в твёрдых телах — самое большое.

В газах при атмосферном давлении молекулы находятся на больших расстояниях друг от друга и слабо притягиваются друг к другу. Средняя кинетическая энергия молекул достаточна для того, чтобы преодолеть взаимное притяжение и разойтись на большие расстояния по всему предоставленному газу объёму.

В жидкостях молекулы находятся на близких расстояниях друг от друга, их взаимодействие велико, поэтому молекулы не могут разлетаться: жидкость сохраняет свой объём.

В твёрдых телах молекулы и атомы расположены совсем близко друг к другу и взаимодействуют между собой сильнее, чем в жидкостях и газах: твёрдые тела сохраняют объём и форму.

Состояние твёрдых тел, молекулы и атомы в которых расположены упорядоченно, называют **кристаллическим**. Примерами тел в таком состоянии являются поваренная соль, лёд, алмаз, железо.

Состояние твёрдых тел, в которых молекулы и атомы расположены беспорядочно, называют **аморфным**. В таком состоянии находятся, например, стекло, воск, вар.

Взаимодействие молекул в жидкостях и твёрдых телах можно продемонстрировать на

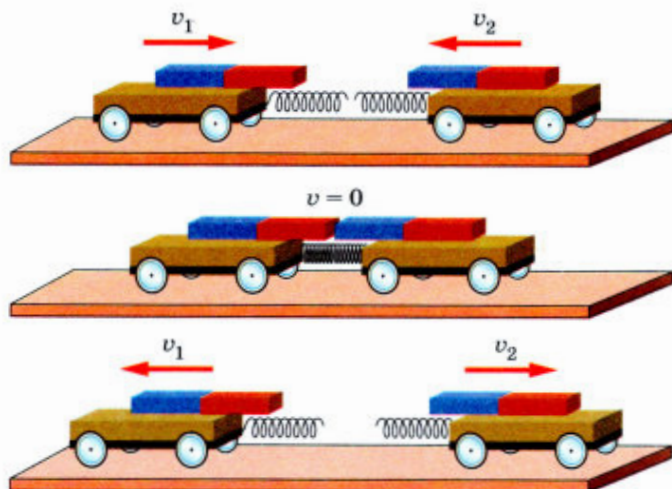


Рис. 24.
Взаимодействие тележек с магнитами

следующей модели. Возьмём две лёгкие тележки с прикреплёнными к ним пружинами. Установим на каждой по магниту так, чтобы они могли притягиваться (рис. 24). Взаимодействие магнитов будет имитировать притяжение между молекулами. Разведём тележки на большое расстояние. Они не взаимодействуют. При уменьшении расстояния между тележками они начнут двигаться навстречу друг другу из-за притяжения магнитов. Чем ближе тележки, тем больше будет притяжение. В тот момент, когда пружины коснутся друг друга, появятся силы упругости (имитируют силы отталкивания между молекулами), которые будут возрастать с уменьшением расстояния между тележками. В некоторый момент силы отталкивания станут равны силам притяжения, ускорение — равно нулю, но тележки по инерции ещё немного сблизятся. Силы отталкивания будут продолжать возрастать. Тележки вначале остановятся, а потом начнут разъезжаться. Далее процесс может повториться, т. е. тележки будут колебаться около положения равновесия.

Эта модель демонстрирует только качественную картину взаимодействия молекул.

Существует некоторое расстояние между молекулами, на котором силы отталкивания равны силам притяжения. Это положение равновесия. Если расстояние между молекулами больше равновесного, молекулы притягиваются, если меньше — отталкиваются. В твёрдых телах молекулы колеблются около положения равновесия.

В разных агрегатных состояниях вещества потенциальная энергия взаимодействия молекул различна.

Чтобы перевести тело из твёрдого состояния в жидкое, а затем в газообразное, нужно совершить работу по преодолению сил притяжения между частицами. Для этого телу надо сообщить дополнительную энергию, например в виде некоторого количества теплоты. При этом его внутренняя энергия увеличивается, если даже температура тела не меняется. При обратном переходе тела из газообразного состояния в жидкое, а затем в твёрдое внутренняя энергия тела уменьшается, энергия выделяется.



1. Опишите, как меняется взаимодействие между молекулами вещества с изменением расстояния между ними. **2.** Охарактеризуйте движение частиц вещества в различных агрегатных состояниях. **3.** Объясните свойства веществ в различных агрегатных состояниях на основе молекулярно-кинетической теории.



Объясните, почему при переходе вещества из твёрдого состояния в жидкое, а затем в газообразное внутренняя энергия тела увеличивается, даже если его температура не меняется. Что происходит с внутренней энергией при обратном переходе вещества из газообразного в жидкое и затем в твёрдое состояние?



УПРАЖНЕНИЕ 11

- 1.** Сравните внутреннюю энергию одинаковой массы пара, воды и льда, находящихся при одной и той же температуре (например, при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- 2.** Как превратить металл в жидкость?
- 3.** Вода в стакане замёрзла. Как вы думаете, обменивалась ли она энергией с окружающими телами? Поясните свою точку зрения. Какой вывод можно сделать относительно внутренней энергии воды и такой же массы льда при одинаковой температуре?



ЗАДАНИЕ



- Налейте в пластиковую бутылку немного холодной воды и поместите её в морозильную камеру на несколько часов, чтобы образовался лёд. Затем, вынув бутылку со льдом, добавьте в неё воды. Внутри будет находиться вода одновременно в трёх состояниях. Какие это состояния? Какие изменения происходят при медленном нагревании сосуда воздухом помещения?

§ 13

ПЛАВЛЕНИЕ И ОТВЕРДЕВАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕЛ

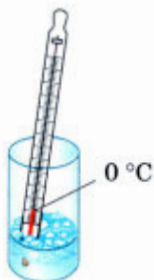


Рис. 25. Плавление льда в стакане

Много раз вы видели, как на улице в мороз вода замерзает и превращается в лёд, а при потеплении происходит обратный процесс: лёд тает и становится водой. Для того чтобы изучить эти процессы, сделаем следующий опыт. В стакан положим примерно 80 г растолчённого льда, опустим в него термометр и оставим на столе. Будем наблюдать за льдом и следить за температурой. В результате теплообмена с окружающей средой температура льда повышается. Когда его температура станет равной $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, лёд начнёт таять (рис. 25). Через некоторое время заметим, что весь лёд растает, т. е. перейдёт из твёрдого состояния в жидкое.

Переход вещества из твёрдого состояния в жидкое называют плавлением.

Чтобы расплавить тело, нужно сначала нагреть его до определённой температуры.

Температуру, при которой вещество плавится, называют температурой плавления вещества.

У различных веществ температура плавления разная (табл. 3). Например, лёд можно расплавить, внеся его в комнату. Температура

Таблица 3. Температура плавления некоторых веществ (при нормальном атмосферном давлении)

Вещество	$t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	Вещество	$t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	Вещество	$t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$
Водород	-259	Натрий	98	Медь	1085
Кислород	-219	Олово	232	Чугун	1200
Азот	-210	Свинец	327	Кремний	1414
Спирт	-114	Цинк	420	Сталь	1500
Ртуть	-39	Алюминий	660	Железо	1539
Лёд	0	Серебро	962	Платина	1772
Цезий	29	Латунь	1000	Осмий	3045
Калий	63	Золото	1064	Вольфрам	3387



Плавление олова в стальной ложке

плавления льда 0°C . Кусок олова плавится при нагревании его в стальной ложке на спиртовке. Температура плавления олова 232°C . Железо имеет очень высокую температуру плавления — 1539°C , поэтому его плавят в специальных печах, где создаётся такая температура.

Существует процесс, обратный плавлению, — кристаллизация.

Переход вещества из жидкого состояния в твёрдое называют отвердеванием или кристаллизацией.

Тела в жидком состоянии имеют температуру выше своей температуры плавления. Отвердевание начинается при определённой температуре, до которой расплавленное тело нужно охладить.

Температуру, при которой вещество отвердевает (кристаллизуется), называют температурой отвердевания или кристаллизации.

Опыт показывает, что вещества отвердевают при той же температуре, при которой плавят-

ся. Например, свинец плавится и кристаллизуется при температуре $327\text{ }^{\circ}\text{C}$, лёд плавится и вода кристаллизуется при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.



1. Какой процесс называют плавлением? **2.** Какой процесс называют отвердеванием? **3.** Что называют температурой плавления; температурой отвердевания?



УПРАЖНЕНИЕ 12

1. Можно ли расплавить свинец в оловянной ложке?
2. Почему для измерения температуры в северных районах нашей страны используются спиртовые, а не ртутные термометры?
3. Будет ли цинк плавиться, если его нагреть до температуры $420\text{ }^{\circ}\text{C}$? Почему?
4. В каком агрегатном состоянии находятся при температуре $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ следующие вещества: алюминий, вольфрам, железо, золото, свинец, серебро?
5. Какие вещества можно расплавить в воде, находящейся при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$?

§ 14

ГРАФИК ПЛАВЛЕНИЯ И ОТВЕРДЕВАНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕЛ

Рассмотрим подробнее процесс плавления на примере плавления льда. Для этого будем наблюдать за температурой льда (рис. 26). В начале процесса температура льда была $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, с течением времени лёд нагревался, и его температура повышалась (участок *AB*). При температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ лёд начал плавиться (точка *B*), и его температура перестала меняться (участок *BC*). Она оставалась постоянной, пока весь лёд не превратился в воду. Так при постоянной температуре, характерной для данного вещества, происходит плавление всех веществ. Именно эта температура является температурой плавления.

Объясним наблюдаемое явление. Энергия тёплого воздуха передаётся льду путём тепло-

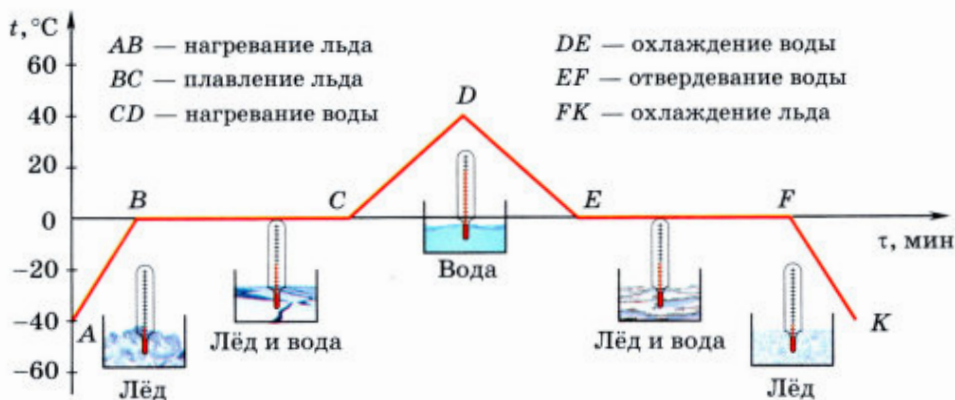


Рис. 26. График зависимости температуры льда от времени нагревания

передачи. Так как лёд имеет кристаллическую структуру, его молекулы расположены в строго определённом порядке и колеблются около положения равновесия. Взаимодействие между ними велико. По мере нагревания льда колебательное движение молекул усиливается, его внутренняя энергия и температура повышаются. Наконец, при достижении температуры плавления связи между молекулами разрываются, частицы покидают свои места. При этом лёд теряет форму, т. е. вещество плавится.

Количество теплоты, сообщаемое телу во время плавления, расходуется на разрушение связей между молекулами кристалла.

В связи с тем, что молекулы и атомы различных веществ различны, силы взаимодействия между ними разные. Значит, каждое вещество нужно нагреть до своей температуры, при которой связи между молекулами начнут разрушаться, поэтому и температура плавления у каждого вещества своя (рис. 27).

Вернёмся к опыту со льдом. Образовавшуюся из льда воду продолжили нагревать (см. рис. 26), её температура стала расти (участок CD). Затем нагревание прекратили (точка D). Температура воды стала уменьшаться (участок DE). При температуре 0°C начался процесс отвердевания, во время которого температура

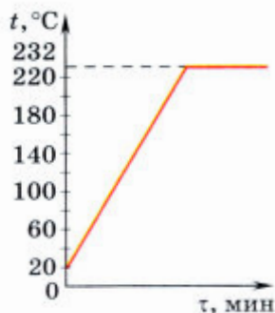


Рис. 27. График нагревания и плавления олова

оставалась постоянной (участок EF). Только после того, как вся вода превратилась в лёд, температура продолжила уменьшаться (участок FK).

Отвердевание — процесс, обратный плавлению. При достижении температуры кристаллизации молекулы замедляются настолько, что силы взаимодействия между ними уже могут удержать их в определённых местах. Кристаллическая структура тела восстанавливается.

Количество теплоты, которое выделяется при кристаллизации, расходуется на поддержание постоянной температуры тела в этом процессе.

Как правило, плавление кристаллических тел сопровождается уменьшением плотности вещества. Например, плотность жидкого олова меньше плотности твёрдого. Исключение составляют лёд и висмут, плавление которых сопровождается увеличением плотности вещества. Это объясняется особенностями внутреннего строения кристаллов льда и висмута. Так, плотность воды $1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, а льда — $0,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

Тела в аморфном состоянии, в отличие от тел в кристаллическом состоянии, не имеют постоянной температуры плавления. Температура аморфных тел при нагревании всё время повышается. Увеличивается скорость молекул и расстояние между ними. Тела постепенно размягчаются и переходят в жидкое состояние. При охлаждении происходит обратный процесс.



1. Изучите график (см. рис. 26) и опишите процессы, происходящие с водой. **2.** Какие участки графика соответствуют процессам, в которых вода получает энергию, а какие — процессам, в которых вода отдаёт энергию? Почему вы так думаете? **3.** Почему при плавлении льда и отвердевании воды их температура не меняется?



1. Объясните, какие энергетические преобразования наблюдаются при отвердевании воды.
2. Как показать, что стекло — тело аморфное, а поваренная соль — тело кристаллическое?



УПРАЖНЕНИЕ 13

1. Почему не меняется температура воды, пока вся она не затвердеет?
2. Меняется ли кинетическая энергия частиц цинка в процессе плавления; потенциальная энергия? Ответ обоснуйте.
3. Продолжите график изменения агрегатного состояния олова (см. рис. 27) при условии, что далее происходит кристаллизация олова и его остывание до первоначальной температуры.
4. Наблюдали ли вы, что весной во время ледохода около реки холоднее, чем вдали от неё? Проанализируйте это явление, чтобы понять и объяснить превращения энергии, происходящие при плавлении.
- 5*. Почему при изменении атмосферного давления изменяется температура плавления?

Это любопытно...

От чего зависит температура плавления

Установлено, что температура плавления и кристаллизации зависит от давления. При повышении давления температура плавления льда понижается. Это можно наблюдать на опыте. На брусок льда надевают проволоочную петлю, к нижней части которой подвешен груз. Постепенно проволока опускается, разрезая лёд, и в результате груз падает, а брусок льда на удивление остаётся целым. Дело в том, что из-за возрастания давления температура плавления льда оказывается меньше 0°C , и лёд под проволокой плавится, а над ней снова смерзается.

Подобное явление наблюдается при преодолении препятствий сползающим по склону ледником. Когда ледник упирается в камень, из-за возрастания давления лёд в этом месте начинает таять, пропуская камень сквозь себя. Когда давление снижается, вода снова замерзает. В результате препятствие как бы проходит сквозь ледник.

Другим фактором, влияющим на температуру отвердевания воды, является наличие в ней примесей. Добавление в воду соли снижает её температуру отвердевания (например, морская вода). Это удобно, когда нужно охладить что-нибудь ниже нуля. При некоторой определённой концентрации соли весь раствор имеет более низкую температуру замерзания, чем вода. Если, например, количество соли в воде составляет 30%, то такой соляной раствор замерзает при -21°C .

В городах соль рассыпают на дорогах и тротуарах, чтобы лёд и снег таяли при более низкой температуре.



1. Почему морская вода не замерзает при температуре 0°C ?
- 2*. Если в опыте с ледяным бруском стальную проволоку заменить капроновой нитью того же диаметра, лёд режется значительно хуже. Чем это можно объяснить?

Как происходит кристаллизация

В морозный день подышите на покрытое инеем стекло. На месте растаявшего инея можно наблюдать рост ледяных кристаллов. Их образование начинается с какого-нибудь готового кристалла льда. При росте кристаллов образуются ответвления в стороны, всегда под одним и тем же углом. Встречаясь друг с другом, ледяные ответвления кристаллов срастаются, образуя сложные узоры.

Мы установили, что температура плавления равна температуре кристаллизации. Но иногда удаётся охладить жидкость на несколько градусов ниже температуры отвердевания. Легко переохлаждается сахарный сироп, образуя леденец. С течением времени в прозрачном леденце появляется помутнение, что означает образование внутри него мелких кристалликов сахара.

В каких случаях жидкость начинает кристаллизоваться сразу при достижении температуры плавления и в каких случаях возможно переохлаждение? Для начала кристаллизации необходимы так называемые «центры кристаллизации». Ими могут служить мелкие, невидимые даже в микроскоп кристаллики, пылинки, частички дыма, находящиеся в жидкости. Именно около этих центров начинают группироваться молекулы, образуя кристаллы.

Например, капельки тумана могут не замерзнуть даже при температуре -30°C , если вода достаточно чистая. Туманы, состоящие из переохлаждённых капель, опасны для самолётов. Капельки, осаждаясь на крыльях и корпусе самолёта, образуют на них корку льда (обледенение), что опасно. В Российском центральном аэрогидродинамическом институте (ЦАГИ) ведётся работа над созданием гидрофобных нанопокровов для предотвращения нарастания льда, чтобы облегчить борьбу с обледенением самолёта.

§ 15

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕНИЯ

Вспомним опыты по наблюдению за плавлением льда и отвердеванием воды: при этих процессах температура смеси вода—лёд не меняется. В случае плавления льда энергия поглощается, при отвердевании воды энергия выделяется.

Расплавить кусок льда — значит преодолеть силы притяжения между его молекулами, разрушить связи между ними и изменить среднее расстояние между частицами. При переходе кристаллического тела в жидкое состояние возрастает внутренняя энергия тела, потому



Превращение льда
в воду

что увеличивается потенциальная энергия взаимодействия частиц вещества друг с другом. Наоборот, при отвердевании жидкость, например вода, отдаёт часть своей внутренней энергии, и температура смеси воды и льда не понижается. Подобные явления наблюдаются для всех кристаллических тел. Внутренняя энергия кристаллического тела меньше, чем внутренняя энергия соответствующей жидкости такой же массы и той же температуры.

Количество теплоты, которое нужно сообщить 1 кг кристаллического вещества при температуре плавления, чтобы превратить его в жидкость, называют удельной теплотой плавления вещества.

Удельную теплоту плавления обозначают греческой буквой λ («лямбда»). Её единица — *джоуль на килограмм* $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$.

У разных веществ различна удельная теплота плавления (табл. 4). Её значение определяется экспериментально.

Таблица 4. Удельная теплота плавления некоторых веществ (при нормальном атмосферном давлении)

Вещество	$\lambda, 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	Вещество	$\lambda, 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
Алюминий	3,9	Сталь	0,84
Лёд	3,4	Золото	0,67
Железо	2,7	Водород	0,59
Медь	2,1	Олово	0,59
Парафин	1,5	Свинец	0,25
Спирт	1,1	Кислород	0,14
Серебро	0,87	Ртуть	0,12

Например, удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,4 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Что это означает? Чтобы расплавить кусок льда массой 1 кг, взятого при температуре плавления льда, потребуется $3,4 \cdot 10^5$ Дж энергии. Это также означает, что внутренняя энергия 1 кг воды при температуре 0°C на $3,4 \cdot 10^5$ Дж больше внутренней энергии 1 кг льда при той же температуре.

Зная удельную теплоту плавления, можно подсчитать количество теплоты, необходимое для плавления тела любой массы m , находящегося при температуре плавления:

$$Q = \lambda m$$

$$Q = \lambda m.$$

Из этой формулы можно получить выражения для определения удельной теплоты плавления и массы тела:

$$\lambda = \frac{Q}{m}$$

$$\lambda = \frac{Q}{m}; \quad m = \frac{Q}{\lambda}.$$

$$m = \frac{Q}{\lambda}$$

При отвердевании кристаллического вещества происходит выделение энергии. Как показывает опыт, количество теплоты, выделяющееся веществом при кристаллизации, равно количеству теплоты, необходимому для его плавления. Следовательно, при отвердевании воды массой 1 кг при температуре 0°C выделится $3,4 \cdot 10^5$ Дж энергии.

Таким образом, выделяющееся при кристаллизации тела количество теплоты рассчитывают по той же формуле: $Q = \lambda m$.

Пример. Какое количество теплоты требуется для плавления куска свинца массой 0,5 кг, взятого при температуре 27°C ?

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$m = 0,5 \text{ кг}$$

$$t_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 327 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$c = 140 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$\lambda = 0,25 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$Q = ?$$

Решение:

Чтобы расплавить свинец, его сначала надо нагреть до температуры плавления $327 \text{ }^\circ\text{C}$. Для этого потребуется количество теплоты:

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

$$Q_1 = 140 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C}} \cdot 0,5 \text{ кг} \times \\ \times (327 \text{ }^\circ\text{C} - 27 \text{ }^\circ\text{C}) = \\ = 21\,000 \text{ Дж.}$$

Количество теплоты, необходимое для плавления свинца:

$$Q_2 = \lambda m,$$

$$Q_2 = 0,25 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 0,5 \text{ кг} = 12\,500 \text{ Дж.}$$

Общее количество теплоты:

$$Q = Q_1 + Q_2,$$

$$Q = 21\,000 \text{ Дж} + 12\,500 \text{ Дж} = 33\,500 \text{ Дж} = \\ = 33,5 \text{ кДж.}$$

Ответ: $Q = 33,5 \text{ кДж}$.



1. На что расходуется энергия топлива при плавлении нагретого до температуры плавления кристаллического тела? **2.** Что показывает удельная теплота плавления? **3.** Какова единица удельной теплоты плавления? **4.** Как рассчитать количество теплоты, необходимое для плавления тела или выделившееся при кристаллизации тела, взятого при температуре плавления?



1. Чтобы лёд в тёплой комнате быстрее растаял, мальчик укутал его ватой. Правильно ли он поступил?

2. Что будет дольше плавиться — лёд или сталь, взятые при температуре плавления, если их массы и количества теплоты, подводимые в единицу времени, одинаковы?

3. Как изменилась бы ситуация с весенними паводками, если бы удельная теплота плавления льда стала бы такой же, как у свинца?



УПРАЖНЕНИЕ 14

1. Явление обледенения самолёта возникает, когда он пролетает область с переохлаждёнными капельками воды. Объясните, почему в этом случае образуется корка льда на корпусе самолёта.
2. Лёд внесли с улицы в подвал, температура воздуха в котором $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Будет ли таять лёд в подвале?
3. Замерзнет ли вся вода массой 100 г , предварительно охлаждённая до температуры $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, если она передаст окружающим телам количество теплоты 35 кДж ?
4. Алюминиевая и стальная детали, массы которых равны по 1 кг , нагреты до их температур плавления. Для плавления какой детали потребуется больше энергии? Во сколько раз?
5. На сколько возрастёт внутренняя энергия куска олова массой 200 г , взятого при температуре $232\text{ }^{\circ}\text{C}$, если его полностью расплавить?
6. При ювелирных работах необходимо плавить серебро. Рассчитайте количество теплоты, которое выделится при охлаждении и кристаллизации предварительно расплавленного серебра, взятого при температуре $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Масса серебра 100 г .
- 7*. Определите количество теплоты, которое потребуется для обращения в воду льда массой 3 кг , взятого при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Проведите расчёты для случаев: а) потерями энергии пренебречь; б) потери энергии составляют 20% . Почему результаты различаются?



ЗАДАНИЕ

1. Придумайте несколько задач, используя данные таблиц 3 и 4. Обменяйтесь с товарищем условиями задач и решите их.
2. Возьмите кусочек олова и расплющите его молотком до толщины бумаги. Проткните полученную пластинку спицей и поместите в пламя свечи. Расплавьте пластинку. Опыты проводите в присутствии взрослых.
Удастся ли в пламени свечи (температура $600\text{—}1300\text{ }^{\circ}\text{C}$) расплавить свинец; железо?



§ 16

ИСПАРЕНИЕ. НАСЫЩЕННЫЙ И НЕНАСЫЩЕННЫЙ ПАР

Почему в ясный летний день быстро высыхают лужи, оставшиеся после дождя, свежескошенное сено, лежащее на лугах, выстиран-

ное бельё, развешенное на солнце? Куда исчезает вода? Превращается в пар.

Процесс превращения жидкости в пар называют парообразованием.

Существует два способа перехода жидкости в пар: *испарение* и *кипение*.

Процесс парообразования с поверхности жидкости называют испарением.

Как объяснить процесс испарения на основе молекулярно-кинетической теории? Вам известно, что молекулы в жидкостях движутся с разными скоростями. Наиболее быстрые молекулы, находящиеся на границе поверхности жидкости и воздуха, могут преодолеть притяжение соседних молекул и покинуть жидкость. Таким образом, жидкость постепенно становится паром. От чего же зависит скорость испарения жидкости?

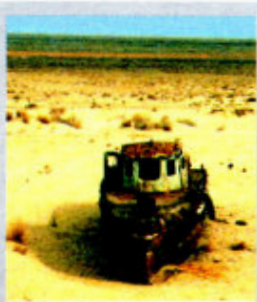
Прделаем несколько опытов. Капнем на лист бумаги водой, спиртом или одеколоном и маслом. Проследим, какая жидкость испарится первой, какая последней. Первым полностью испарится спирт, второй — вода, полного испарения масла вы скорее всего не дождётесь. *Скорость испарения зависит от рода жидкости.*

Причина заключается в том, что между молекулами разных жидкостей разная сила притяжения. Так, молекулы спирта притягиваются друг к другу с меньшей силой, чем молекулы воды или масла.

Нальём одинаковое количество воды комнатной температуры в стакан и блюдце. Из какого сосуда вода испарится быстрее? Очевидно, из блюдца, так как у него большая свободная поверхность воды, и поэтому большее



Испарение воды после дождя



Обмеление Аральского моря в результате потери воды при испарении и резком понижении притока внешних вод

число молекул сможет покинуть жидкость за одинаковое время. Следовательно, *скорость испарения зависит от площади поверхности жидкости.*

Когда лужи высыхают быстрее — в тёплый летний день или в холодный осенний? При более высоких температурах воздуха испарение происходит активнее. *Испарение происходит при любой температуре, но с повышением температуры скорость испарения жидкости увеличивается.*

Вы могли наблюдать, что при ветре лужи и бельё высыхают быстрее, чем при отсутствии ветра. Это легко объяснить. Часть вылетевших из жидкости молекул продолжает хаотически двигаться вблизи её поверхности и некоторые возвращаются обратно в жидкость. Ветер же удаляет вылетевшие молекулы, не давая им возможности вернуться. Таким образом, *скорость испарения зависит от движения воздуха над поверхностью жидкости.*

Испаряются не только жидкости, но и твёрдые тела. Если сырое бельё вывесить на мороз, то оно вначале замёрзнет (вода превратится в лёд), а через некоторое время высохнет, следовательно, лёд испарится. Другой пример — испарение кристаллического иода. Если в колбу положить кристаллики иода и нагреть их на спиртовке, то через некоторое время иод перейдёт сразу в газообразное состояние, минуя жидкое. Такой процесс называют *сублимацией*. После прекращения нагревания иод из газообразного состояния сразу переходит в твёрдое, снова минуя жидкое.

Процесс превращения пара в жидкость называют конденсацией.

Процесс испарения всегда сопровождается процессом конденсации. Молекулы пара, находящиеся над жидкостью близко к её поверхно-

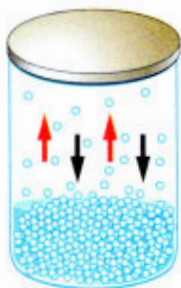


Рис. 28. Испарение жидкости в закрытом сосуде

сти, возвращаются в жидкость. В открытом сосуде испарение идёт быстрее, чем конденсация, поэтому масса жидкости в сосуде уменьшается.

Если же сосуд закрыть, то через некоторое время число молекул, покидающих жидкость, станет равным числу молекул, возвращающихся в неё (рис. 28). Массы жидкости и пара при этом остаются неизменными. Говорят, что система «жидкость — пар» находится в равновесии. Такое равновесие называют *динамическим*, т. е. подвижным.

Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называют насыщенным.

Если сосуд открыть, то часть пара выходит в окружающую среду, пар становится ненасыщенным.

Покидающих жидкость молекул становится больше, чем молекул пара, возвращающихся назад, т. е. процесс испарения будет преобладать над конденсацией.

Пар, не находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называют ненасыщенным.



1. Какое явление называют испарением? **2.** Объясните на основе молекулярно-кинетической теории, как происходит процесс испарения. **3.** Почему для каждого вещества существует определённая температура плавления, но не существует определённой температуры испарения? **4.** Какими способами можно ускорить процесс испарения? Объясните их на основе МКТ. **5.** Что такое динамическое равновесие? **6.** Какой пар называют насыщенным? **7.** Какой пар называют ненасыщенным?



1. Почему испарение из почвы летом больше, чем зимой?
2. Как влияет испарение на температуру жидкости?
3. Как предотвратить испарение воды в открытом сосуде?
4. Почему очки запотевают, когда вы входите с мороза в тёплое помещение?



ЗАДАНИЕ



- Нанесите пипеткой на лист бумаги по капле воды, спирта и наблюдайте за их испарением (вместо спирта можно взять одеколон). Какая жидкость испарится быстрее?

Нанесите пипеткой по одной капле спирта на разные листы бумаги. Один из листов наклоните, чтобы капля растеклась. Тем самым вы увеличите поверхность испарения этой капли. Наблюдайте за испарением капель. Какая капля испарится быстрее? Дайте объяснение.

Нанесите пипеткой по капле спирта на разные листы бумаги. Один лист отложите в сторону, а около второго помашите тетрадкой до полного высыхания капли. Какая капля испарилась быстрее? Дайте объяснение. Сделайте общий вывод из опытов.

§ 17

ПОГЛОЩЕНИЕ ЭНЕРГИИ ПРИ ИСПАРЕНИИ ЖИДКОСТИ. ВЫДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА

На руку капните воду и одеколон одинаковой температуры. Жидкости начнут испаряться, и рука ощутит прохладу. Под какой каплей рука ощущает большее охлаждение?

Проделаем опыт. Возьмём термометр, обмотаем его шарик влажной тряпочкой. Рядом положим термометр с сухим шариком. Сравним температуры, которые показывают сухой и влажный термометры. Почему температура влажного термометра ниже?

Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим процесс испарения с энергетической точки зрения. Поскольку при испарении наиболее быстрые молекулы покидают жидкость, то средняя кинетическая энергия молекул оставшейся части жидкости уменьшается. Это означает, что температура испаряющейся жидкости понижается.

Почему же мы не замечаем понижения температуры испаряющейся в стакане воды? Дело в том, что в этом случае температура воды поддерживается постоянной за счёт энергии, по-



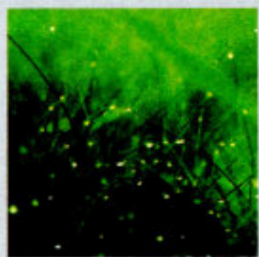
Конденсация пара на окне

ступающей к воде от окружающего воздуха. Значит, чтобы температура жидкости при испарении оставалась постоянной, ей необходимо передавать некоторое количество теплоты. *Процесс испарения сопровождается поглощением энергии.*

Испарение происходит при любой температуре. Даже если тело находится в кристаллическом состоянии, у его поверхности всегда можно обнаружить вылетевшие молекулы.

Конденсация пара сопровождается выделением энергии. Это объясняется тем, что кинетические энергии молекул, возвращающихся в жидкость, увеличиваются под действием сил притяжения со стороны жидкости. В результате средняя кинетическая энергия молекул жидкости увеличивается, что соответствует нагреванию жидкости. Чтобы температура жидкости при конденсации пара оставалась постоянной, от системы необходимо отводить энергию.

После жаркого летнего дня вы могли наблюдать вечером, когда воздух становится прохладнее, выпадение росы. Это водяной пар, находившийся в воздухе, при охлаждении превращается в жидкость, и капельки воды оседают на листьях и траве. Образование облаков также объясняется конденсацией водяного пара. Поднимаясь в более холодные высокие слои атмосферы, пар превращается в мельчайшие капельки воды.



Выпадение росы



1. Опишите опыт, демонстрирующий охлаждение жидкости при испарении. **2.** Объясните на основе молекулярно-кинетической теории понижение температуры жидкости при её испарении. **3.** Что происходит с молекулами жидкости и пара в процессе испарения и конденсации? **4.** Приведите примеры природных явлений, объясняющихся испарением жидкости и конденсацией пара.



Почему конденсация пара в атмосфере в капельки дождя или снежинки ведёт к потеплению?



УПРАЖНЕНИЕ 15

1. Сильный ветер после дождя способствует заметному понижению температуры воздуха. Почему?
2. Выходя из реки после купания, вы ощущаете прохладу, особенно в ветреную погоду. Почему?
3. В жаркий день, когдаходишь в воду, кажется, что вода холоднее воздуха, а когда выходишь из воды — воздух холоднее. Почему?
4. В ветреный день нам становится теплее, если спрятаться от ветра, зайдя, например, за угол дома. Одинаковы ли показания термометра на ветру и за углом?
5. В производстве для обеспечения чистой водой различных технологических процессов используют дистилляторы. Процесс получения дистиллированной воды основан на парообразовании и конденсации водяных паров.

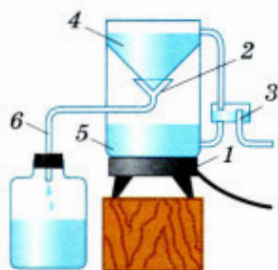


Рис. 29

На рисунке 29 дан разрез простейшего дистиллятора, где 1 — нагреватель; 2 — жёлоб; 3 — кран; 4 — холодильник; 5 — дистиллируемая вода; 6 — отводная трубка. В дистиллятор через кран 3 наливают воду, предназначенную для перегонки, и нагревают её. Образующиеся водяные пары соприкасаются с конусообразным дном холодильника, в который налита холодная вода. Пар конденсируется, и дистиллированная вода стекает в жёлоб, откуда её спускают при помощи отводной трубки 6.

Какие агрегатные превращения происходят в дистилляторе?

Это любопытно...

Испарение в жизни растений

Количество воды, расходуемое растением в течение своей жизни, в большой степени зависит от климата. В жарком сухом климате растения потребляют не меньше, а иногда даже больше воды, чем во влажном. У растений засушливых мест лучше развита корневая система и меньше площадь листовой поверхности. Меньше всего расходуют воду растения сырых, тенистых тропических лесов, берегов водоёмов, поэтому у них тонкие широкие листья, плохо развиты корневая и проводящая системы.

Очень немногие растения могут переносить длительные перерывы в водоснабжении в состоянии полного высыхания. Из наземных растений

к этому способны лишь некоторые представители высокогорной и пустынной флоры. У растений засушливых местностей, где воды в почве очень мало, а воздух горяч и сух, наблюдаются определённые особенности. Кактусы, растущие в пустынях, имеют толстые мясистые зелёные стволы и колючки вместо листьев. У них незначительная поверхность при большом объёме, толстые, покрытые восковым налётом покровы, плохо пропускающие водяной пар, немногочисленные, почти всегда закрытые устьица. В связи с этим даже в сильную жару кактусы испаряют мало воды. Многие растения пустынь (ковыль, перекасти-поле, вереск) имеют жёсткие кожистые листья. При недостатке воды листья скручиваются в трубку; устьица при этом оказываются внутри. Часто листья растений засушливых мест бывают покрыты густым слоем светлых волосков, предохраняющих растения от перегревания и снижающих интенсивность испарения.

Для успешного фотосинтеза хлорофиллоносные клетки наземных растений должны иметь хороший контакт с атмосферой, снабжающей их углекислым газом. Однако это тесное соприкосновение приводит к тому, что вода из клеток испаряется. Необходимая для фотосинтеза энергия солнца способствует также нагреванию листа и увеличению процесса испарения.

Растения извлекают нужную им воду из почвы при помощи корней. Водоросли способны поглощать воду всей поверхностью.

Чтобы представить себе масштабы испарения воды растением, приведём такой пример: за вегетационный период одно растение подсолнечника или кукурузы испаряет воду массой около 200 кг! При таком энергичном расходовании требуется не менее энергичное добывание воды корневой системой. Точные подсчёты числа корней и корневых волосков озимой ржи дали следующие цифры: корней оказалось почти 14 млн, общая длина всех корней 600 км, общая площадь поверхности около 225 м². На этих корнях было около 15 млрд корневых волосков общей площадью 400 м².



Английский священник Хейлз провёл в 1723 г. следующий опыт. Он срезал три ветки одинакового диаметра с одного и того же дерева. С одной ветки он удалил все листья, с другой ветки он удалил листья частично, на третьей ветке оставил все листья. Каждую ветку священник поставил в отдельный сосуд с водой. Уровень воды в сосудах был одинаковый.

Предположите, каков будет уровень воды в сосудах через несколько дней. Приведите доказательство. По возможности проверьте экспериментально.



а)



б)

Рис. 30. Нагревание воды

Рассмотрим процессы, которые будут происходить при нагревании воды в стеклянном сосуде (рис. 30). Вначале испаряется жидкость с поверхности. Затем на дне и стенках сосуда по всему объёму жидкости образуются пузырьки (рис. 30, а). Это пузырьки воздуха, который всегда растворён в воде. Кроме воздуха, в пузырьках находится насыщенный пар, который образуется при испарении воды внутри этих пузырьков. С увеличением температуры этот процесс протекает всё интенсивнее. Пузырьки воздуха с паром растут и увеличивается действующая на них архимедова сила. В некоторый момент эта сила становится настолько большой, что пузырьки отрываются от дна сосуда и всплывают (рис. 30, б). Так как вода в верхних слоях ещё не прогрелась, пар в пузырьках остывает и конденсируется. В результате они резко сжимаются (схлопываются) и мы слышим, как вода шумит.

Для того чтобы пузырьки росли, необходимо, чтобы давление пара внутри пузырька превосходило давление на него снаружи. А оно складывается из атмосферного давления и давления столба жидкости над пузырьком. Если сосуд неглубокий, то давление столба жидкости малó. Поэтому после прогрева воды по всему объёму, когда давление внутри пузырьков сравняется с атмосферным, пузырьки воздуха с паром увеличиваются, достигают поверхности и лопаются. Таким образом происходит кипение.

Кипение — это процесс парообразования, происходящий по всему объёму жидкости.

Если измерять температуру воды во время кипения, то можно убедиться, что она не изменяется и при нормальном атмосферном давлении равна $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Температуру, при которой жидкость кипит, называют температурой кипения.

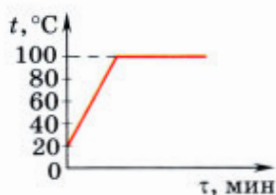


Рис. 31. График нагревания и кипения воды

График зависимости температуры воды при её нагревании и кипении от времени представлен на рисунке 31. *Температура жидкости во время кипения не меняется.*

Энергия, получаемая жидкостью при кипении (в нашем опыте от спиртовки), расходуется на преодоление сил притяжения между её молекулами. Если термометр во время опыта поместить над поверхностью кипящей воды, то окажется, что температура пара равна также 100 °С.

Это означает, что кинетическая энергия молекул при кипении остаётся неизменной. Однако внутренняя энергия пара больше внутренней энергии воды, из которой он образовался, так как потенциальная энергия молекул при парообразовании увеличивается.

Этим объясняется тот факт, что ожог паром бывает более тяжёлым, чем кипятком при температуре 100 °С.

У разных веществ температура кипения разная. В таблице 5 приведена температура кипения некоторых веществ при нормальном атмосферном давлении.

Таблица 5. Температура кипения некоторых веществ (при нормальном атмосферном давлении)

Вещество	$t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$	Вещество	$t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$
Водород	-253	Вода	100
Азот	-196	Ртуть	357
Кислород	-183	Свинец	1740
Эфир	35	Медь	2567
Спирт	78	Железо	2750



Кипение воды

Летучие жидкости — эфир, спирт — кипят при сравнительно низких температурах. Это объясняется сравнительно небольшими силами взаимодействия между молекулами. Поэтому нужно лишь небольшое нагревание, чтобы давление паров летучих жидкостей достигло атмосферного.

Давление же паров ртути становится равным атмосферному лишь при температуре $357\text{ }^{\circ}\text{C}$. При комнатной температуре оно мало.

Температура кипения зависит от атмосферного давления. При увеличении атмосферного давления температура кипения повышается, при уменьшении — понижается. Это следует из условия кипения. При повышении атмосферного давления должно увеличиться и давление внутри пузырьков. Это возможно только при более высокой температуре кипения.

В высоких горах, где атмосферное давление ниже, чем у подножия, температура кипения воды заметно понижается. Так, на горе Эльбрус (высота примерно $5,6\text{ км}$) вода кипит при температуре $82\text{ }^{\circ}\text{C}$.



1. Объясните на основе молекулярно-кинетической теории, как происходит процесс кипения.
2. Какой процесс называют кипением?
3. Что называют температурой кипения жидкости?
4. Сформулируйте условие кипения.



1. Охарактеризуйте каждый участок графика на рисунке 31.
2. В кондитерском производстве раствор сахара надо выпаривать при температуре ниже $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (иначе он пригорает). Как этого достичь?



УПРАЖНЕНИЕ 16

1. Из чайника выкипела почти вся вода. В некоторый момент времени массы воды и пара в нём оказались равными. Их температура $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Можно ли утверждать, что внутренняя энергия пара и внутренняя энергия воды одинаковы?
2. Почему паровые котлы испытывают на прочность водой, накачиваемой под большим давлением, а не паром?

3. Где кипящая вода горячее — на уровне моря, на высокой горе или в глубокой шахте?
4. В закрытом сосуде спирт закипел при температуре $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Что можно сказать о давлении в сосуде?
5. На одной координатной плоскости изобразите примерные графики зависимости температуры от времени при нагревании и кипении воды и спирта одинаковой массы. Жидкости нагреваются на одинаковых горелках.
6. В кастрюле кипит вода и варится картофель. Чтобы ускорить варку, девочка увеличила подачу газа в горелку в 4 раза. Быстрее ли сварится картофель?
- 7*. Ртуть кипит при температуре $357\text{ }^{\circ}\text{C}$, однако ртутные термометры применяют для измерения и более высоких температур. Почему это возможно?

Это любопытно...

Примеры использования кипения

Различие температур кипения жидкостей используют для разделения их путём дробной перегонки. Например, нефть представляет собой смесь веществ. При нагревании нефти начинается последовательное кипение её составных частей. Пары кипящего вещества направляются в холодильник, где они конденсируются и собираются в отдельных резервуарах. Там их подвергают последующей очистке. При нагревании раньше всего испаряются наиболее ценные, летучие части нефти (эфир, бензин). Затем получают лигроин, керосин, лёгкие соляровые масла, мазут.

Зависимость температуры кипения от давления используют в паровых котлах (автоклавах). Температура кипения воды в них достигает $135\text{ }^{\circ}\text{C}$. Автоклавы применяются для стерилизации медицинских инструментов и перевязочных материалов, дезинфекции белья, при производстве стеарина, глюкозы и др. Мощные котлы дают пар высокого давления и температуры для работы паровых турбин.

Для приготовления пищи в быту широко используется скороварка. В её крышке находится клапан с грузом, который удерживает пар в сосуде. Крышка плотно крепится на корпусе скороварки. При нагревании повышаются давление и температура пара. Температура кипения воды становится выше $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, что уменьшает время приготовления пищи. Когда давление внутри скороварки достигает определённого значения, клапан поднимается и часть пара выпускается, предотвращая тем самым её «взрыв».

Жизнь на Земле немыслима без воды. Все процессы, происходящие в организмах живых существ, связаны с взаимодействием и превращением молекул в водных растворах. Вода является вторым после кислорода веществом, пополнение которого необходимо для живых организмов.

Большая часть поверхности Земли покрыта водой, которая постоянно испаряется в атмосферу, затем конденсируется в холодных областях в виде облаков и возвращается в Мировой океан в виде дождя. Так происходит круговорот воды в природе. Очень важным для всего живого является количество воды, содержащееся в воздухе. Давайте подумаем: а от чего зависит это количество?



а)



б)

Рис. 32. Испарение жидкости в замкнутом сосуде

Проведём мысленный эксперимент. Пусть цилиндр с поршнем наполнен водой так, что поршень касается поверхности (рис. 32, а). Резко поднимем поршень вверх. Молекулы воды, обладающие достаточной энергией, чтобы вырваться наружу, будут покидать жидкость, т. е. начнётся процесс испарения (рис. 32, б). Одновременно будет происходить и процесс конденсации. Через некоторое достаточно короткое время между поршнем и поверхностью воды образуется насыщенный пар.

Он обладает интересными свойствами. Так, если обычный газ сжимать, то его давление увеличивается, а у насыщенного пара при сжатии увеличения давления не происходит. Он просто превращается в жидкость.

Давление насыщенного пара не зависит от объёма. Повысим температуру жидкости. Количество вылетающих молекул увеличится, плотность пара и его давление возрастёт, прежде чем наступит динамическое равновесие. Давление насыщенного пара зависит от температуры и рода вещества.

Представим себе, что в помещении находится насыщенный водяной пар. Такое бывает в бане, когда на пол вылито много воды. Будет ли сохнуть в таком помещении мокрое полотенце? Нет, не будет, так как количество вылетающих молекул воды, содержащейся в полотенце, будет равно количеству возвращающихся обратно в жидкость. Если же пар ещё не достиг насыщения, то испарение будет преобладать и через некоторое время полотенце высохнет.

Количество водяного пара в воздухе определяет такое понятие как влажность. *Абсолютная влажность* ρ равна плотности водяного пара, содержащегося в воздухе при данных условиях. Она показывает, какая масса водяного пара содержится в воздухе объёмом 1 м^3 .

Интенсивность процессов испарения воды и конденсации пара зависит от того, насколько водяной пар в воздухе далёк от насыщения. Для характеристики этого служит физическая величина, которую называют *относительной влажностью*.

Её обозначают греческой буквой φ («фи»).

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100\%$$

Относительной влажностью воздуха φ называют отношение абсолютной влажности воздуха ρ к плотности ρ_0 насыщенного водяного пара при той же температуре, выраженное в процентах.

Относительную влажность воздуха можно определить по формуле:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100\%.$$

Значения плотности насыщенного водяного пара при разной температуре приведены в таблице 6.

Что будет происходить с паром, находящимся в воздухе, если его охлаждать? При некоторой температуре пар станет насыщенным и начнёт конденсироваться. Выпадет роса.

Таблица 6. Зависимость плотности насыщенного водяного пара от температуры

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho_0, 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho_0, 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
-10	2,3	15	12,8
-5	3,2	20	17,3
0	4,8	25	23,0
5	6,8	30	30,4
10	9,4	50	83,0



а)



б)

Рис. 33. Конденсационный гигрометр:
а — внешний вид;
б — устройство

Температуру, при которой находящийся в воздухе водяной пар становится насыщенным, называют точкой росы.

Точка росы характеризует влажность воздуха.

Чем меньше относительная влажность, тем быстрее сохнут вещи, больше воды испаряет кожа человека и животных, поверхность растений. Человек чувствует себя наиболее комфортно при относительной влажности 40—60%. В музеях внимательно следят за относительной влажностью воздуха, так как при её увеличении деформируются деревянные предметы, размножаются бактерии. Хранение продуктов питания, лекарств, бумаги для типографий требует поддержания в помещении определённой влажности.

Приборы для измерения влажности воздуха называют **гигрометрами**.

Абсолютную влажность воздуха по точке росы можно определить с помощью **конденсационного гигрометра** (рис. 33, а). Его основным элементом является прикреплённая к стойке металлическая коробка 1 (рис. 33, б), передняя стенка 2 которой хорошо отполирована. Коробка окружена полированным кольцом 3, которое отделено от неё теплоизолирующей про-

кладкой 4. В коробке имеется два отверстия. Через одно отверстие с помощью трубки к ней присоединена резиновая груша 5.

В коробку наливают легко испаряющуюся жидкость (обычно эфир) и через другое отверстие в неё вставляют термометр 6. С помощью груши продувают воздух через коробку, что вызывает сильное испарение эфира и быстрое охлаждение коробки. Её полированная поверхность запотевает. Появление капелек росы указывает на то, что находящийся в воздухе вблизи коробки водяной пар при понижении температуры стал насыщенным. Это и есть точка росы. Измерив с помощью термометра точку росы, по таблице плотности насыщенного водяного пара при данной температуре определяют абсолютную влажность воздуха.

В основе работы *волосного гигрометра* (рис. 34) лежит свойство обезжиренного человеческого волоса изменять длину при изменении относительной влажности воздуха. При увеличении влажности воздуха волос удлиняется, а при уменьшении — укорачивается. Изменение длины волоса приводит к повороту стрелки. По шкале определяют относительную влажность воздуха.

Гигрометр психрометрический (чаще его называют *психрометр*) состоит из двух термометров — сухого и влажного (рис. 35). Резервуар влажного термометра обернут куском ткани, конец которой опущен в воду. Сухой термометр показывает температуру окружающего воздуха, а влажный — температуру влажной ткани. Показания термометров будут разными. Вода с ткани испаряется, и благодаря этому влажный термометр охлаждается. Чем больше в воздухе содержится водяного пара, т. е. больше относительная влажность, тем менее интенсивно происходит процесс испарения и тем меньше разность показаний термометров. Зная температуру сухого термометра и разность значений температуры сухого и влаж-

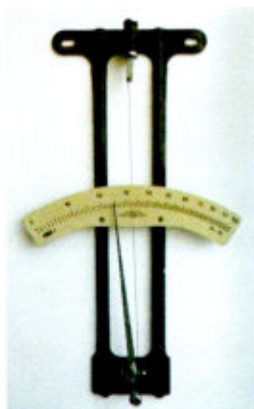


Рис. 34. Волосной гигрометр



Рис. 35. Психрометр

ного термометров, можно определить относительную влажность воздуха по специальной (психрометрической) таблице 7.

Таблица 7. Психрометрическая таблица

Показания сухого термо- метра, °С	Разность показаний сухого и влажного термометров, °С										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Относительная влажность, %										
6	100	86	73	60	47	35	23	10	–	–	–
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7	–	–
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5	–
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	–
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34



1. Что называют относительной влажностью воздуха? **2.** Что называют точкой росы? **3.** С помощью каких приборов измеряют влажность воздуха? **4.** Как определить точку росы с помощью конденсационного гигрометра? **5.** Как, используя психрометр, можно узнать относительную влажность воздуха?



1. Один фантазёр утверждал, что он изобрёл жидкость, которая испаряется тем быстрее, чем ниже её температура. Может ли быть такое?

2*. Можно ли утверждать, что влажный термометр психрометра охлаждается до точки росы? Аргументируйте свой ответ, используя таблицы 6 и 7.



УПРАЖНЕНИЕ 17

1. Увеличивается или уменьшается относительная влажность, если температура воздуха понижается?

2. Что можно сказать об изменении температуры воздуха ночью, если утром выпала роса?
3. В каких местах — сухих или более влажных (вблизи водоёма) — чаще всего наблюдаются туманы? Почему?
4. Какова роль росы в жизни растений?
5. Почему на берегу моря выстиранное бельё сохнет дольше, чем вдали от него?
6. Если на мокрую рубашку в комнате направить поток воздуха от вентилятора, то она высохнет намного быстрее. Объясните механизм этого явления. Поможет ли вентилятор, если относительная влажность воздуха будет 100%?
7. Какова относительная влажность воздуха, если при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ абсолютная влажность воздуха равна $11,8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$?
8. Чему равна относительная влажность в комнате при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, если показания влажного термометра психрометра равны: а) $16\text{ }^{\circ}\text{C}$; б) $20\text{ }^{\circ}\text{C}$; в) $19\text{ }^{\circ}\text{C}$?



ЗАДАНИЕ



- 1*. Возьмите шприц, наполненный горячей водой так, чтобы и маленького пузырька воздуха не было под поршнем (рис. 36, а). Заткните отверстие шприца пальцем и выдвигайте поршень. Что образуется в пространстве между водой и поршнем? Опишите ваши ощущения во время этого опыта. Постарайтесь запомнить, как менялась сила, с которой надо было вытаскивать поршень.

Повторите эксперимент, используя вместо воды такой же объём воздуха (рис. 36, б). Удалось ли вам обнаружить разницу в ощущениях? Попробуйте объяснить результат.

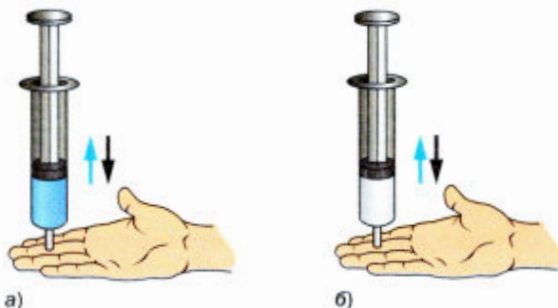


Рис. 36



2. Изготовьте волосной гигрометр. Правильнее назвать его гигроскопом. Для этого закрепите на листе картона или фанеры с помощью булавки лёгкую стрелку из тонкого картона, как показано на рисунке 37.

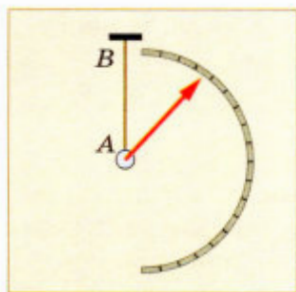


Рис. 37

Прикрепите с помощью клея или пластилина волос длиной приблизительно 10 см, предварительно протёртый одеколоном для обезжиривания, к стрелке в точке *A* и к картону в точке *B* (см. рис. 37). Шкала должна быть нарисована заранее. Ваш гигроскоп готов. Проверьте его действие.

Вертикально поставьте прибор над батареей около окна. Отметьте положение стрелки. Теперь включите в ванной горячий душ и через несколько минут (лучше это сделать, когда запотеет зеркало в ванной) внесите туда прибор. Отметьте перемещение стрелки. Если оно слишком мало, то чувствительность прибора можно увеличить, переместив точку крепления ближе к оси стрелки.

3. Придумайте несколько задач, используя данные таблиц 6 и 7. Обменяйтесь с товарищем условиями задач и решите их.

Это любопытно...

Круговорот воды в биосфере

Вода играет важную роль в жизни человека и других живых существ. Водную оболочку Земли называют *гидросферой*. В неё входят Мировой океан, покрывающий приблизительно 72% поверхности Земли, поверхностные воды (реки, озёра, болота и т. д.), ледники и подземные воды. Эти части гидросферы связаны друг с другом круговоротом воды (рис. 38), который происходит под действием солнечной радиации и тяготения Земли.



Рис. 38. Круговорот воды в природе

Вода испаряется с поверхностей водоёмов и суши, образуется водяной пар. Он может переноситься воздушными массами, а в областях с низкой температурой он конденсируется в облаках и из них проливается дождями на Землю.

Вода в земных условиях существует в трёх состояниях: жидком, твёрдом (лёд) и газообразном (пар). В круговороте принимает участие вода во всех этих состояниях. Так, осадки могут выпадать на Землю в виде снега и града, а накапливаться — в виде ледников, которые при повышении температуры тают.

В круговороте воды принимают участие и живые организмы: растения и животные потребляют воду и возвращают её в биосферу в виде продуктов жизнедеятельности.

Загрязнение пресных вод

Масштабы загрязнения пресных вод по сравнению с другими средами наиболее значительны. Это связано с тем, что почти все вещества, загрязняющие биосферу, так или иначе попадают в водные источники — с поверхностными стоками, через газы, растворимые в воде, с кислотными дождями либо в виде прямых сбросов. Это наносит вред всем живущим в воде организмам и через них — человеку.

Наиболее опасны ртуть, свинец, кадмий, моющие средства, пестициды, минеральные удобрения, нефтепродукты. Значительная их часть попадает в воду, где их разложение происходит в процессе окисления и под действием микроорганизмов. Для этого расходуется кислород, растворённый в воде. При незначительном количестве сбросов срабатывает механизм самоочищения, но, если отходов много, содержание кислорода в воде резко падает, вода загнивает, водоёмы зарастают синезелёными водорослями, которые ещё больше снижают содержание кислорода.

§ 20

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПАРООБРАЗОВАНИЯ И КОНДЕНСАЦИИ

Опыт показывает: после закипания жидкости её температура остаётся постоянной, несмотря на дальнейшее поступление энергии. На что она расходуется? Поступающая к жидкости энергия идёт на образование пара.

Пока нагреваемая жидкость не закипела, испарение происходит только с её поверхности. При достаточном притоке энергии на испарение тратится лишь её часть, а остальное идёт на увеличение внутренней энергии жидкости (повышается температура). После достижения температуры кипения парообразование происходит не только со свободной поверхности жидкости, но и с внутренних поверхностей пузырьков газа, которые в жидкости всегда есть. При этом образуется такое количество пара, что на его образование тратится весь приток энергии.

Почему испарение требует подвода энергии? При образовании пара молекулы воды отдаляются друг от друга, на это расходуется энергия. Мы уже говорили о том, что внутренняя энергия пара больше, чем энергия воды, из которой он получился.

При конденсации паров энергия, наоборот, передаётся от образующейся жидкости окружающим телам.

Количество теплоты, необходимое для превращения жидкости массой 1 кг в пар при температуре кипения, называют удельной теплотой парообразования.

Удельную теплоту парообразования обозначают буквой L . Её единица — $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Удельная теплота парообразования показывает, на сколько увеличивается внутренняя энергия жидкости массой 1 кг при переходе её в пар при температуре кипения.

За счёт какой составляющей (кинетической или потенциальной) изменяется внутренняя энергия жидкости при испарении? Если температура постоянна, то кинетическая энергия молекул также постоянна. Значит, увеличивается потенциальная энергия молекул.

Для различных жидкостей удельная теплота парообразования разная. Значения удельной теплоты парообразования для некоторых веществ при температуре кипения и нормальном атмосферном давлении приведены в таблице 8.

Таблица 8. Удельная теплота парообразования некоторых веществ (при температуре кипения и нормальном атмосферном давлении)

Вещество	$L, 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	Вещество	$L, 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
Вода	2,3	Эфир	0,4
Аммиак (жидкий)	1,4	Ртуть	0,3
Спирт	0,9	Воздух (жидкий)	0,2

Например, из таблицы видно, что удельная теплота парообразования воды $2,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Это означает, что для превращения 1 кг воды в пар при температуре кипения (100°C) необходимо затратить $2,3 \cdot 10^6$ Дж энергии. Если начальная температура воды ниже 100°C , то потребуется больше энергии.

$$Q = Lm$$

При произвольной массе m вещества энергия увеличивается в m раз, т. е. количество теплоты, необходимое для парообразования, определяется по формуле:

$$Q = Lm.$$

$$L = \frac{Q}{m}$$

Из этой формулы можно получить выражения для определения удельной теплоты парообразования и массы вещества:

$$L = \frac{Q}{m}; \quad m = \frac{Q}{L}.$$

$$m = \frac{Q}{L}$$

Водяной пар, соприкасаясь с холодным предметом, конденсируется (рис. 39). При этом



Рис. 39. Конденсация пара

выделяется энергия. Точные опыты показывают, что пар, конденсируясь, отдаёт то количество теплоты, которое пошло на его образование.

Количество теплоты, выделяющееся при конденсации пара массой m , также определяют по формуле: $Q = Lm$.

Удельная теплота парообразования показывает не только, какое количество теплоты поглощается жидкостью массой 1 кг при переходе её в пар, но и выделяется при превращении пара массой 1 кг при температуре кипения в жидкость.

Пример. Какое количество теплоты необходимо затратить, чтобы 3 кг эфира, взятого при температуре $20\text{ }^\circ\text{C}$, обратить в пар?

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$m = 3 \text{ кг}$$

$$t_1 = 20\text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 35\text{ }^\circ\text{C}$$

$$c = 2350 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$$

$$L = 0,4 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$Q = ?$$

Решение:

Для нагревания эфира от 20 до $35\text{ }^\circ\text{C}$ (температуры кипения) потребуется количество теплоты:

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

$$Q_1 = 2350 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}} \cdot 3 \text{ кг} \times$$

$$\times (35\text{ }^\circ\text{C} - 20\text{ }^\circ\text{C}) =$$

$$= 105\,750 \text{ Дж} \approx 0,1 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

Количество теплоты, необходимое для превращения эфира в пар при температуре кипения:

$$Q_2 = Lm,$$

$$Q_2 = 0,4 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 3 \text{ кг} = 1,2 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

Общее количество теплоты:

$$Q = Q_1 + Q_2,$$

$$Q = 0,1 \cdot 10^6 \text{ Дж} + 1,2 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 1,3 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

Ответ: $Q = 1,3 \cdot 10^6 \text{ Дж}$.



1. На что расходуется количество теплоты, подводимое к жидкости при кипении?
2. Что называют удельной теплотой парообразования?
3. Какова единица удельной теплоты парообразования?
4. Опишите опыт, который показывает, что при конденсации пара выделяется энергия.
5. Как рассчитать количество теплоты, необходимое для превращения жидкости в пар при температуре кипения?

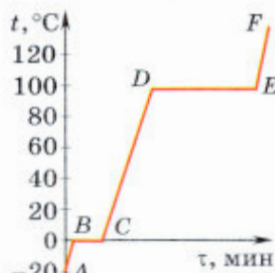


Рис. 40



1. На сколько внутренняя энергия паров эфира при температуре 35°C и нормальном атмосферном давлении больше внутренней энергии жидкого эфира той же массы при той же температуре?

2. На рисунке 40 приведён график зависимости температуры воды от времени её нагревания. Каким процессам соответствуют участки графика AB , BC , CD , DE , EF ?



УПРАЖНЕНИЕ 18

1. Почему внутренняя энергия водяного пара при температуре 100°C больше, чем внутренняя энергия воды той же массы при той же температуре?
2. Какое количество теплоты необходимо затратить, чтобы 2 кг спирта, взятого при температуре 20°C , обратить в пар при температуре кипения?
3. Назовите процессы, которые надо осуществить, чтобы: а) воду, взятую при температуре 20°C , превратить в пар, имеющий температуру 120°C ; б) эфир, взятый при температуре 125°C , охладить до температуры 20°C . (Атмосферное давление нормальное.)

Для каждого случая постройте примерный график зависимости температуры вещества от количества теплоты, полученного от нагревателя или отданного внешним телам.

4. Почему хлеб в полиэтиленовом пакете дольше остаётся мягким, чем без пакета?
5. В кастрюле бурно кипит вода. В неё помещают меньшую кастрюлю с водой, нагретой до температуры 100°C . Закипит ли вода в малой кастрюле?
- 6*. В парниковых хозяйствах для уничтожения личинок вредителей грунт обрабатывают горячим водяным паром. Определите расход пара на кубометр грунта (масса пара, необходимая для нагревания 1 м^3 грунта), если грунт надо нагреть от 15 до 95°C . Плотность грунта

в среднем равна $1,8 \frac{\text{Г}}{\text{см}^3}$, средняя удельная теплоёмкость грунта $800 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, температура используемого пара 100°C .

- 7*. В сосуд с водой, взятой при температуре 0°C , впустили водяной пар массой 1 кг при температуре 100°C . Спустя некоторое время в сосуде установилась температура 20°C . Какова первоначальная масса воды в сосуде? Теплообмен с окружающей средой не происходит.



ЗАДАНИЕ

- Придумайте несколько задач, используя данные таблиц 5 и 8. Обменяйтесь с товарищем условиями задач и решите их.

Это любопытно...

Водяной пар в атмосфере

В воздухе содержатся водяные пары. Если температура окружающей среды понижается, водяной пар конденсируется, т. е. избыток пара выделяется в виде влаги. Так образуется туман.

Для образования тумана, кроме понижения температуры, необходимо ещё присутствие центров конденсации: пылинок, частиц несгоревшего топлива и т. п. Если центров конденсации нет, то пар находится в пересыщенном состоянии.

В ясные безветренные ночи, когда земная поверхность, излучая энергию, охлаждается, часть водяных паров вблизи поверхности Земли, конденсируясь, выделяется в виде росы на относительно холодных листьях растений. Роса имеет большое значение для жизни растений. Она не заменяет дождь, но смачивает листья и стебли. Кроме того, при образовании росы выделяется энергия, которая препятствует охлаждению растений и предохраняет их от губительного действия заморозков.

Если охлаждение земной поверхности происходит до температуры ниже 0°C , то водяной пар, конденсируясь, образует иней. Он представляет собой нежные белые кристаллики, которые покрывают почву, растения и различные предметы.

При сильном морозе образуется изморозь. Если иней образуется только в ясные ночи, то изморозь может возникнуть в любое время суток, чаще всего в морозную туманную погоду.

С явлением конденсации мы встречаемся и при образовании облаков. Воздух, нагреваясь у поверхности Земли, становится легче, расширяется и поднимается вверх, где температура ниже. Там он охлаждается, но про-

должает расширяться, поскольку в верхних слоях атмосферы давление меньше, чем внизу. На работу по расширению требуется энергия. Поскольку притока тепла снаружи нет, расходуется внутренняя энергия воздуха. Он охлаждается и конденсируется в мельчайшие капельки воды. Так образуются слоистые облака. Но температура этой массы воздуха с оставшимся в нём паром всё ещё выше окружающей среды, поэтому она продолжает подниматься вверх. С высотой давление и температура ещё понижаются, и капли воды превращаются в кристаллики льда (хотя могут остаться и переохлаждённые капли). Так образуются кучевые облака. Когда кристаллик льда вырастет до таких размеров, что сила тяжести, действующая на него, станет больше подъёмной силы восходящего потока, он начинает падать. При этом кристаллик, проходя через облака, растёт.

Когда масса облака превысит критическую, содержащиеся в нём ледяные кристаллы начинают падать вниз. Если, проходя нижние слои атмосферы, они растают, то выпадает дождь, а если не растают, то снег или град.

Облака переносятся ветрами на большие расстояния, в результате этого происходит обмен влагой между различными районами нашей планеты. Ежегодно с поверхности Земли испаряется 511 тыс. км³ воды. Попав в высокие слои атмосферы, эта огромная масса водяных паров вновь превращается в воду и выпадает на Землю в виде дождя, снега или града.

§ 21

РАБОТА ГАЗА И ПАРА ПРИ РАСШИРЕНИИ

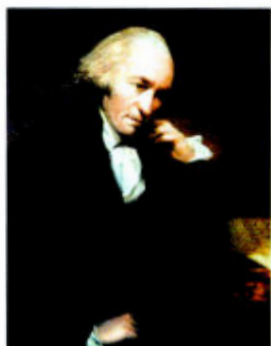


Рис. 41. Работа водяного пара, вызывающая движение пробки

Человек для облегчения своего труда изобрёл различные механизмы и машины. Среди них большое значение имеют двигатели. Широкое распространение получили тепловые двигатели.

Проделаем следующий опыт. Пробирку с водой закроем пробкой и укрепим в специальном держателе (рис. 41). Будем нагревать воду. Когда она закипит, образовавшийся пар совершит работу и выбьет пробку.

Рассмотрим энергетические преобразования, которые произошли. При сгорании спирта в нагревателе выделяется некоторое количество теплоты.



УАТТ ДЖЕЙМС

(1736—1819)

Шотландский инженер-изобретатель, усовершенствовал универсальную паровую машину

Часть этой энергии спиртовка передаёт воде. Вода в пробирке нагревается до кипения и превращается в пар. При этом затрачивается количество теплоты.

Расширяясь, пар совершает механическую работу. При этом пробке сообщается кинетическая энергия.

Можно представить процесс в виде следующей схемы:

сгорание топлива → нагревание холодной воды до кипения и образования пара → механическая работа.

Таким образом, энергия топлива сначала перешла во внутреннюю энергию пара, затем пар, расширяясь, совершил механическую работу и часть его внутренней энергии превратилась в кинетическую энергию пробки.

Очень важно отметить, что при этом:

- 1) часть энергии теряется на нагревание окружающей среды;
- 2) для передачи энергии от нагревателя воде необходимо, чтобы температура воды была ниже температуры нагревателя;
- 3) в рассмотренном опыте газ может совершить работу лишь один раз.

Для того чтобы газ мог совершать работу многократно, систему необходимо возвращать в первоначальное состояние. Если пробирку заменить металлическим цилиндром, а пробку — поршнем, хорошо пригнанным к стенкам цилиндра, то получим модель *теплового двигателя*.



Тепловой двигатель Дж. Уатта

Тепловым двигателем называют машину, в которой внутренняя энергия топлива превращается в механическую энергию.

Такой двигатель был изобретён в конце XVII в. В дальнейшем тепловой двигатель был усовершенствован *Джеймсом Уаттом*.



1. Как экспериментально подтвердить возможность совершения механической работы нагретым паром? 2. Какие превращения энергии происходят в опыте, изображённом на рисунке 41? 3. Какие двигатели называют тепловыми?



1. Какое преобразование энергии лежит в основе работы тепловых двигателей?
2. Можно ли механическую энергию полностью превратить во внутреннюю?



УПРАЖНЕНИЕ 19

- Керосин какой массы надо сжечь, чтобы выпарить 100 г воды, взятой при температуре 50 °С?

§ 22

ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Двигатель, в котором сжигание топлива происходит внутри цилиндра, где образовавшийся газ расширяется, называют *двигателем внутреннего сгорания*. К ним относятся бензиновые двигатели и дизели. Двигатели внутреннего сгорания широко используются на наземном, воздушном и водном транспорте, в сельскохозяйственной и строительной технике, электрогенераторах и др.

Исторически первыми надёжно работающими бензиновыми двигателями стали карбюраторные двигатели, появившиеся в конце XIX в. Горючая смесь в таких двигателях готовится вне цилиндра в специальном устройстве — *карбюраторе* — путём распыления бензина в потоке воздуха. В дизельных двигателях горючая смесь готовится в самом цилиндре. Первый дизельный двигатель был построен немецким инженером *Рудольфом Дизелем* в 1897 г.

Рассмотрим устройство одноцилиндрового четырёхтактного карбюраторного двигателя внутреннего сгорания (рис. 42). Двигатель состоит из цилиндра, в котором перемещается



ДИЗЕЛЬ РУДОЛЬФ

(1858—1913)

Немецкий инженер, создатель двигателя внутреннего сгорания, используемого по настоящее время

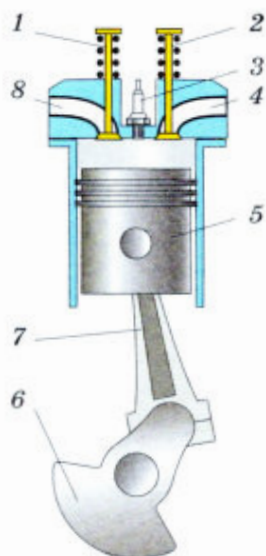


Рис. 42. Двигатель внутреннего сгорания (карбюраторный) в разрезе

поршень 5. При помощи шатуна 7 поршень соединён с коленчатым валом 6. В верхней части цилиндра имеются два клапана 1 и 2. При работе двигателя в нужные моменты клапаны автоматически открываются и закрываются. Через впускной канал 8 в цилиндр из карбюратора поступает горючая смесь, которая воспламеняется с помощью свечи 3. Через выпускной канал 4 выпускаются отработанные газы.

Рабочим циклом двигателя внутреннего сгорания называют процессы, в результате осуществления которых количество теплоты, выделяющееся при сгорании топлива, превращается в механическую работу.

В четырёхтактном карбюраторном и дизельном двигателях рабочий цикл состоит из четырёх тактов. Каждый такт совершается за поворот коленчатого вала.

Такт *впуска* (рис. 43, а). При движении поршня вниз в цилиндре под поршнем давление уменьшается. В результате этого через отверстие, открываемое впускным клапаном 1, в цилиндр поступает горючая смесь (в карбюраторных двигателях) или чистый воздух (в дизелях). Когда цилиндр заполнится горю-

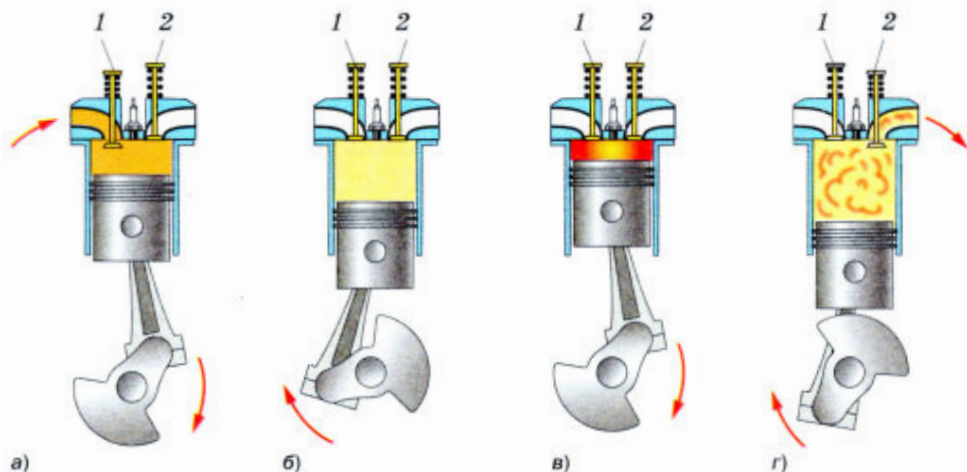


Рис. 43. Циклы работы двигателя внутреннего сгорания (карбюраторного)



Транспортные средства, в которых используется двигатель внутреннего сгорания

чей смесью или воздухом, впускной клапан закрывается.

Такт *сжатия* (рис. 43, б). Поршень движется вверх. Оба клапана (впускной и выпускной) закрыты. В результате сжатия температура рабочей смеси достигает $300\text{--}350\text{ }^\circ\text{C}$ при давлении $(6\text{--}10) \cdot 10^5$ Па, а температура воздуха в дизелях $500\text{--}600\text{ }^\circ\text{C}$ при давлении $(30\text{--}36) \cdot 10^5$ Па. К моменту приближения поршня к верхней точке между электродами свечи зажигания (в карбюраторных двигателях) проскакивает искра, и смесь загорается; в дизельных двигателях производится впрыск топлива под давлением $(120\text{--}125) \cdot 10^5$ Па. Оно быстро перемешивается с воздухом, и полученная смесь, самовоспламенившись, быстро сгорает.

Такт *расширения (рабочий ход)* (рис. 43, в). Оба клапана по-прежнему закрыты. При сгорании рабочей смеси выделяется большое количество теплоты, в результате чего происходит расширение газов, сопровождающееся резким повышением температуры (до $1800\text{--}2000\text{ }^\circ\text{C}$ в карбюраторных и $1600\text{--}1800\text{ }^\circ\text{C}$ в дизельных двигателях) и давления (до $(20\text{--}35) \cdot 10^5$ Па в карбюраторных и $(45\text{--}80) \cdot 10^5$ Па в дизельных двигателях). Расширяясь, газы толкают поршень и вместе с ним коленчатый вал, совершая механическую работу. При этом газы охлаждаются, так как часть их внутренней энергии превращается в механическую энергию. Поршень под действием силы давления газов перемещается вниз.

Такт *выпуска* (рис. 43, г). Открывается выпускной клапан, и начинается выпуск отработанных газов. Давление газов в цилиндре в течение всего такта находится в пределах $(1,05\text{--}1,15) \cdot 10^5$ Па. Отработанные газы вытесняются поршнем в атмосферу. После этого цикл повторяется.

Обычно в автомобилях используют двигатели из четырёх цилиндров, в каждом из которых поочерёдно происходит рабочий ход.

Поршни всех цилиндров вращают один общий коленчатый вал. Существуют двигатели, имеющие 6, 8 и даже более цилиндров. В таких двигателях обеспечивается бóльшая равномерность вращения вала, и они являются более мощными.

В современных бензиновых автомобильных двигателях карбюраторные системы подачи топлива уступили место более совершенным инжекторным системам. При этом подача топлива в цилиндры производится путём впрыска с помощью специальных форсунок, а дозирование осуществляется электронным блоком управления.

Дизели из-за их массивности долгое время использовали в основном на судах, тракторах, грузовых автомобилях, автобусах. В настоящее время созданы компактные дизельные двигатели и для легковых автомобилей. Сегодня в России около 5% парка легковых автомобилей оснащены дизельными двигателями. По сравнению с бензиновыми двигателями в выхлопе дизелей, как правило, меньше угарного газа, но больше сажи и оксидов азота.



1. Какой двигатель называют двигателем внутреннего сгорания?
2. Пользуясь моделью простейшего двигателя внутреннего сгорания (см. рис. 42), расскажите, из каких основных частей он состоит.
3. За сколько тактов происходит один рабочий цикл двигателя? Сколько оборотов делает при этом коленчатый вал двигателя?
4. Опишите процессы, происходящие в двигателе в течение каждого из четырёх тактов. Как называют эти такты?
5. Каковы различия в работе карбюраторного и дизельного двигателей?



1. Почему в четырёхтактном двигателе внутреннего сгорания лишь один такт называют рабочим ходом?
2. Какие энергетические преобразования происходят в процессе такта расширения?
3. Зачем на ось коленчатого вала двигателя насаживают маховик (тяжёлый сплошной диск)?
4. Во время образования горючей смеси в карбюраторе температура понижается. Какова причина?

Паровые турбины (от лат. *turbo* — вихрь), наряду с двигателями внутреннего сгорания, являются самыми распространёнными типами тепловых двигателей. В наши дни паровые турбины стали основным агрегатом тепловых и атомных электростанций. Они также используются на морских и речных судах в качестве двигателей.

В паровой турбине сначала внутренняя энергия нагретого пара переходит в кинетическую энергию потока пара, а затем в механическую энергию вращающейся турбины.

Рассмотрим устройство и принцип работы паровой турбины (рис. 44). Нагретый в котле водяной пар 3 поступает в трубки — сопла 1. Форма трубок такова, что скорость пара в них увеличивается, а его температура при движении по трубке уменьшается. Таким образом, кинетическая энергия потока пара увеличивается за счёт его внутренней энергии.

Поток пара направляется на лопатки 2, закреплённые по ободу диска 4. Диск насажен на вал 5 и может вращаться. Быстро движущийся пар оказывает мощное давление на лопатки и заставляет вращаться диск турбины. Так кинетическая энергия потока пара превращается в кинетическую энергию вращения турбины.

На электростанциях с турбиной соединён генератор электрического тока. Для выработки электрической энергии необходимо, чтобы ротор (вращающаяся часть) генератора вращался с частотой 3000 оборотов в минуту. Именно такую частоту могут обеспечить паровые турбины. В зависимости от назначения мощность паровых турбин может быть разной: от нескольких киловатт до 1 200 000 кВт. КПД современных турбоагрегатов может достигать 40—50%.

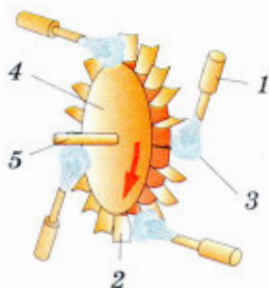


Рис. 44. Схема паровой турбины



Ротор паровой турбины

Над усовершенствованием конструкции паровой турбины работали в разное время учёные и инженеры многих стран. Так, шведский инженер *Густав де Лаваль* (1845—1913) в 1890 г. предложил конструкцию сопла, позволяющего получать сверхзвуковые скорости пара. Это сопло используется и в настоящее время и называется сопло Лавалья. А английский механик *Чарлз Парсонс* (1854—1931) в 1885 г. запатентовал многоступенчатую турбину. В настоящее время турбины Парсона являются основными двигателями электростанций.



1. Какие превращения энергии происходят в паровой турбине?
2. В чём различие в устройстве турбин и поршневых машин?
3. Из каких частей состоит паровая турбина и как она работает?

Это любопытно...

Из истории тепловых двигателей

В III в. до нашей эры греческий математик и механик *Архимед* построил пушку, которая стреляла с помощью пара. Рисунки пушки Архимеда и её описание были найдены спустя 18 столетий в рукописях *Леонардо да Винчи*. Как же стреляла эта пушка? Один конец ствола сильно разогревали на огне. Затем в нагретую часть ствола наливали воду. Она мгновенно испарялась и превращалась в пар. Пар, расширяясь, с силой и грохотом выбрасывал ядро. Ствол пушки представлял собой цилиндр, по которому, как поршень, скользило ядро.



Рис. 45. Геронов шар

Тремя столетиями позже *Герон Александрийский* описал прибор, который сейчас называют Героновым шаром (рис. 45). Он представляет собой полый железный шар, закреплённый так, что может вращаться вокруг горизонтальной оси. Из закрытого котла с кипящей водой пар по трубке поступает в шар и через изогнутые трубки вырывается наружу. При этом шар приходит во вращение. Внутренняя энергия пара превращается в механическую. Геронов шар — прообраз реактивных двигателей.

Через 16 столетий, в 1629 г., итальянский учёный *Джованни Бранка* описал двигатель, в котором ис-

ет, что механическая работа, совершаемая двигателем, не может быть больше энергии, полученной от нагревателя. Часть энергии рабочее тело отдаёт холодильнику.

Обозначим количество теплоты, полученное от нагревателя, Q_1 , количество теплоты, получаемое холодильником от рабочего тела, Q_2 , работу, совершённую двигателем, A . Тогда $A = Q_1 - Q_2$.

Отношение совершённой двигателем работы к количеству теплоты, выделившемуся при сгорании топлива, называют коэффициентом полезного действия теплового двигателя (КПД).

$$\eta = \frac{A}{Q_1}$$

Коэффициент полезного действия обозначают греческой буквой η («эта»).

КПД теплового двигателя рассчитывают по формуле:

$$\eta = \frac{A}{Q_1}, \text{ или}$$

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\%.$$

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\%$$

Так как некоторое количество теплоты рабочее тело передаёт холодильнику, то $A < Q_1$ и коэффициент полезного действия всегда меньше единицы. Часто его выражают в процентах, тогда говорят, что КПД меньше 100%. Например, КПД бензинового двигателя составляет 20—25%, дизеля — 35%.



1. Почему в тепловых двигателях только часть энергии топлива идёт на совершение механической работы? **2.** Что называют КПД теплового двигателя? **3.** Почему КПД двигателя меньше 100%?



1. Можно ли внутреннюю энергию полностью превратить в механическую?

2. Приведите примеры известных вам тепловых двигателей. Что служит в этих двигателях нагревателем; холодильником? Что используется в качестве рабочего тела?



УПРАЖНЕНИЕ 20

1. Количество теплоты, полученное рабочим телом теплового двигателя от нагревателя, равно 35 кДж. За то же время холодильнику было передано 75% полученной энергии. Найдите КПД двигателя и совершённую им работу.
2. Тепловой двигатель с КПД 12% совершает за цикл работу 150 Дж. Определите количество теплоты, отданное за цикл холодильнику.
3. Количество теплоты, отданное в атмосферу тепловым двигателем за один цикл, равно 15 кДж. КПД двигателя 15%. Определите количество теплоты, полученное за цикл от нагревателя.

Это любопытно...

Загрязнение окружающей среды

Ускоренное развитие техники выдвинуло на первый план проблему влияния человека на среду его обитания. От правильного и своевременного решения вопроса охраны окружающей среды во многом зависят здоровье и благосостояние людей, живущих на Земле сейчас, и их потомков.

Научно-техническая революция и её достижения способствуют развитию общества и каждой личности. А это, в свою очередь, открывает широкий простор для дальнейшего развития промышленности, транспорта и других областей экономики. Но этот процесс имеет свои отрицательные стороны.

Во многих городах мира существенно загрязняют атмосферу выбросы вредных веществ двигателями автомобилей. Например, вблизи основных магистралей концентрация оксида углерода превышает допустимую в 2—10 раз, оксидов азота — почти в 16 раз. Это приводит к тому, что люди, живущие в домах, расположенных в 10—50 м от проезжей части крупных дорог, в несколько раз чаще болеют раком.

Пагубное влияние на окружающую среду также оказывает избыточное сжигание горючего неотрегулированными и неисправными двигателями автомобилей.

К экологическим катастрофам ведёт и утечка топлива из транспортных средств. Известны многочисленные аварии, происходящие с танкерами ёмкостью 100 т и более, в результате которых в Мировой океан попадает большое количество нефтепродуктов. Содержание нефтепродуктов, например, в Чёрном море в 2 раза выше нормы. Такое загрязнение приводит к тому, что гибнут ценные породы рыб, умирает растительность побережья, что пагубно отражается на здоровье людей.

Вред окружающей среде наносят и существующие тепловые электростанции. Их эксплуатация связана со значительными выбросами в окру-

жающую среду твёрдых, жидких и газообразных веществ. В промышленных районах обостряется проблема защиты атмосферы от продуктов сгорания органического топлива (золы, оксидов серы, окиси углерода, сажи, углеводородов и азота). Глобальное изменение климата нашей планеты связывают с воздействием энергетики на окружающую среду.

Меры по борьбе с загрязнением окружающей среды

Человечество стоит перед проблемой сохранения биосферы и окружающей среды. Для нормальной жизни надо иметь чистую воду, чистый воздух, здоровую пищу и соседство всего живого: растений, птиц, зверей. Без этого человеческая жизнь невысказима. Естественно, что будущее человечества — за прогрессом. Но этот прогресс должен осуществляться не за счёт природы. Приемлемы только природосберегающие технологии. Рассмотрим некоторые из них, направленные на уменьшение загрязнения окружающей среды выбросами автомобильных двигателей.

Большое преимущество даёт применение газового топлива вместо бензина: в 2—3 раза снижается расход топлива, резко уменьшается токсичность отработанных газов, добыча газа требует меньших трудовых и материальных затрат, при его использовании увеличивается срок службы двигателя, свечей зажигания. Перспективными в экологическом плане являются двигатели, работающие на водороде. Высокая теплотворная способность водорода, отсутствие вредных выбросов (при сгорании образуется лишь водяной пар) делают водород перспективным и экологически самым чистым видом топлива. Большое будущее и за электромобилями, которые уже появились на дорогах во многих странах.

Подводя итог всему сказанному, можно сделать следующий вывод. Если раньше природа могла самовосстанавливаться, то в эпоху научно-технических революций такое самовосстановление невозможно. Человек должен помогать природе восстанавливать её ресурсы.

ИТОГИ ГЛАВЫ

Вы узнали, что характеризует температура и как её измерить, что такое количество теплоты и от чего оно зависит. Понимаете, что такое внутренняя энергия и как её изменить, от чего зависит влажность воздуха, чем отличается насыщенный пар от ненасыщенного.

Можете применить закон сохранения энергии к тепловым процессам, объяснить, чем

различаются теплопроводность, конвекция и излучение. Умеете рассчитать количество теплоты, полученное и отданное телом в различных тепловых процессах, определить влажность воздуха.

ОБСУДИМ?

Прочитайте описание опыта, взятого из популярного в XIX в. учебника физики известного педагога К. Д. Краевича.

«Если нагретое до некоторой температуры (например, до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$) тело *a* (например, стограммовую медную гирьку) поместить в углубление, сделанное в куске льда *A* и закрываемое другим куском льда *B*, то тело будет охлаждаться, уступая свою теплоту льду и превращая его в воду. Через некоторое время тело примет температуру растаявшей воды и льда, т. е. $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, и дальнейшее таяние прекратится. Вода может быть собрана губкою, и количество образовавшейся воды определено взвешиванием; оно может служить мерою той теплоты, которую тело потеряло, охладившись от 50 до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, и которую надо ему сообщить, чтобы нагреть его от 0 до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ».

Ледяной калориметр обладает рядом преимуществ по сравнению с другими калориметрами. Главное из них — это практически полное отсутствие рассеяния тепла в окружающую среду.

Как, используя данный эксперимент, определить удельную теплоёмкость меди?



ПРОЕКТЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ

1. «Ледяной калориметр» (возможная форма: презентация, опыт, макет).
2. «Опыт Франклина по изучению излучения и поглощения энергии сукном разного цвета» (возможная форма: презентация, опыт, реферат).
3. «Моя умная теплица» (возможная форма: презентация, реферат, макет).

Глава 2

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 25

ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ТЕЛ ПРИ СОПРИКОСНОВЕНИИ. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ТЕЛ



Электризация волос

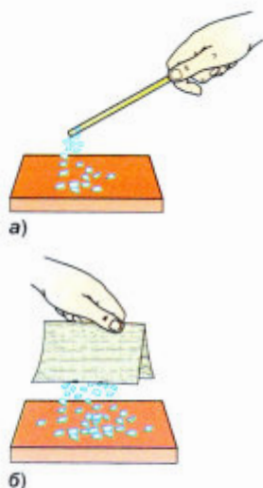


Рис. 46. Электризация трением

Вы не раз встречались с электрическими явлениями в повседневной жизни. Вспомните, как проскакивают искры, когда вы снимаете шерстяной свитер в тёмной комнате. При этом слышно характерное потрескивание. При расчёсывании волос пластмассовой расчёской можно видеть, как волосы прилипают к ней.

Аналогичные явления наблюдали ещё древние греки. Они обнаружили, что если потереть янтарь о шерсть, то к нему начинают прилипать мелкие предметы. Слово «янтарь» по-гречески «электрон». Поэтому явление, возникающее при трении двух разнородных твёрдых тел, было названо *электризацией*. Слово «электрон» стало родоначальником целой серии терминов: электрон, электричество, электрический заряд, электрический ток и т. п.

Для того чтобы выяснить суть явления электризации, сделаем несколько опытов. Возьмём стеклянную палочку. Потрём её листом бумаги и поднесём к мелким кусочкам бумаги. Мы увидим, что палочка будет притягивать к себе мелкие бумажки (рис. 46, а). Аналогичный опыт вы можете проделать с пластмассовой линейкой, ручкой.

При трении *электризуются оба тела*. В этом легко убедиться на опыте. Если потереть о шерсть эбонитовую палочку, наэлектризуется не только сама палочка, но и кусочек шерсти, который тоже будет притягивать маленькие кусочки бумаги (рис. 46, б).

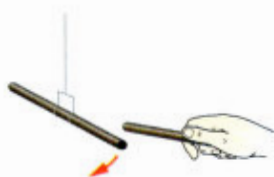


Рис. 47. Отталкивание наэлектризованных эбонитовых палочек

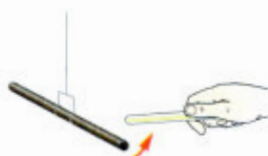


Рис. 48. Притяжение наэлектризованных эбонитовой и стеклянной палочек

Выясним, как взаимодействуют наэлектризованные тела. Для этого наэлектризуем две эбонитовые палочки, потерев их о шерсть. Подвесим одну палочку на нити и поднесём к ней другую (рис. 47). Палочка на нити повернётся, оттолкнувшись от неподвижной палочки. Если же к подвешенной эбонитовой палочке поднести стеклянную палочку, потёртую о шёлк, то эбонитовая палочка к ней притянется (рис. 48).

Взаимодействие наэлектризованных тел было названо *электрическим*. Опыты показывают, что интенсивность такого взаимодействия может быть разной. Свойство тел, от которого зависит сила электрического взаимодействия, характеризуется физической величиной — *электрическим зарядом*. Электрический заряд обозначают буквой q и измеряют в *кулонах* (Кл). Единица заряда названа в честь французского физика *Шарля Кулона*. Определение кулона мы дадим позже.

Теперь мы можем пояснить, что при электризации тела приобретают электрический заряд. Электризация может происходить не только при трении тел друг о друга, но и при соприкосновении, и другими способами.

Электризация — это сообщение телу электрического заряда.

Опыты с различными наэлектризованными телами показывают, что тела делятся на две группы. В каждой из этих групп любые два тела взаимно отталкиваются, в то же время любые два тела из разных групп взаимно притягиваются. Это означает, что существует *два рода электрических зарядов*. Условились считать, что стеклянная палочка, потёртая о шёлк, имеет заряд *положительного* знака. Эбонитовая палочка, потёртая о мех, — *отрицательного*. Одни тела электризуются так, как стеклянная палочка (действуют на дру-



КУЛОН ШАРЛЬ ОГЮСТЕН

(1763—1806)

Французский физик, военный инженер. Изобрёл прибор для установления основных законов электрического и магнитного взаимодействий

гие наэлектризованные тела так, как эта палочка), т. е. приобретают положительный заряд. Другие — как эбонитовая палочка, т. е. приобретают отрицательный заряд.

Таким образом, опыты показывают, что тела, имеющие электрические заряды одинакового знака, взаимно отталкиваются, а тела, имеющие заряды противоположного знака, взаимно притягиваются.



1. Как при помощи листочков бумаги обнаружить, наэлектризовано ли тело? 2. Как взаимодействуют друг с другом две одинаковые палочки, наэлектризованные одинаковым способом? 3. Какие два вида электрических зарядов существуют в природе? 4. Как взаимодействуют тела, имеющие заряды одного знака; разного знака?



1. Если ножовкой распиливать лист плексигласа или полистирола, то опилки, образующиеся в процессе распиловки, прилипают к ножовке. Как можно объяснить это явление?

2. На тонких шелковых нитях подвешены два одинаковых шарика: один заряженный, второй незаряженный. Предложите способ определения, какой шарик заряжен, а какой нет.



УПРАЖНЕНИЕ 21

1. На рисунке 49 показано взаимодействие заряженных тел. Найдите ошибки в рисунке.

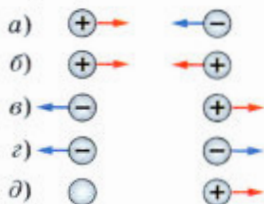


Рис. 49

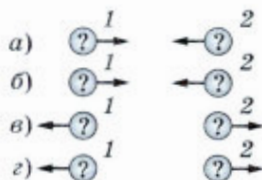


Рис. 50

2. Рассмотрите рисунок 50. Считая, что все тела 1 и 2 заряжены, определите знаки зарядов тел в каждом случае.

Это любопытно...

Солнечный камень

Древние греки очень любили украшения из янтаря, названного ими за цвет и блеск «электрон», что означает «солнечный камень». Отсюда про-

изошло и слово «электричество». Способность янтаря электризоваться была известна давно.

Впервые исследованием этого явления занялся знаменитый философ **Фалес Милетский**. Вот как об этом рассказывает легенда. Дочь Фалеса пряла шерсть янтарным веретеном, изделием финикийских мастеров. Как-то, уронив веретено в воду, девушка стала обтирать его краем своего шерстяного хитона и заметила, что к веретену пристало несколько ворсинок. Думая, что они прилипли к веретену, потому что оно всё ещё влажное, она принялась вытирать его ещё сильнее. И что же? Шерстинок налипало тем больше, чем сильнее она натирала веретено. Девушка обратилась за разъяснением этого явления к отцу. Фалес понял, что причина в веществе, из которого сделано веретено. Он купил у финикийских купцов различные янтарные изделия и убедился, что все они, будучи натёрты шерстяной материей, притягивают лёгкие предметы.

§ 26

ЭЛЕКТРОСКОП. ПРОВОДНИКИ И НЕПРОВОДНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Вы знаете, что эбонитовая палочка, потёртая о шерсть, приобретает отрицательный заряд. Касаясь изготовленной из металлической фольги гильзы эбонитовой палочкой, сообщим ей отрицательный заряд (рис. 51, *а*). Проверим это, поднеся к гильзе стеклянную палочку, потёртую о шёлк. Так как стеклянная палочка

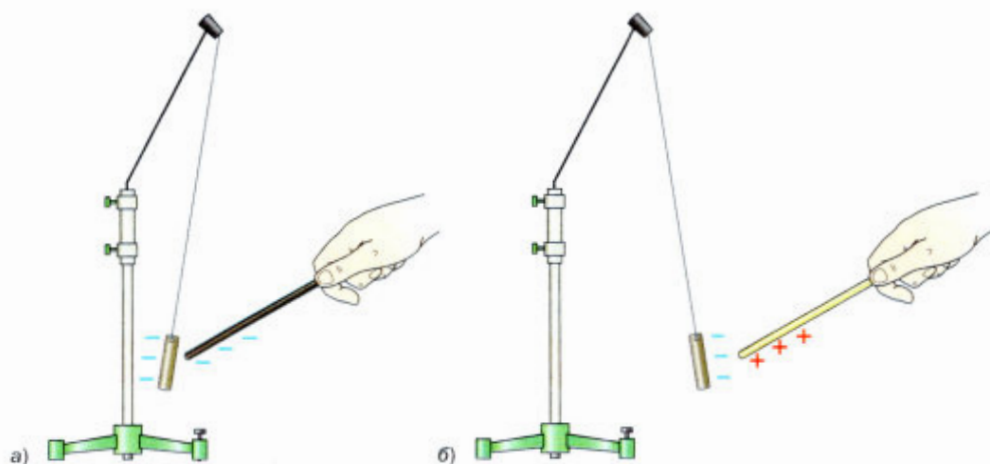


Рис. 51. Электризация гильзы из металлической фольги

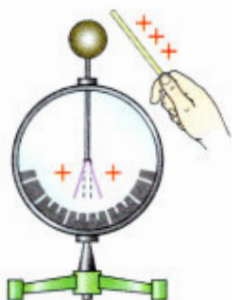


Рис. 52. Обнаружение заряда с помощью электроскопа



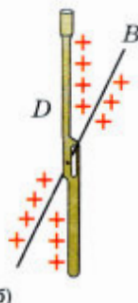
Электроскоп

заряжена положительно, то притяжение гильзы указывает на её отрицательный заряд (рис. 51, б). Значит, эбонитовая палочка действительно зарядила гильзу отрицательно. Следовательно, при соприкосновении происходит передача электрического заряда от одного тела к другому.

Для проведения экспериментов нужен прибор, который бы показывал, имеет ли данное тело электрический заряд и как он изменяется в различных процессах. Какое свойство заряженных тел можно использовать для этого? Воспользуемся свойством одноимённо заряженных тел отталкиваться друг от друга. Внутри стеклянной колбы (банки) поместим металлический стержень, на нижнем конце которого прикрепим две металлические ленты или бумажные полоски. Если верхнего конца стержня коснуться заряженной палочкой, то он зарядится, и листочки в колбе разойдутся (рис. 52). Такой прибор называют *электроскопом*.

Свойство одноимённо заряженных тел отталкиваться используется и в приборе, который называют *электрометром* (рис. 53). Основные элементы прибора — лёгкая подвижная стрелка и стержень. Стержень вставлен через пластмассовую пробку в металлический кожух, к нему прикрепляется металлический шар. Если к шару прикоснуться заряженным телом, то шар, а также стрелка и стержень электрометра зарядятся. Поскольку стрелка и

Рис. 53. Электрометр:
а — внешний вид;
б — механизм зарядки



стержень заряжаются одноимённо, то стрелка оттолкнётся от стержня и повернётся на некоторый угол. Причём чем больше заряжено тело, тем больший заряд оно сообщит стержню и стрелке и тем больше будет угол отклонения стрелки. Таким образом, по отклонению стрелки можно судить о том, заряжено тело или нет, а по углу отклонения — о величине заряда тела.

Для того чтобы разрядить электрометр, можно соединить его проволокой с землёй или прикоснуться к нему рукой. Через проволоку или тело человека заряд электрометра передаётся Земле (поскольку размеры Земли огромны, заряд передаётся полностью). Значит, существуют вещества, передающие заряд, — **проводники**.

Примерами проводников являются металлы и электролиты (растворы и расплавы кислот, солей и щелочей).

Если же заряженный электрометр соединить с землёй стержнем из стекла, то он не разрядится. Таким образом, существуют вещества, не передающие заряд, — **диэлектрики**.

К диэлектрикам относят фарфор, эбонит, стекло, янтарь, резину и т. п. Тела, изготовленные из диэлектриков, называют **изоляторами**.

Существуют вещества, занимающие промежуточное положение между проводниками и диэлектриками. Их называют **полупроводниками**. Способность этих веществ передавать электрический заряд зависит от внешних условий: температуры, освещённости и др.

Типичные широко применяемые полупроводники — германий и кремний. В обычных условиях они являются диэлектриками, а, например, при нагревании становятся проводниками.



Проводник (железо)



Диэлектрик (янтарь)



Полупроводник (германий)



1. Каков принцип действия электроскопа? 2. Что общего у электроскопа и электрометра и каковы различия между ними? 3. По какому

признаку вещества делятся на проводники, диэлектрики и полупроводники? Приведите примеры веществ каждого типа.



Два лёгких изолированных металлических шарика, заряженных положительно, подвешены на одинаковых шёлковых нитях в одной точке. Что произойдёт, если прикоснуться рукой к одному из шариков? Обоснуйте свой ответ.



ЗАДАНИЕ



- Как при помощи электроскопа определить знак заряда авторучки, потёртой о ткань, используя положительно заряженную палочку? Проведите предложенный эксперимент.

§ 27

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Вы уже знаете, что наэлектризованные тела взаимодействуют друг с другом: они либо притягиваются друг к другу, либо отталкиваются друг от друга. Причём опыт показывает (см., например, рис. 47, 48, 51), что взаимодействие заряженных тел происходит на расстоянии без их соприкосновения.

Электрическое взаимодействие в этом отношении похоже на всемирное тяготение. Ведь планеты, Солнце, Земля и другие небесные тела притягиваются друг к другу не соприкасаясь.

Как же взаимодействуют заряженные тела? Одно время учёные считали, что тела действуют друг на друга непосредственно через пустоту, способны «чувствовать» присутствие друг друга без какой-либо среды.

Русский учёный *Георг Рихман* (1711—1753) в результате исследований электрического взаимодействия выдвинул гипотезу о существовании электрического поля. В работе «Рассуждения об указателе электричества и о пользовании им при исследовании искусственного и естественного электричества» он писал: «...электрическая материя, неким движе-

нием возбуждаемая вокруг тела, по необходимости должна опоясывать его на некотором расстоянии; на меньшем расстоянии от поверхности тела действие её бывает сильнее; следовательно, при увеличении расстояния сила её убывает по некоторому, пока ещё неизвестному закону».

Представления Рихмана об электрическом поле получили дальнейшее развитие в трудах английских физиков *Майкла Фарадея* (1791—1867) и *Джеймса Максвелла* (1831—1879). Согласно их учению, любое заряженное тело создаёт вокруг себя *электрическое поле*.

Главное свойство электрического поля — действие на тела, обладающие электрическим зарядом, с некоторой силой.

Силу, действующую на заряженное тело со стороны электрического поля, называют *электрической силой*.

Если помещать в одну и ту же точку электрического поля небольшие тела с разными зарядами, то на них будут действовать разные электрические силы. При этом опыты показывают, что электрическая сила прямо пропорциональна заряду тела. Следовательно, отношение электрической силы к заряду тела во всех случаях одинаково и является характеристикой электрического поля. Эту физическую величину называют *напряжённостью электрического поля*.

Напряжённость электрического поля — это физическая величина, равная отношению электрической силы, действующей на помещённое в электрическое поле заряженное тело, к заряду тела.

Напряжённость обозначают буквой E . В СИ её единица — *ньютон на кулон* $\left(\frac{\text{Н}}{\text{Кл}}\right)$.

Напряжённость электрического поля — *векторная величина*. Она направлена так же, как

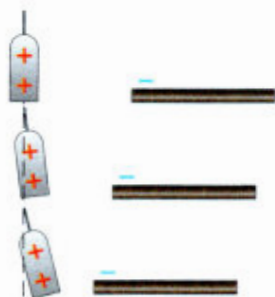


Рис. 54. Зависимость действия электрического поля от расстояния до заряда

электрическая сила, действующая на положительно заряженное тело.

Выясним, как действие электрического поля на тело, а значит, и напряжённость электрического поля, зависят от расстояния до заряженного тела, создающего поле. Для этого проделаем следующий опыт. Подвесим на нити гильзу из металлической фольги и сообщим ей наэлектризованной стеклянной палочкой положительный электрический заряд. Поднесём к гильзе отрицательно заряженную палочку. Исследуем действие электрического поля, создаваемого отрицательно заряженной палочкой, на заряженную гильзу. Опыт показывает, что чем ближе подносим палочку к гильзе, тем сильнее гильза притягивается к ней (рис. 54). Это означает, что действие электрического поля и напряжённость электрического поля увеличиваются при приближении к заряженному телу, создающему поле. Заметим, что рассмотренные опыты подтверждают гипотезу Рихмана, выдвинутую им ещё в XVIII в.

Электрическое поле обладает энергией, так как оно способно совершать работу. Действительно, поскольку на любое заряженное тело, находящееся в электрическом поле, действует сила, значит, при перемещении тела полем совершается работа.



1. Опишите опыт, который показывает, что электрическое взаимодействие передаётся без соприкосновения заряженных тел. **2.** Что является источником электрического поля? **3.** Как можно экспериментально обнаружить электрическое поле? **4.** Какая физическая величина является характеристикой электрического поля? Каков её физический смысл? **5.** Какова единица напряжённости электрического поля? **6.** Как опытным путём определить направление напряжённости электрического поля?



1. Предложите эксперименты, подтверждающие гипотезу Рихмана об электрическом поле.

2. Как определить направление электрической силы, действующей на отрицательно заряженное тело в электрическом поле, если известно направление напряжённости этого поля?



ЗАДАНИЕ

1. Составьте план эксперимента, доказывающего, что электрическое поле обладает энергией.
2. Как изменяется сила, действующая на заряженную гильзу при удалении её от заряженного тела? Как это показать на опыте?

§ 28

ДЕЛИМОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА. ЭЛЕКТРОН

При электризации тела получают различные электрические заряды. Чем больший заряд имеют тела, тем сильнее они взаимодействуют: притягиваются или отталкиваются. Что происходит при электризации? Для ответа на этот вопрос вспомним, что наименьшими частицами вещества являются атомы и молекулы, которые электрически нейтральны (их заряд равен нулю). Можно предположить, что в природе существуют частицы, имеющие электрический заряд. Тогда электризацию можно объяснить переходом заряженных частиц от одного тела к другому. В этом случае должен существовать предел деления электрического заряда и минимальный электрический заряд.

Возможность наблюдать деление электрического заряда учёные получили после изобретения уже известного вам электроскопа английским учёным **Уильямом Гильбертом** (1544—1603) в 1600 г.

Прделаем опыт по делению заряда. Нам понадобятся два одинаковых электрметра. Зарядим один электрметр (рис. 55). Затем соединим его металлическим стержнем с другим, незаряженным электрметром (рис. 56). Часть заряда с первого электрметра перейдёт на

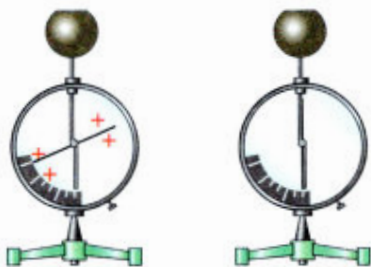


Рис. 55. Зарядка электрметра

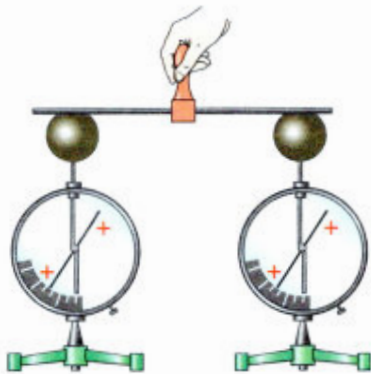


Рис. 56. Делимость электрического заряда



ИОФФЕ АБРАМ ФЁДОРОВИЧ

(1880—1960)

Советский физик, академик. Создатель российской научной школы. Проводил исследования по измерению заряда электрона



МИЛЛИКЕН РОБЕРТ

(1868—1953)

Американский физик-экспериментатор. Опытным путём доказал существование частиц с наименьшим электрическим зарядом. Лауреат Нобелевской премии

второй. Так как электрометры одинаковы, то *первоначальный заряд поделится на две равные части.*

Разрядим один из электрометров и повторим опыт. Обнаружим, что заряд снова поделится пополам, и на каждом электрометре оказалось по $\frac{1}{4}$ от первоначального заряда. Так можно делить заряд много раз. Если существует наименьший заряд, то должен быть предел деления заряда. Это значит, что если заряд одного электрометра равен минимальному, то при соединении его с другим электрометром заряженным будет только один из них.

Более сложные опыты по делению электрического заряда были проведены в 1910—1911 гг. практически одновременно советским учёным **Абрамом Фёдоровичем Иоффе** и американским учёным **Робертом Милликеном**. Они обнаружили, что *электрический заряд может меняться только порциями.* Такое свойство называют *дискретностью заряда*. Это значит, что в природе существует частица, имеющая самый маленький электрический заряд. Носитель наименьшего по модулю отрицательного заряда — *электрон*. Экспериментально электрон был открыт в 1897 г. английским физиком **Джозефом Джоном Томсоном** (1856—1940).

Заряд электрона принято обозначать буквой e , он равен $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Частиц с зарядом меньшим по модулю, чем заряд электрона, в природе не обнаружено. Масса электрона равна $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

Заряды q любых частиц или тел оказываются либо равными, либо кратными заряду электрона.

$$q = Ne,$$

где N — целое число.



1. Опишите опыт, который показывает, что электрический заряд делится на части.
2. Имеет ли электрический заряд предел делимости?
3. Что такое электрон? Что вы знаете о его заряде и массе?

§ 29

СТРОЕНИЕ АТОМА

В 7 классе вы узнали, что молекулы и атомы, из которых состоят тела, взаимодействуют друг с другом. Эти частицы могут как притягиваться, так и отталкиваться.

Чем же объясняется взаимодействие атомов? Может быть, это проявление сил всемирного тяготения? Расчёты показывают, что эти силы слишком малы, чтобы быть заметными, из-за малой массы частиц. Кроме того, силой всемирного тяготения нельзя объяснить отталкивание частиц. Значит, существуют ещё какие-то силы, заставляющие взаимодействовать атомы и молекулы. И зависят эти силы не от масс атомов, а, возможно, от их внутреннего строения.

Долгое время считалось, что атом — неделимая частица. По мере развития физики учёные всё больше сомневались в неделимости атома и пытались разгадать его строение.

Опыты Томсона показали, что в состав атомов входят отрицательно заряженные частицы — электроны. Однако атом электрически нейтрален. Иначе, если бы атом имел даже очень маленький заряд, то все окружающие тела, состоящие из огромного числа атомов, обладали бы очень большими зарядами. Они постоянно взаимодействовали бы друг с другом, чего не происходит. Значит, внутри атома имеется и положительный заряд.

В 1911 г. английский физик *Эрнест Резерфорд* (1871—1935) на основании результатов проведённых опытов предложил *планетарную модель атома*. По Резерфорду, практически вся масса атома сосредоточена в его ядре; вокруг ядра на разных расстояниях от него вращаются электроны. Ту часть атома,

где находятся электроны, называют *электронной оболочкой*.

Модель атома, предложенная Резерфордом, напоминает Солнце с планетами, поэтому её и называют планетарной. Электроны имеют отрицательный заряд, а ядро — положительный, поэтому электроны не улетают от ядра.

А как устроено ядро? Ядро, так же как и сам атом, имеет сложную структуру. Оно состоит из частиц — *нейтронов* и *протонов* (их называют нуклонами). *Протоны заряжены положительно, а нейтроны не имеют электрического заряда (нейтральные)*. Что же удерживает нуклоны в ядре, ведь одноимённо заряженные протоны отталкиваются друг от друга? Нуклоны связаны между собой ядерными силами, которые примерно в 100 раз больше электрических. (Более подробно о ядерных силах вы узнаете в 11 классе.)

Протон был открыт в 1919 г. Резерфордом. Современные эксперименты показывают, что абсолютные значения (модули) зарядов протона и электрона совпадают. Электрический заряд протона, так же как и электрона, — неотъемлемое его свойство, т. е. заряд нельзя отделить от протона или электрона.

Число протонов в ядре атома равно числу электронов в атоме, поэтому атом электрически нейтрален.

На рисунке 57 изображены в качестве примера модели атомов водорода, гелия и лития. Атомы различных элементов отличаются друг от друга количеством протонов и электронов.

Протон имеет относительно большую массу, примерно в 1836 раз больше массы электрона. Протон и нейтрон имеют почти одинаковую массу. Таким образом, основная масса любого атома сосредоточена в ядре.

Если из атома удалить один или несколько электронов, то у образовавшейся частицы будет избыток положительного заряда. Такую частицу называют *положительным ионом* (рис. 58, а).

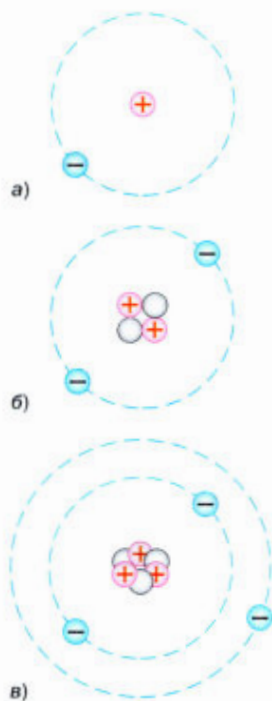


Рис. 57. Модели атомов: а — водорода; б — гелия; в — лития

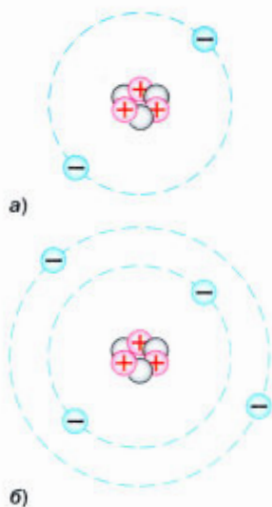


Рис. 58. Ион лития:
 а — положительный;
 б — отрицательный

Атом, присоединивший дополнительный электрон, становится **отрицательным ионом** (рис. 58, б), так как приобретает отрицательный заряд. Число протонов в каждом случае не меняется. *Заряд ядра (число протонов) — главная характеристика данного химического элемента.*

Вернёмся теперь к вопросу о взаимодействии атомов (молекул), который был задан в начале параграфа. Оказывается, природа этого взаимодействия электрическая. Хотя в целом атомы нейтральны, на малых расстояниях между ними действуют электрические силы. Это происходит из-за взаимодействия электронов и ядер, принадлежащих соседним атомам. На расстояниях в 2—3 атомных диаметра между атомами преобладают силы притяжения, а на очень малых расстояниях, когда их электронные оболочки перекрываются, — силы отталкивания.



1. Опишите планетарную модель атома на примере атома гелия.
2. Какие частицы входят в состав ядра? 3. Каково строение атомов водорода, гелия и лития? 4. Как образуются положительные и отрицательные ионы? 5. Что является главной характеристикой данного химического элемента?



Чем отрицательный ион отличается от электрона?



УПРАЖНЕНИЕ 22

1. Нарисуйте схематически строение атома бериллия, в ядре которого 4 протона и 5 нейтронов.
2. Диаметр ядра атома водорода 10^{-15} м, а диаметр атома 10^{-10} м. Во сколько раз атом водорода больше своего ядра?
3. Притягиваются или отталкиваются два электрона?
4. Может ли какая-либо частица иметь заряд, превышающий заряд электрона в 2,5 раза?
5. Ядро атома кислорода содержит 8 протонов. Каков заряд ядра атома кислорода? Сколько электронов содержит атом кислорода?
6. От атома углерода отделился один электрон. Как называют образовавшуюся частицу? Каков её заряд?

О структуре атома

Для того чтобы хоть немного ощутить структуру атома, представьте себе, что, например, ядро атома водорода увеличилось до размеров самого атома. Тогда диаметр макового зёрнышка оказался бы равным длине футбольного поля.

Атом почти пустой. Если бы этой пустоты не было и ядра атомов оказались расположенными рядом друг с другом, то масса макового зёрнышка была бы миллион тонн. В природе есть космические объекты, кусочек вещества которых размером с маковое зёрнышко имеет такую массу. Называют такие объекты нейтронными звёздами.

§ 30

ОБЪЯСНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА

В предыдущем параграфе вы познакомились со строением атома. Вам уже известно, что электрон не покидает самопроизвольно атом, так как его удерживают силы притяжения положительно заряженного ядра. Ядра различных веществ состоят из разного количества протонов, поэтому силы притяжения электронов к ядрам у разных веществ различны.

При соприкосновении двух разнородных твёрдых тел силы притяжения электронов внешних оболочек к своим ядрам у одного тела могут оказаться меньше, чем их силы притяжения к ядрам другого тела. И тогда электроны в местах соприкосновения тел могут оторваться от своих атомов и перейти в другое тело. При этом у одного тела количество электронов окажется меньше, чем протонов. Значит, оно зарядится положительно. У другого тела возникнет избыток электронов, оно зарядится отрицательно. Говорят, что оба тела электризуются.

Таким образом, при электризации происходит перераспределение электронов. Например, эбонитовая палочка, потёртая о шерсть, приобретает отрицательный заряд, а шерсть — по-



а)



б)

Электризация:

а — стеклянной палочки трением о шёлк;

б — эбонитовой палочки трением о мех

ложительный. При трении электроны с шерсти «перебегают» на палочку. На ней получается избыток электронов (поэтому она заряжается отрицательно), а на шерсти недостаток электронов (поэтому она заряжается положительно). Количество электронов-«перебежчиков» и тем самым степень электризации тел зависит от числа «соприкасающихся» атомов. При трении тел друг о друга число участков с тесным контактом увеличивается, и тем самым увеличивается количество электронов, переходящих от одного тела к другому.

Электризуется эбонитовая палочка, потёртая о шерсть, стеклянная палочка, потёртая о бумагу, шёлк и т. д. В этих примерах два тела обмениваются электронами только между собой. Систему тел, которая не обменивается заряженными частицами с другими телами, называют *электрически изолированной*.

В таких системах выполняется **закон сохранения электрического заряда**.

В электрически изолированной системе при любых процессах суммарный электрический заряд остаётся постоянным.

Это означает, что если какому-либо телу системы передали несколько электронов, то у другого тела системы эти электроны забрали. При этом у второго тела появился такой же по модулю, но противоположный по знаку заряд, т. е. осталось столько же «лишних» протонов, сколько электронов забрали. Закон сохранения электрического заряда — это ещё один фундаментальный закон сохранения.

Зная, что в состав веществ входят заряженные частицы, мы можем объяснить существование проводников и диэлектриков. В проводниках есть заряженные частицы (электроны, ионы), способные свободно перемещаться по всему объёму вещества. Часто для краткости говорят о перемещении по проводнику зарядов, однако имеют в виду перемещение электрически заряженных частиц. Диэлектриками явля-

ются вещества, не содержащие заряженных частиц, способных к свободному перемещению.



1. Объясните электризацию тел при соприкосновении. 2. Почему при электризации трением на телах появляются равные по абсолютному значению, но противоположные по знаку заряды? 3. Какую систему называют электрически изолированной? 4. Сформулируйте закон сохранения электрического заряда.



1. Какую роль играет трение при электризации тел?
2. Можно ли при электризации трением зарядить только одно из соприкасающихся тел? Ответ обоснуйте.

3*. Попробуйте объяснить, почему электрически нейтральные тела притягиваются к наэлектризованным (например, кусочки бумаги или струйки воды — к наэлектризованной палочке).



УПРАЖНЕНИЕ 23

1. Стеклянная палочка при трении о шёлк электризуется положительно. Избыток или недостаток электронов образуется на шёлке?
2. Одному из двух одинаковых металлических шариков сообщили заряд $-6q$, другому — заряд $2q$. Затем шарики соединили проводником. Какими станут заряды шариков после соединения?
3. При трении с изначально незаряженной стеклянной палочки было удалено $9 \cdot 10^{16}$ электронов. Чему стал равен заряд палочки? На сколько уменьшилась масса палочки?
4. Какое количество электронов было удалено с изначально незаряженной стеклянной палочки в результате трения, если заряд палочки стал $4 \cdot 10^{-9}$ Кл? На сколько при этом уменьшилась масса палочки?
5. Чтобы заряженное тело стало электрически нейтральным, ему недостаёт $5,2 \cdot 10^{12}$ электронов. Каков заряд этого тела?
6. Электроскопу заряженной стеклянной палочкой был сообщён заряд $-23,4 \cdot 10^{-9}$ Кл. Сколько электронов было передано электроскопу?

§ 31

СТАТИЧЕСКОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО, ЕГО УЧЁТ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В БЫТУ И ТЕХНИКЕ

В век синтетических материалов вам наверняка приходилось наблюдать «электричество от трения», которое называют *статическим электричеством*.



Рис. 59. Электризация прорезиненных ремней при трении

Например, кожаные и прорезиненные ремни в двигателе, электризуясь от соприкосновения со шкивом, могут стать источником искрового разряда (рис. 59). И если двигатель работает в помещении, где в воздухе находится мелкая горючая пыль (мука, угольная пыль), то искра может вызвать взрыв и пожар. На клеепромазочной машине, которая смазывает резиновым клеем тканевые материалы, вследствие трения материала о валики происходит их электризация. Даже небольшая искра, возникающая при этом, может вызвать пожар, так как окружающий воздух насыщен парами бензина. Работе ткацких станков мешает взаимное отталкивание волокон из-за их электризации. Такую ткань трудно раскраивать. Кроме того, наэлектризованная ткань сильно загрязняется вследствие притяжения к ней частичек пыли.

Одним из способов борьбы со статическим электричеством является соединение тела с землёй с помощью проводника — *заземление*. Так, на производстве тщательно заземляют станки и машины. Для покрытия полов в производственных помещениях используют хорошо проводящие электричество пластики. В авиации у некоторых типов самолётов имеются специальные приспособления, заземляющие самолёт при посадке. В полёте, вследствие трения о воздух и по некоторым другим причинам, самолёт накапливает значительный электрический заряд.

Однако заземление не помогает, если используется оборудование, изготовленное из диэлектриков. Для того чтобы поверхность таких материалов лучше проводила электричество, её подвергают обработке. Например, приводные ремни и ленты транспортёров покрывают графитом или бронзовым порошком. С той же целью увеличивают влажность воздуха в помещении, при этом на поверхности материалов, не проводящих электричество, образуется тонкая плёнка воды. Вода за счёт различных примесей хорошо проводит электричество.



Равномерное окрасивание изделия наэлектризованной краской

В быту для борьбы с вредной электризацией применяют различные антистатики.

Статическое электричество можно успешно использовать на производстве. Оно может играть роль, например, маляра. Если окрашиваемую деталь зарядить положительно, а частицы краски отрицательно, то частицы краски устремляются к положительно заряженной детали. Поскольку частицы краски заряжены одноименно, то они отталкиваются друг от друга, и поэтому слой краски получается равномерным. За счёт притяжения частиц к детали этот слой получается плотным и прочным. Расход краски при этом снижается, так как она осаждается тонким слоем и только на детали.

С помощью статического электричества во много раз ускоряется процесс копчения. При электрокопчении частицы копильного дыма заряжаются положительно, а сам продукт, подвергаемый копчению (например, тушка рыбы), заряжается отрицательно. Частицы дыма, притягиваясь к тушке, быстро внедряются в неё. В этом и состоит процесс копчения.

Вспомните опыт по наблюдению взаимодействия мелких бумажек с наэлектризованной палочкой (см. рис. 46, а). Где этот эффект можно использовать? Там, где лёгкие продолговатые частицы нужно ориентировать в определённом направлении, например при ворсовании тканей. Материал, на котором требуется получить слой ворса, заземляют. На его поверхность наносят клеящее вещество, а затем через заряженную металлическую сетку, расположенную над этой поверхностью, пропускают ворс. Ворсинки в электрическом поле между материалом и сеткой ориентируются строго перпендикулярно к поверхности материала и оседают на клей равномерным слоем. Так получают покрытия, похожие на бархат и замшу.

А если частицам двух различных веществ сообщить электрические заряды противоположных знаков, то что должно произойти с этими

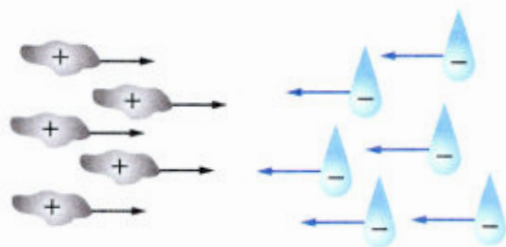


Рис. 60. Капли воды, заряженные отрицательно, и частицы муки, заряженные положительно

частицами при перемешивании веществ? Частицы будут притягиваться друг к другу, и в результате образуется однородная смесь. Этот эффект используется на хлебозаводах для изготовления теста. Заряженные положительно крупинки муки воздушным потоком подаются в камеру, где они перемешиваются с отрицательно заряженными капельками воды, содержащей дрожжи. Крупинки муки и капельки воды, взаимно притягиваясь (рис. 60), образуют однородное тесто.



1. Как уменьшить вредное действие статического электричества?
2. Как увеличить полезное действие статического электричества?
3. Приведите примеры проявления вредных свойств статического электричества.
4. Почему между ремнём и шкивом, на который он надет, во время работы иногда проскакивает искра?



1. Почему при переливании бензина из одной цистерны в другую он может воспламениться? Какие специальные меры предосторожности необходимо предпринять?
2. В установках для улавливания пыли пропускают воздух через металлические трубы, по оси которых протягивается металлическая проволока. Проволока имеет отрицательный заряд, а труба — положительный. Между ними создаётся сильное электрическое поле. Как будут вести себя пылинки: а) незаряженные; б) заряженные положительно или отрицательно?



УПРАЖНЕНИЕ 24

1. Почему при заправке самолёта горючим и самолёт, и бензозаправщик заземляют?
2. Почему нити прилипают к гребням чесальных машин, применяющихся в текстильной промышленности, и при этом путаются и часто рвутся? Зачем в таких цехах искусственно создают повышенную влажность?
3. Почему ворсинки и пыль прилипают к одежде при чистке её щёткой? Почему, если щётка влажная, это явление не происходит?



ЗАДАНИЕ

- Составьте таблицу, в которой укажите: вредные и полезные проявления статического электричества в быту; условия, при которых эти проявления вы обнаружили. Есть ли явления, которые исчезают при изменении внешних условий?

§ 32

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Вы уже знаете, что заряженные частицы могут передвигаться, или, как говорят, может происходить движение электрического заряда.

Упорядоченное движение заряженных частиц называют электрическим током.

Для существования в проводнике электрического тока необходимо, чтобы в нём были такие заряженные частицы, которые могут передвигаться по всему проводнику. Их называют **свободными зарядами**. В зависимости от вещества свободными зарядами могут быть электроны (в металлах) или положительные и отрицательные ионы (в электролитах). Кроме того, нужно, чтобы существовали силы, заставляющие свободные заряды двигаться в определённом направлении.

Рассмотрим опыт, схема которого изображена на рисунке 61. Проводник П соединён проводами с металлическими телами А и Б, которым сообщены одинаковые по модулю, но противоположные по знаку заряды. Тела А и Б находятся близко друг к другу. Устройство К называют ключом. Оно служит для подключения проводника П к заряженным телам А и Б или отключения от них. При замыкании ключа К на левом конце проводника П оказывается недостаток электронов, а на правом, наоборот, избыток. Что же происходит с проводником?

Под действием электрического поля, создаваемого заряженными телами А и Б, свободные электроны внутри проводника (а также

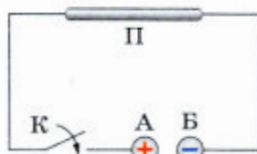


Рис. 61. Протекание электрического тока по проводнику

проводов) приходят в движение, возникает электрический ток. Электрический ток в металлических проводниках — это упорядоченное движение свободных электронов.

Причина электрического тока в металлах — действие электрического поля на свободные электроны.

А что происходит с заряженными телами А и Б (см. рис. 61) при протекании электрического тока? Электроны в проводах и проводнике П движутся так, что они «сбегают» от проводника Б к проводнику А. Это «переселение» электронов закончится тогда, когда тела А и Б разрядятся, т. е. станут электрически нейтральными. Поэтому если мы хотим поддерживать электрический ток, то нужно каким-то образом «подзаряжать» проводник А положительным зарядом, а проводник Б — отрицательным. Устройства, называемые **источниками электрического тока**, как раз и выполняют такую задачу.

В источниках тока совершается работа по разделению нейтральных молекул на положительно и отрицательно заряженные частицы. Эти частицы накапливаются на **полюсах** источника тока — местах, к которым подсоединяются проводники (полюсы источника тока подобны телам А и Б (см. рис. 61)). Один полюс источника тока называется *положительным*, другой — *отрицательным*.

На заре развития учения об электрическом токе считалось, что в металлических проводниках могут перемещаться и положительные, и отрицательные заряды. Об ионах и электронах тогда ещё не знали. Условно было принято за *направление электрического тока* считать направление, по которому движутся (или могут двигаться) положительные заряды, т. е. *направление от положительного полюса источника тока к отрицательному*. Это правило действует и поныне.

Если провода на рисунке 61 присоединить не к телам А и Б, а к полюсам источника тока,

то при замыкании ключа K ток по проводам и через проводник Π будет течь до тех пор, пока источник тока способен разделять заряды. При этом разделении происходит превращение механической, химической, внутренней или какой-нибудь другой энергии в энергию электрического поля, которое, действуя на электроны, создаёт электрический ток.



Рис. 62. Электрофорная машина

Существует много типов источников тока. В *электрофорной машине* (рис. 62) механическая энергия превращается в электрическую. В *термоэлементе* (рис. 63) внутренняя энергия превращается в электрическую. При этом электрический ток возникает в проволоках, изготовленных из разных металлов, при нагревании места их соединения (спая). А в *фотоэлементе* в электрическую энергию превращается энергия излучения (рис. 64).

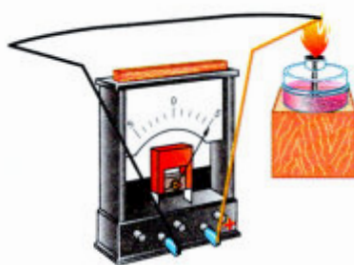


Рис. 63. Превращение внутренней энергии в электрическую

В быту часто используют источники тока, называемые *гальваническими элементами* (рис. 65). В гальванических элементах происходит превращение химической энергии в электрическую. Различают гальванические элементы однократного действия — батарейки (рис. 65, а) и *аккумуляторы* — гальванические элементы многократного действия (рис. 66, а).

Батарейка представляет собой довольно сложное устройство, которое разделяет электрические заряды в результате химических реакций. На рисунке 65, б изображена батарейка, состоящая из цинкового сосуда Π , в который вставлен угольный стержень $У$ с металлической крышкой $М$.

Рис. 64. Превращение энергии излучения в электрическую

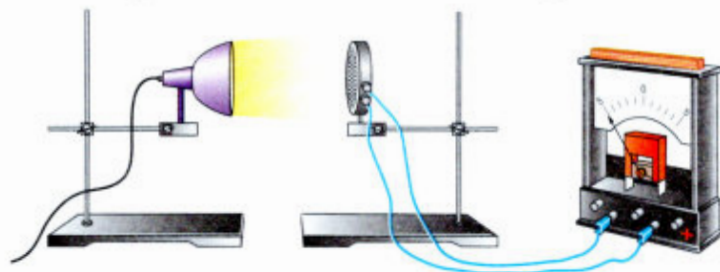
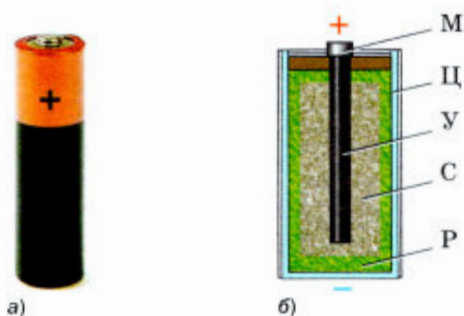


Рис. 65. Гальванический элемент (батарейка):
 а — внешний вид;
 б — устройство



Угольный стержень окружён смесью оксида марганца (IV) MnO_2 и размельчённого графита С. Пространство между цинковым корпусом и смесью оксида марганца с графитом заполнено желеобразным раствором соли (хлорида аммония NH_4Cl) Р.

Химическая реакция цинка Zn с хлоридом аммония NH_4Cl приводит к тому, что цинковый сосуд становится отрицательно заряженным. Его называют *отрицательным электродом*. С смесь оксида марганца с графитом заряжается положительно, её заряд передаётся с помощью угольного стержня. Его называют *положительным электродом*. Между разноимённо заряженными электродами возникает электрическое поле. Если электроды такого источника соединить проводником, то в нём возникнет упорядоченное движение свободных носителей зарядов, т. е. возникнет электрический ток.

Простейший аккумулятор состоит из двух свинцовых пластин (электродов), помещённых в раствор серной кислоты (рис. 66, б). Для того чтобы аккумулятор работал как источник тока, через него вначале пропускают ток от какого-либо другого источника. При этом в результате протекания химических реакций один электрод аккумулятора становится положительно заряженным (обозначается знаком «+»), а другой — отрицательно заряженным (обозначается знаком «-»). Чем больше площадь электродов батареек и аккумуляторов, тем больший ток они

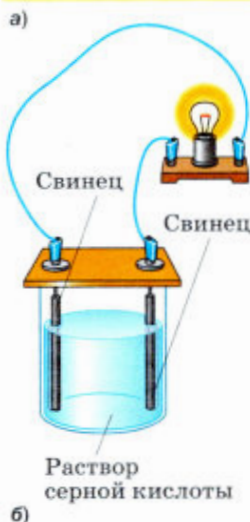


Рис. 66. Аккумулятор:
 а — внешний вид;
 б — принцип действия

Батарея аккумуляторов для питания:
а — мобильного телефона;
б — ноутбука

а)



б)



могут давать. Чтобы увеличить площадь электродов, их поверхность можно покрыть проводящими нанокристаллами. В результате активная площадь обмена заряженными частицами увеличивается в сотни раз. Аккумуляторы, пластины которых покрыты нанокристаллами, способны заряжаться всего за несколько минут. Аккумуляторы используются для освещения автомобилей, железнодорожных вагонов, для запуска двигателей автомобилей, для питания радиопередатчиков и научной аппаратуры.

Существуют и другие источники тока. Так, на электростанциях используют устройства, преобразующие механическую энергию в электрическую, — **генераторы** (от лат. *generator* — создатель, производитель). Электрический ток от таких источников применяют в промышленности, на транспорте и в быту.



1. Что такое электрический ток? **2.** Каковы условия существования электрического тока? **3.** Направление движения каких частиц в проводнике принято за направление электрического тока? **4.** От какого полюса источника тока и к какому направлен ток в проводнике, присоединённом к источнику? **5.** Какие превращения энергии происходят внутри источника тока? **6.** Каково устройство гальванического элемента? **7.** Что является положительным и отрицательным полюсами батарейки? **8.** Каково устройство аккумулятора? **9.** Где применяют аккумуляторы?



1. Касаясь рукой стержня электроскопа, его разрядили. Можно ли говорить о наличии электрического тока в стержне электроскопа при его разрядке?

2. Капля дождя в процессе падения на землю электризуется. Можно ли говорить о наличии электрического тока между облаком и землёй?



УПРАЖНЕНИЕ 25

1. В чём преимущество аккумулятора перед гальваническим элементом?

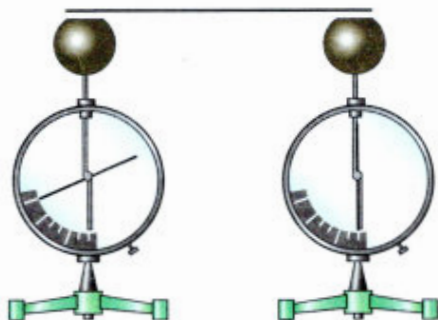


Рис. 67

2. На рисунке 67 изображены заряженный и незаряженный электрометры. Потечёт ли электрический ток по металлическому стержню, если им коснуться одновременно шариков электрометров?
3. Имеется заряженный электроскоп и металлический стержень. Что нужно сделать, чтобы по стержню потёк электрический ток?
4. В чём главное отличие электрического тока, возникающего в металлическом проводнике, соединяющем полюсы гальванического элемента, от тока, возникающего при разрядке электрометра?

§ 33

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ И ЕЁ СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ

Для того чтобы поддерживать электрический ток, необходим проводник или несколько проводников и источник тока. Соединённые вместе, они образуют *электрическую цепь*. Всякая электрическая цепь состоит из двух частей: внутренней и внешней. Во внутреннюю цепь входит *источник тока*. Внешняя цепь включает в себя *проводники-потребители*: лампочки, электронагревательные приборы, электродвигатели, приборы для измерения параметров цепи, провода.

Электрическая энергия от источника тока к потребителю поставляется с помощью проводов.

Для подключения и отключения потребителей от источника тока используются *замыкающие и размыкающие устройства*: ключи, рубильники, кнопки, выключатели.

Электрический ток может протекать только там, где есть свободные заряды. Поэтому вся-

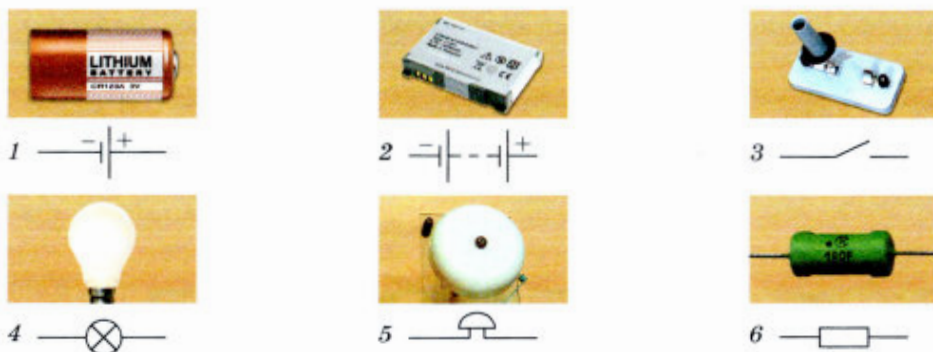


Рис. 68. Условные обозначения, применяемые на схемах:

1 — гальванический элемент или аккумулятор; 2 — батарея элементов или аккумуляторов; 3 — ключ; 4 — электрическая лампа; 5 — электрический звонок; 6 — резистор (проводник, имеющий определённое сопротивление)

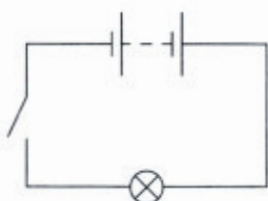


Рис. 69. Схема простейшей электрической цепи

кая электрическая цепь должна быть *замкнута* для того, чтобы в ней шёл ток. То есть на пути протекания электрического тока должны встречаться только проводники.

Современные электрические установки часто состоят из такого большого количества частей, что словесное описание соединений в них заняло бы много времени. Для того чтобы показать, из каких элементов состоит электрическая цепь и как они соединены между собой, используют чертежи — *электрические схемы*. На схемах элементы цепи обозначают условными знаками (рис. 68). На рисунке 69 изображена схема простейшей электрической цепи.



1. Что такое электрическая цепь?
2. Из каких частей состоит электрическая цепь?
3. Приведите примеры проводников — потребителей электрической энергии.
4. Что значит «электрическая цепь замкнута»?
5. Почему при размыкании ключа электрический ток в цепи прекращается?



УПРАЖНЕНИЕ 26

1. Как объяснить возникновение электрического тока в цепи?
2. Покажите стрелками направление электрического тока в электрической цепи, схема которой изображена на рисунке 69. Из каких элементов состоит эта цепь?

3. Начертите схему электрической цепи карманного фонарика с тремя лампами, который работает от батарейки. Лампы зажигаются одновременно.

§ 34

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В МЕТАЛЛАХ

Рассмотрим процесс образования электрического тока в металлах. Металлы в твёрдом состоянии имеют кристаллическое строение. Электроны, входящие в состав атома, находятся на различных расстояниях от его ядра. Электроны, расположенные относительно близко к ядру (их называют внутренними), прочно связаны с ним. Наиболее удалённые от ядра электроны (их называют внешними) связаны с ним значительно слабее, чем внутренние. У металлов внешние электроны так слабо связаны со своими ядрами, что они легко отрываются от них и становятся свободными. При отсутствии электрического поля свободные электроны находятся в беспорядочном движении.

В узлах кристаллической решётки металлов остаются положительно заряженные ионы, которые не покидают своих мест (рис. 70). Поэтому участвовать в создании электрического тока могут только свободные электроны, имеющие отрицательный заряд.

Тот факт, что электрический ток в металлах представляет собой движение электронов, был подтверждён экспериментально. В 1901 г. немецкий физик **Карл Рикке** (1845—1915) проделал следующий опыт. Три цилиндра — два медных и один алюминиевый, с тщательно отполированными торцами (для лучшего контакта) — ставили друг на друга и присоединяли к источнику тока. В течение года по проводнику, составленному из этих цилиндров, пропускали электрический ток, но никаких химических изменений в цилиндрах не обнаружили. Был сделан вывод, что ток в металлах представляет собой движение частиц, не имеющих отношения к химическому составу метал-

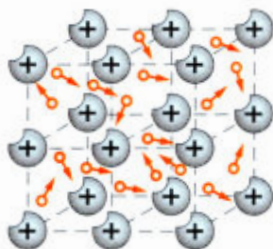


Рис. 70. Кристаллическая решётка металла



**МАНДЕЛЬШТАМ
ЛЕОНИД ИСААКОВИЧ**

(1879—1944)

Российский физик, академик.
Один из основателей отечественной школы радиифизики

лов, т. е. двигались не ионы, которые у различных металлов разные, а электроны.

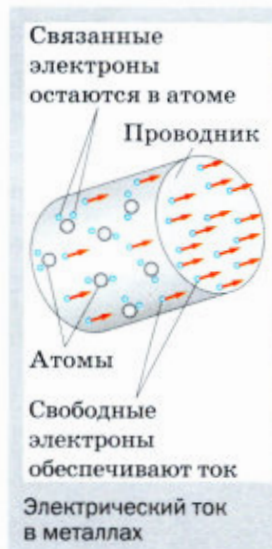
Затем в 1913 г. российские физики *Леонид Исаакович Манделъштам* и *Николай Дмитриевич Папалекси* (1880—1947) поставили оригинальный опыт, в котором катушку, состоявшую из большого числа витков, приводили в быстрое вращение, затем тормозили. Если в момент торможения в катушке возникает электрический ток, то он обусловлен движением свободных заряженных частиц, которые по инерции продолжают направленные движение в проводнике. Опыт показал наличие кратковременного тока при резком торможении катушки.

Усовершенствовав этот опыт, американские физики *Томас Стюарт* (1895—1958) и *Ричард Толмен* (1881—1948) в 1916 г. по направлению тока в катушке определили знак заряда частиц. Частицы, создающие ток, заряжены отрицательно. Кроме того, учёные вычислили отношение заряда частиц к их массе. Оно оказалось приблизительно одинаковым для всех металлов и равно такому отношению для электрона.

Таким образом, на опыте было подтверждено, что *электрический ток в металлических проводниках представляет собой упорядоченное движение свободных электронов.*

При возникновении электрического тока в проводнике свободные электроны движутся направленно, сохраняя своё хаотическое движение. Скорость хаотического движения электронов очень велика, примерно сто километров в секунду. Скорость же возникающего направленного движения электронов мала, примерно миллиметры в секунду. Почему же, несмотря на малую скорость направленного движения электронов, электрическая лампочка загорается сразу после замыкания цепи?

Дело в том, что электрическое поле в проводнике распространяется практически мгновенно.



венно, и движение свободных электронов возникает на всём протяжении проводника одновременно. Именно поэтому, когда говорят о скорости распространения электрического тока в проводнике, то имеют в виду скорость распространения по проводнику электрического поля.



1. Какие частицы образуют электрический ток в металлах? Почему именно они? 2. Как движутся электроны металла при возникновении в нём электрического поля? 3. Опишите эксперименты, установившие природу электрического тока в металлах. 4. Скорость направленного движения электронов в проводниках вашей квартиры составляет доли миллиметра в секунду. Почему же при нажатии на клавишу выключателя лампочка вспыхивает сразу?



УПРАЖНЕНИЕ 27

1. Рассмотрите рисунок 71 и укажите, в каком направлении будут двигаться электроны в металлическом стержне после соединения им электрометров. Ответ поясните.

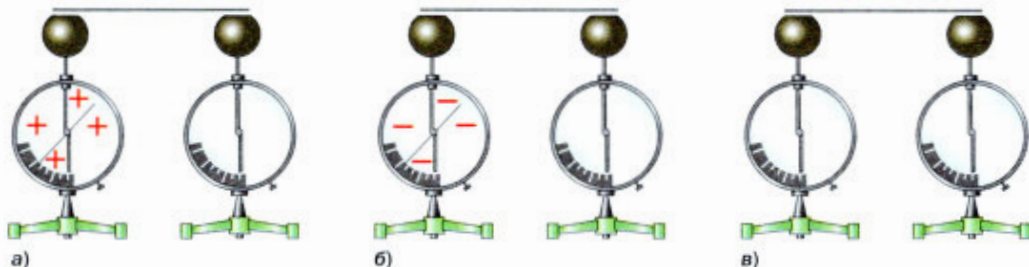


Рис. 71

2. В чём различие в движении свободных электронов в металлическом проводнике, когда он присоединён к полюсам источника тока и когда он отключён от них?

§ 35

ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Свободные носители заряда (электроны и ионы), создающие электрический ток, очень малы, поэтому увидеть их направленное движение нельзя. О наличии электрического тока можно судить по тем явлениям, которые он вызывает. Эти явления называют *действиями тока*.

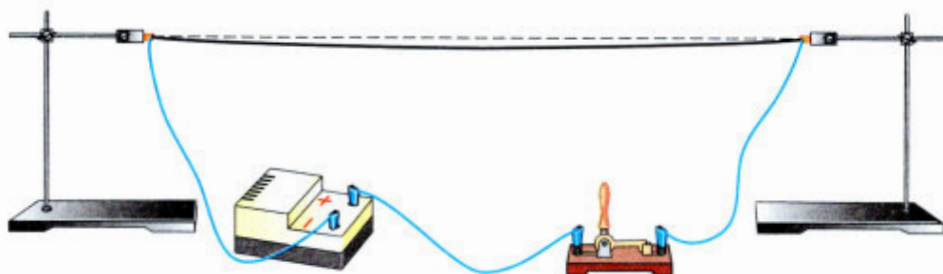


Рис. 72. Тепловое действие тока

Вам хорошо известно *тепловое действие тока*: нагревание проводника при прохождении по нему электрического тока. Такое нагревание свойственно всем проводникам: и металлам, и электролитам.

Рассмотрим для примера металлические проводники. Под действием электрического поля свободные электроны начинают двигаться направленно, сохраняя хаотическое движение, в то время как ионы продолжают хаотически колебаться в узлах кристаллической решётки. Разогнанные электрическим полем электроны соударяются с ионами кристаллической решётки и передают им часть своей энергии.

В результате происходит увеличение кинетической энергии ионов кристаллической решётки, т. е. увеличивается температура и внутренняя энергия тела. Следовательно, электрический ток в веществе вызывает его нагревание. Проволока, по которой идёт ток (рис. 72), нагревается, удлиняется и слегка провисает.

Тепловое действие электрического тока используется в быту, например в электронагревательных приборах, и в технике. Примером может служить контактная электросварка. Свариваемые детали закрепляют между зажимами, приводят в соприкосновение и пропускают через них электрический ток. В месте контакта будет выделяться наибольшее количество теплоты, в результате металл сильно нагреется. Когда он становится пластичным, ток автоматически выключается, и машина сжимает раз-



Контактная электросварка

мягчённые части деталей настолько сильно, что они прочно соединяются. Контактная электросварка выполняется автоматически.

Протекание электрического тока вызывает не только изменение внутренней энергии проводника (его нагревание), но и другие явления.

Рассмотрим процессы, происходящие при протекании электрического тока по расплаву поваренной соли (хлорида натрия). При сильном нагревании твёрдый хлорид натрия плавится. Полученный расплав содержит положительные ионы натрия и отрицательные ионы хлора, освободившиеся из кристаллической решётки, т. е. является электролитом. Поэтому такой расплав проводит электрический ток.

Пусть в расплаве поваренной соли находятся два угольных стержня (рис. 73), один из которых — *анод* — соединён с положительным полюсом источника тока, а другой — *катод* — с отрицательным полюсом. Электрическое поле между стержнями (*электродами*) заставляет положительные ионы натрия двигаться к катоду, а отрицательно заряженные ионы хлора — к аноду. В расплаве существует электрический ток, и лампочка горит (см. рис. 73). На поверхности катода ион натрия захватывает электрон, так как у отрицательного стержня их избыток, и превращается в нейтральный атом натрия. На поверхности анода ион хлора отдаёт электрон, также превращаясь в нейтральный атом хлора. На аноде выделяется хлор, на катоде — натрий. Под действием электрического поля хлорид натрия превращается в натрий и хлор, т. е. происходит химическая реакция.

Химическая реакция, протекающая на поверхности электрода, называется *электролизом* и является проявлением *химического действия тока*.

Ещё одним действием тока является *магнитное действие*. Его можно наблюдать на опыте. Возьмём железный гвоздь, намотаем на него медный провод, покрытый изоляционным

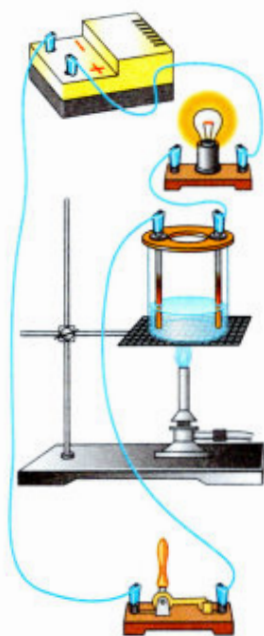


Рис. 73. Химическое действие тока

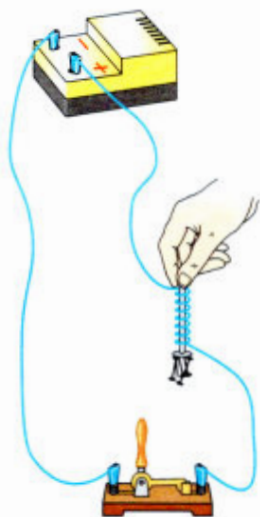


Рис. 74. Магнитное действие тока

материалом. Концы провода через ключ соединим с источником тока. При замыкании цепи гвоздь намагничивается (становится магнитом) и притягивает небольшие железные предметы (рис. 74): гвоздики, булавки, металлические опилки. При размыкании цепи гвоздь размагничивается и железные предметы отпадают.

Магнитное действие тока используется в электромагнитах. Удобно, что их мощность можно регулировать.

Ещё одно проявление магнитного действия тока — взаимодействие проводника (небольшой рамки) с током и магнита. Рамку из тонкой медной проволоки подвесим на штативе. Присоединим концы проволоки к полюсам источника тока. При замкнутом ключе в проводнике существует электрический ток, рамка находится в покое (рис. 75). Поместим теперь её между полюсами магнита и снова замкнём ключ. Рамка начнёт поворачиваться (рис. 76).

На явлении взаимодействия рамки (катушки) с током и магнита основана работа прибо-

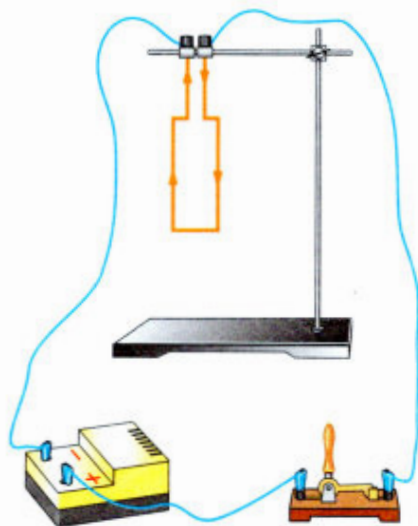


Рис. 75. Рамка с током неподвижна

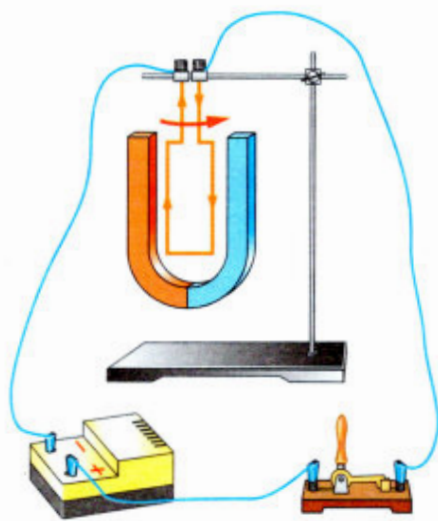
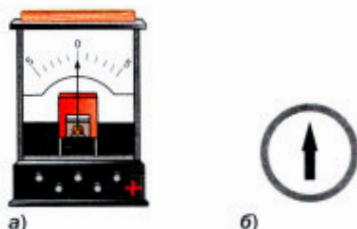


Рис. 76. Рамка с током между полюсами магнита поворачивается

Рис. 77. Гальванометр:
a — внешний вид;
б — условное обозначение на схемах



ра — **гальванометра** (рис. 77). При появлении тока в подвижной катушке связанная с ней стрелка прибора будет отклоняться. С помощью гальванометра можно судить о наличии тока в цепи, его направлении.



1. На каком опыте можно показать тепловое действие тока? 2. Какие заряженные частицы образуют электрический ток в растворах и расплавах солей, кислот и щелочей? 3. Как называют электрод, соединённый с положительным полюсом источника тока; отрицательным? 4. Где используют тепловое и химическое действие тока? 5. Приведите примеры магнитного действия тока. 6. Какое действие тока используют в работе гальванометра?



1. Почему нельзя гасить огонь, вызванный электрическим током, водой или жидкостным огнетушителем, а необходимо применять сухой песок или пескоструйный огнетушитель?
2. Имеет ли значение для теплового действия тока его направление?
3. Могут ли жидкости быть проводниками; диэлектриками?



ЗАДАНИЕ



Рис. 78



1. Возьмите «плоскую» батарейку или «Крона». Приложите контакты батарейки к свежему срезу картофеля (рис. 78). Через несколько минут рассмотрите следы от контактов на картофеле. Опишите наблюдаемую картину.



2. Приложите к языку контакты батарейки. Вы почувствуете кислый привкус, что свидетельствует о появлении нового вещества, т. е. о прошедшей химической реакции.

Возьмите два предмета из различного металла, например алюминиевую фольгу и стальной ключ или медную проволоку и серебряную вилку. Попробуйте на вкус каждый из предметов по отдельности. Затем соедините концы этих предметов и одновременно попробуйте на вкус их свободные концы. Расскажите о своих ощущениях.



3. Сделайте простейший гальванический элемент и гальваноскоп и проверьте их действие.

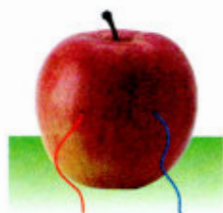


Рис. 79

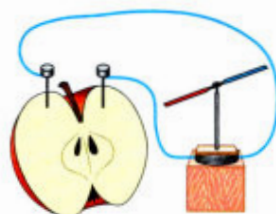


Рис. 80

Возьмите кислое яблоко или солёный помидор и воткните в него две проволоки: железную и медную (вместо железной проволоки лучше взять цинковую пластинку). Гальванический элемент готов (рис. 79).

Гальваноскоп — прибор для обнаружения очень слабых токов. Для его изготовления моток тонкой изолированной проволоки прикрепите к небольшой дощечке, в середину которой вставьте иглу остриём вверх. На остриё положите маленькую магнитную стрелку (рис. 80) (можно поместить внутри мотка компас). Дайте магнитной стрелке установиться в направлении магнитного меридиана.

Замкните электрическую цепь (см. рис. 80). Отклонение стрелки гальваноскопа покажет наличие электрического тока, созданного в проводнике вашим гальваническим элементом.

Это любопытно...

Аккумуляторы

На практике широко распространены два вида аккумуляторов: *кислотные* и *щелочные*. **Кислотные** состоят из пластин, опущенных в раствор серной кислоты (см. рис. 66, б). Отрицательные пластины делаются из чистого свинца с сильно разрыхлённой поверхностью; положительные пластины покрыты перекисью свинца. При разрядке аккумулятора обе пластины постепенно покрываются серноокислым свинцом. При зарядке различие в составе положительных и отрицательных пластин восстанавливается электролизом. В процессе зарядки аккумулятора ионы водорода (H^+) перемещаются по тому же направлению, по которому идёт ток, а ионы, образовавшиеся в результате разложения серной кислоты (SO_4^{2-}), идут в противоположном направлении.

В **щелочных аккумуляторах** пластины и сосуды изготовляют из железа. Железные пластины опускают в раствор едкого калия (KOH) или едкого натрия (NaOH) в дистиллированной воде. И тот и другой растворы являются щелочными, поэтому и аккумуляторы называются щелочными. Щелочные аккумуляторы удобны при перевозке, так как не боятся сотрясений. Они отличаются прочностью конструкции, не выделяют в процессе работы и при зарядке вредных газов. Не боятся перегрузки и могут долго оставаться в полуразряженном или разряженном состоянии. Кислотные

аккумуляторы имеют большее рабочее напряжение и больший коэффициент полезного действия.

Аккумуляторы используют в автомобилях, самолётах, поездах с электрическим освещением, на телефонных станциях, подводных лодках и т. д.

§ 36

СИЛА ТОКА. ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА

Как вам известно, электрический ток представляет собой упорядоченное движение свободных заряженных частиц. О существовании электрического тока судят по его действиям, например тепловому. Интенсивность действия тока бывает разной.

Чем больше электрический заряд, перенесённый частицами через поперечное сечение проводника за некоторое время, тем интенсивнее действие тока. Для количественной характеристики электрического тока вводят величину — *силу тока*.

Физическую величину, равную отношению электрического заряда, прошедшего через поперечное сечение проводника, ко времени его движения, называют силой тока.

Обозначим силу тока буквой I , общий электрический заряд — q , время — t . Тогда силу тока можно определить по формуле:

$$I = \frac{q}{t}$$

$$I = \frac{q}{t}$$

Если с течением времени сила тока и его направление не изменяются, то ток называют *постоянным электрическим током*.

Единицу силы тока можно установить по единице заряда. Вы знаете, что единицей заряда является кулон. Однако не будем торопиться использовать эту единицу, поскольку её физический смысл пока не ясен. Естественно было бы за единицу заряда принять наименьший заряд в природе — заряд электрона. Но как

определить число электронов, проходящих через поперечное сечение проводника в единицу времени?

В растворах электролитов электрический ток представляет собой движение ионов. Достигая электрода, ионы превращаются в нейтральные атомы и оседают на электроде. Измерив массу вещества, выделившегося на электроде за время опыта, и разделив её на массу одного атома, можно было бы выразить прошедший заряд в зарядах электрона, а силу тока — в зарядах электрона в секунду.

Можно, однако, установить единицу силы тока не по единице заряда, а другими способами. На Международной конференции по мерам и весам в 1948 г. решили определять единицу силы тока по явлению взаимодействия двух проводников с током (рис. 81).

По двум проводникам, расположенным параллельно друг другу, пропускают электрический ток. В зависимости от направления тока в проводниках они либо притягиваются (рис. 81, а), либо отталкиваются (рис. 81, б). При изменении силы тока в проводниках сила взаимодействия между ними также меняется: чем больше сила тока, тем сильнее они притягиваются или отталкиваются. Эту силу можно измерить.

Как было подтверждено экспериментально, сила взаимодействия проводников зависит не только от силы тока в них, но ещё от расстояния между проводниками, их длины и среды, в которой они находятся. Если взять гибкие, тонкие и очень длинные проводники, расположить их параллельно друг другу на расстоянии 1 м в вакууме, то при одинаковой силе тока в проводниках сила их взаимодействия будет иметь определённое значение.

За единицу силы тока принимают такую силу тока, при которой отрезки параллельных проводников длиной 1 м, находящиеся на расстоянии 1 м друг от друга, взаимодействуют с силой $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

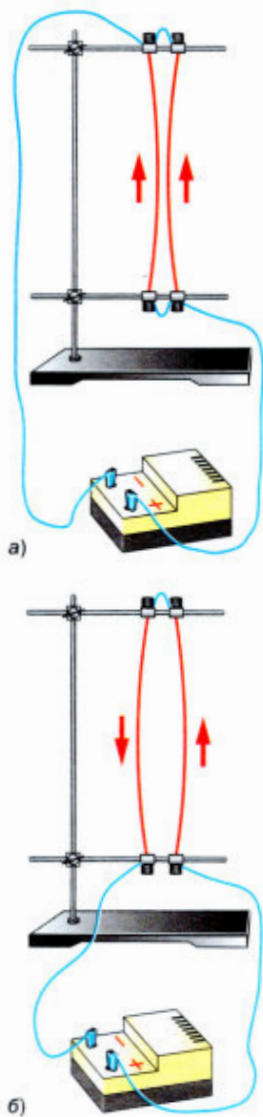


Рис. 81. Взаимодействие проводников с током



АМПЕР АНДРЕ МАРИ

(1775—1836)

Французский физик и математик, создал первую теорию, которая выражала связь электрических и магнитных явлений. Ввёл в физику понятие «электрический ток»

Единицу силы тока в СИ назвали *ампером* (А) в честь французского учёного *Андре Ампера*.

На практике используются дольные и кратные единицы силы тока: *миллиампер* (мА), *микроампер* (мкА), *килоампер* (кА).

$$1 \text{ мА} = 0,001 \text{ А} = 10^{-3} \text{ А};$$

$$1 \text{ мкА} = 0,000001 \text{ А} = 10^{-6} \text{ А};$$

$$1 \text{ кА} = 1000 \text{ А} = 10^3 \text{ А}.$$

Для человеческого организма безопасной считается сила тока до 1 мА, сила тока больше 100 мА приводит к поражениям организма.

Единицу заряда — кулон — устанавливают по единице силы тока.

Из формулы $I = \frac{q}{t}$ выразим электрический заряд:

$$q = It.$$

1 Кл — это электрический заряд, проходящий через поперечное сечение проводника за 1 с при силе тока в проводнике 1 А.

$$1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot \text{с}.$$

На практике силу тока в цепи измеряют *амперметром*. По принципу действия и устройству амперметр похож на гальванометр (см. рис. 77). Чтобы различать эти приборы, на шкале амперметра ставят букву А (рис. 82). Амперметр, включённый в электрическую цепь, почти не меняет в ней силы тока.

$$\begin{aligned} 1 \text{ А} &= 10^3 \text{ мА} \\ 1 \text{ А} &= 10^6 \text{ мкА} \\ 1 \text{ А} &= 10^{-3} \text{ кА} \end{aligned}$$

$$q = It$$



Рис. 82. Амперметр: *а* — демонстрационный; *б* — обозначение на схемах; *в* — лабораторный



Включается амперметр в цепь так, что конец одного проводника соединяется с началом другого. Такое включение называют *последовательным*. Клемму амперметра со знаком «+» надо соединять с проводом, идущим от положительного полюса источника тока (рис. 83). При этом заряд, проходящий через любое поперечное сечение проводника в единицу времени, одинаков, поскольку заряд нигде не накапливается. Поэтому амперметр можно включать в любой участок последовательной цепи.

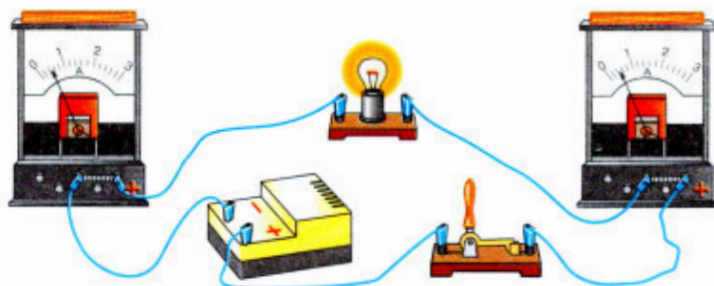


Рис. 83. Измерение силы тока на разных участках цепи



1. Что называют силой тока? 2. По какой формуле можно определить силу тока? 3. Какое явление используется для установления единицы силы тока? Как называют эту единицу? 4. Какие дольные и кратные единицы силы тока используются на практике? 5. Как определить электрический заряд, зная силу тока в проводнике и время его прохождения? 6. Каким прибором измеряют силу тока? 7. Как включают в цепь амперметр?



УПРАЖНЕНИЕ 28

1. На цоколе лампочки от карманного фонарика написано: «0,28 А». Что это означает?
2. Через спираль электроплитки за 2 мин прошёл электрический заряд 600 Кл. Какова сила тока в спирали?

3. Через поперечное сечение проводника за 2 с проходит $6 \cdot 10^{19}$ электронов. Какова сила тока в проводнике?
4. Сколько времени длится пуск стартера автомобиля, если при силе тока 100 А за это время в цепи стартера протекает электрический заряд 1000 Кл?
5. Как правильно подключить элементы электрической цепи (см. рис. 83) при изменении полярности подключения источника тока?
6. Две лампы соединены последовательно. Через первую лампу за 1,5 мин прошёл электрический заряд 90 Кл. Найдите силу тока через вторую лампу.
7. Какой электрический заряд проходит через поперечное сечение проводника за 1 с при силе тока 1 мА? Сколько электронов должно проходить через это сечение за 1 с, чтобы создать такую силу тока?

§ 37

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ. ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Как вы знаете, электрический ток создаётся упорядоченным движением заряженных частиц, которые движутся за счёт энергии электрического поля. Перемещая заряды, электрическое поле совершает работу, в результате которой его энергия превращается в другие виды, например механическую, внутреннюю и т. п. Эту работу принято называть *работой тока*.

От чего зависит работа тока? Соберём электрическую цепь, изображённую на рисунке 84, а. Замкнём ключ и увидим свечение лампочки. Рядом соберём другую цепь (рис. 84, б) и замкнём её. Сравним свечение

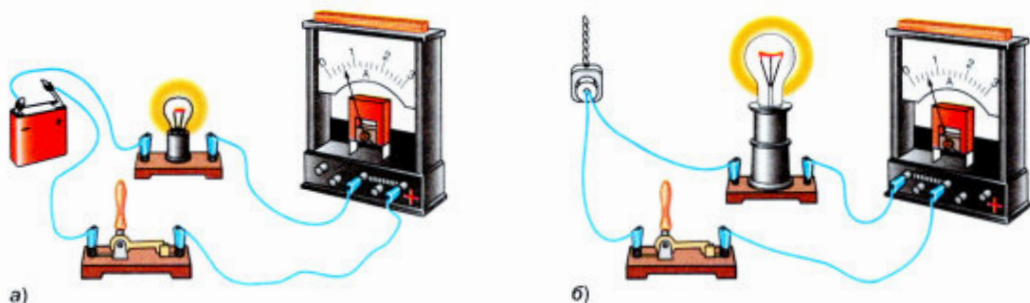


Рис. 84. Различное свечение ламп при одной и той же силе тока:
а — источник тока — батарейка; б — источник тока — городская сеть

$$U = \frac{A}{q}$$



ВОЛЬТА АЛЕССАНДРО

(1745—1827)

Итальянский физик, один из основателей учения об электрическом токе, создал первый гальванический элемент

этих ламп. Вторая лампочка горит ярче. Это говорит о том, что электрический ток совершает бóльшую работу. Но показания амперметров одинаковы, значит, равны и силы тока в лампочках. В данном случае на лампочках разные **электрические напряжения**. Электрическое напряжение (или просто напряжение) является характеристикой электрического поля и показывает, *какую работу совершает поле при перемещении единичного положительного заряда из одной точки в другую*.

Возьмите в руки батарейку, вы увидите, что на ней написано 1,5 В; 4,5 В; 9 В. Это значение напряжения, которое создают батарейки. Покупая электрические лампочки, вы также интересуетесь напряжением, на которое они рассчитаны.

Отношение работы электрического поля по перемещению электрического заряда между двумя точками цепи к этому заряду называют напряжением.

Обозначим напряжение буквой U , работу — A , электрический заряд — q . Тогда напряжение можно вычислить по формуле:

$$U = \frac{A}{q}$$

В СИ единица напряжения — **вольт (В)**. Она названа в честь итальянского физика **Алессандро Вольты**.

Напряжение в цепи равно 1 В, если работа по перемещению электрического заряда 1 Кл равна 1 Дж.

$$1 \text{ В} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}}$$

На практике используются также дольные и кратные единицы напряжения: **милливольт (мВ)** и **киловольт (кВ)**.

$$1 \text{ мВ} = 0,001 \text{ В} = 10^{-3} \text{ В};$$

$$1 \text{ кВ} = 1000 \text{ В} = 10^3 \text{ В}.$$

$$1 \text{ В} = 10^3 \text{ мВ}$$
$$1 \text{ В} = 10^{-3} \text{ кВ}$$

Рис. 85. Вольтметр:
 а — демонстрационный;
 б — обозначение
 на схемах; в — лабо-
 раторный



а)



б)



в)

Из формулы для расчёта напряжения полу-
 чим:

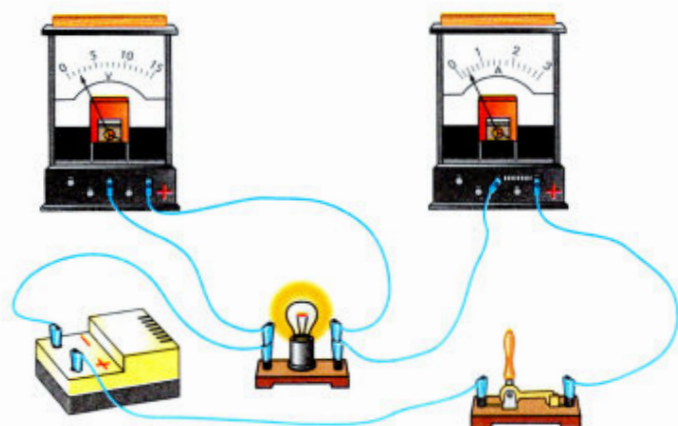
$$A = Uq, \quad q = \frac{A}{U}.$$

$$A = Uq$$

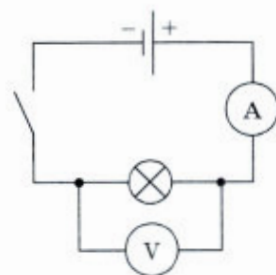
При разомкнутой цепи напряжение существ-
 вует на полюсах источника тока. Когда ис-
 точник тока включают в цепь, то напряжение
 возникает на концах участков цепи, что и со-
 здаёт ток в этом участке цепи. Если в цепи нет
 напряжения, следовательно, в ней нет тока,
 а это указывает на отсутствие электрического
 поля.

$$q = \frac{A}{U}$$

Высокое напряжение опасно для жизни че-
 ловека. Безопасным для человека считается
 напряжение до 36 В, если работа ведётся в су-



а)



б)

Рис. 86. Подключение вольтметра и амперметра в цепь



Рис. 87. Подключение вольтметра к источнику тока

хом помещении, и 12 В, если работа ведётся в сыром помещении.

Измеряется напряжение **вольтметром** (рис. 85), принцип работы и устройство которого похожи на гальванометр и амперметр. Шкала вольтметра градуируется в вольтах, на ней ставят букву V. Вольтметр измеряет напряжение на участке цепи, *параллельно* которому он подключён.

При параллельном соединении проводников все они одним концом подсоединяются к одной точке цепи, а другим концом — к другой её точке (рис. 86). Клемму вольтметра со знаком «+» надо соединить с проводом, идущим от положительного полюса источника тока. Чтобы измерить напряжение на источнике тока, вольтметр подключают к клеммам источника (рис. 87).



1. Какой вывод можно сделать из опыта, показанного на рисунке 84?
2. Что характеризует напряжение? 3. Какова единица напряжения?
4. Каким прибором измеряют напряжение? 5. Как включают вольтметр в цепь? 6. Как включить вольтметр для измерения напряжения на полюсах источника тока?



УПРАЖНЕНИЕ 29

1. При прохождении одинакового электрического заряда в одном проводнике совершается работа 80 Дж, а в другом — 300 Дж. На каком проводнике напряжение больше? Во сколько раз?
2. Напряжение на лампочке карманного фонарика 3,5 В. Что это означает?
3. Каково напряжение на автомобильной лампочке, если при прохождении через неё электрического заряда 100 Кл совершена работа 1,2 кДж?
4. Электрическая лампа от карманного фонаря и электрическая лампа, применяемая в осветительной сети, рассчитаны на потребление силы тока около 0,28 А. Однако вторая лампа излучает значительно больше света и тепла, чем первая. Почему?
5. На одном участке цепи при перемещении по нему электрического заряда 100 Кл была совершена такая же работа, как при перемещении заряда 600 Кл на другом участке. На концах какого участка цепи напряжение больше и во сколько раз?

Как вам уже известно, причиной существования электрического тока является действие на заряженные частицы силы со стороны электрического поля. Работу, которую совершает это поле, характеризует напряжение, а электрический ток характеризуется физической величиной — силой тока. Можно предположить, что сила тока и напряжение связаны между собой. Изучим эту связь экспериментально для металлического проводника.

Воспользуемся электрической цепью, показанной на рисунке 88. Цепь состоит из регулируемого источника тока (позволяет обеспечить разные напряжения), амперметра, проводника, присоединённого к нему вольтметра и ключа. Амперметр показывает силу тока, проходящего по проводнику, вольтметр — напряжение на концах проводника. Будем изменять подаваемое напряжение и отмечать показания вольтметра и амперметра.

В таблице приведены результаты опытов по изучению зависимости силы тока от напряжения для двух различных металлических проводников.

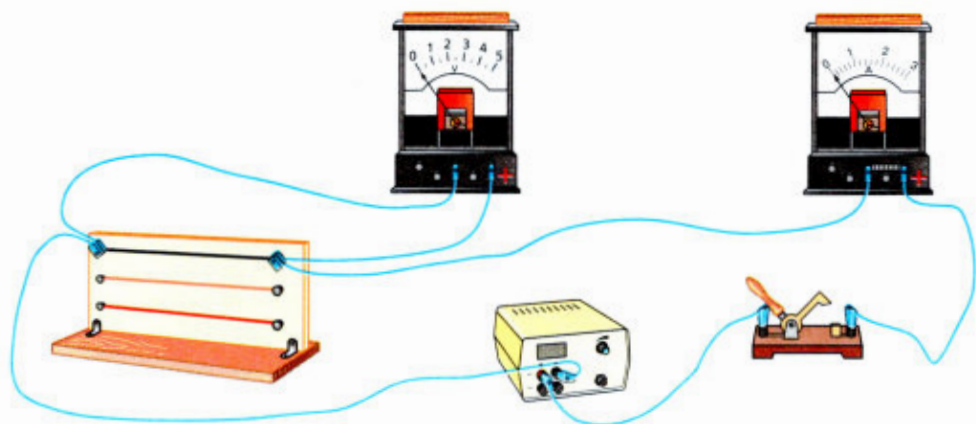


Рис. 88. Определение зависимости силы тока от напряжения

Проводник 1			Проводник 2		
$U, В$	$I, А$	$\frac{U}{I}, \frac{В}{А}$	$U, В$	$I, А$	$\frac{U}{I}, \frac{В}{А}$
1	0,5	2	1	0,2	5
2	1	2	2	0,4	5
3	1,5	2	3	0,6	5
4	2	2	4	0,8	5

Как видно из таблицы, при увеличении подаваемого напряжения сила тока растёт, причём отношение напряжения к силе тока остаётся постоянным для данного проводника. Для первого проводника оно равно $2 \frac{В}{А}$, для второго — $5 \frac{В}{А}$. Следовательно, отношение $\frac{U}{I}$ является характеристикой самого проводника.

$$R = \frac{U}{I}$$

При одном и том же напряжении сила тока во втором проводнике меньше, чем в первом. Говорят, что второй проводник оказывает большее *сопротивление* прохождению электрического тока, чем первый.

Физическую величину, равную отношению напряжения U на концах проводника к силе тока I , проходящего по нему, называют электрическим сопротивлением R проводника.

$$R = \frac{U}{I}.$$

Сопротивление характеризует свойство проводника препятствовать прохождению электрического тока.

В СИ единица сопротивления — *ом* (Ом). Она названа в честь немецкого учёного **Георга Ома**.

Сопротивлением 1 Ом обладает проводник, в котором сила тока



ОМ ГЕОРГ

(1787—1854)

Немецкий физик. Вывел теоретически и подтвердил на опыте закон, выражающий связь между силой тока в цепи, напряжением и сопротивлением

$$1 \text{ Ом} = 10^3 \text{ мОм}$$

$$1 \text{ Ом} = 10^{-3} \text{ кОм}$$

$$1 \text{ Ом} = 10^{-6} \text{ МОм}$$

равна 1 А при напряжении на концах проводника 1 В.

$$1 \text{ Ом} = 1 \frac{\text{В}}{\text{А}}$$

На практике используются дольные и кратные единицы сопротивления: миллиом (мОм), килоом (кОм), мегаом (МОм).

$$1 \text{ мОм} = 0,001 \text{ Ом} = 10^{-3} \text{ Ом};$$

$$1 \text{ кОм} = 1000 \text{ Ом} = 10^3 \text{ Ом};$$

$$1 \text{ МОм} = 1\,000\,000 \text{ Ом} = 10^6 \text{ Ом}.$$

Сопротивления соединительных проводов составляют обычно сотые или тысячные доли ома. Сопротивления электроприборов намного больше. Так, сопротивление нити накала электрической лампочки (когда нить накалена) более 500 Ом.

Сопротивления проводников, которые использовались в опытах (см. рис. 88), равны 2 и 5 Ом. На рисунке 89 представлены графики зависимости силы тока от напряжения для каждого из них. Данную зависимость называют *вольт-амперной характеристикой*. Сила тока I прямо пропорциональна напряжению U , а коэффициентом пропорциональности является $\frac{1}{R}$.

Закон, устанавливающий зависимость силы тока от напряжения на концах участка цепи и сопротивления этого участка, носит название *закона Ома для участка цепи*:

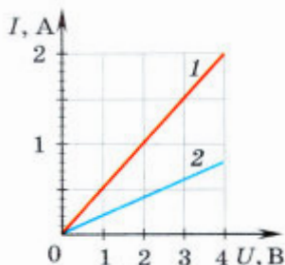


Рис. 89. График зависимости силы тока в проводнике от напряжения

сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка и обратно пропорциональна сопротивлению участка.

$$I = \frac{U}{R}$$

Он был открыт экспериментально Омом в 1826 г. Закон Ома с хорошей точностью выполняется для металлов и электролитов, он очень важен для расчёта электрических цепей в электротехнике.

$$I = \frac{U}{R}$$

$$U = IR$$

Зная силу тока и сопротивление проводника, можно определить напряжение на участке цепи, используя закон Ома:

$$U = IR.$$

Согласно закону Ома, при заданном напряжении сила тока тем меньше, чем больше сопротивление проводника. Таким образом, увеличение сопротивления означает увеличение помех, которые испытывают заряженные частицы, двигаясь по проводнику. Чем вызваны эти помехи? Двигаясь направленно, свободные электроны сталкиваются с ионами, расположенными в узлах кристаллической решётки металла. Этими столкновениями, затрудняющими перемещение электронов, и объясняется свойство проводника препятствовать прохождению тока. Можно предположить, что сопротивление должно зависеть от материала проводника, его формы и размеров. Изучением этого вопроса займёмся в следующем параграфе.



1. Расскажите об экспериментальном способе установления зависимости силы тока в проводнике от напряжения на его концах.
2. Что значит «сопротивление проводника равно 1 Ом»?
3. Какие кратные и дольные единицы сопротивления используют на практике?
4. Сформулируйте закон Ома для участка цепи.
5. Как выразить напряжение на участке цепи, зная силу тока в нём и его сопротивление?
6. В чём причина сопротивления проводника?



1. Ученик включал в электрическую цепь различные проводники с известными сопротивлениями и записывал показания амперметра и вольтметра. По результатам исследования он построил график (рис. 90), но забыл обозначить координатные оси. Восстановите обозначения на осях. Определите наибольшее и наименьшее показания вольтметра, если значения величин на графике указаны в единицах СИ.

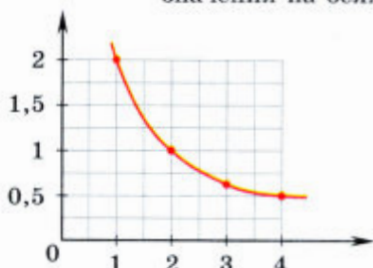


Рис. 90

2. Какое влияние на сопротивление проводника оказывает тепловое движение частиц, из которых состоит проводник?

3*. Принцип действия вольтметра, изображённого на рисунке 88, такой же, как и амперметра: угол поворота стрелки пропорционален силе тока. Градуируют такой вольтметр на основе закона Ома для участка цепи. Означает ли это, что

рассмотренный в параграфе опыт нельзя считать доказательством справедливости закона Ома? Какие приборы вы предложили бы использовать для экспериментальной проверки закона Ома?



УПРАЖНЕНИЕ 30

1. Какова сила тока в проводнике, если напряжение на его концах 4,5 В, а сопротивление 15 Ом?
2. Каким сопротивлением должен обладать проводник, чтобы при напряжении на его концах 220 В сила тока в нём была 1 мА?

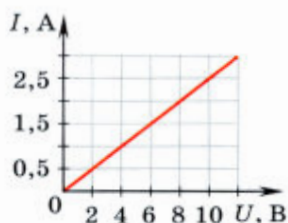


Рис. 91

3. Сила тока, текущего по проводнику сопротивлением 6 Ом, равна 2 А. Каково напряжение на концах проводника? Как изменится сила тока в данном проводнике, если напряжение на его концах увеличится в 4 раза?
4. Используя вольт-амперную характеристику проводника (рис. 91), определите его сопротивление.
5. При напряжении 110 В сила тока в резисторе равна 5 А. Какова будет сила тока в этом же резисторе, если напряжение на нём увеличить на 10 В?

Это любопытно...

Почему электрический ток опасен для человека?

Действие электрического тока на живой организм часто бывает весьма опасным. В частности, при прикосновении человека или животных к оголённым проводам нарушается сердечный ритм, могут возникнуть ожоги. Электрическими взаимодействиями обусловлены все нормальные функции организма: работа мышц, дыхание, сердцебиение. Информация, получаемая различными органами чувств, передаётся в мозг с помощью электрических сигналов. Хотя электрические токи и участвуют в функционировании организма, токи от внешних источников при прохождении через жизненно важные органы могут вызвать их повреждение или даже смерть человека.

В большинстве ситуаций ток, протекающий через тело, зависит от состояния тела в точке контакта. Сухая кожа имеет большее сопротивление, чем влажная, в которой присутствуют ионы, обеспечивающие беспрепятственное прохождение тока. При сухой коже сопротивление между крайними точками тела (от ноги до руки или от одной руки до другой) около 10^5 Ом. Полное сопротивление между потными руками уменьшается до 1500 Ом.

Наиболее чувствительными к электрическому току частями организма являются мозг, грудные мышцы и нервные центры, которые контролируют дыхание и сердце. Считают, что электрический ток вызывает паралич сер-

дца. Обычно смерть наступает тогда, когда сила тока, проходящего через человеческое тело, достигает 0,05—0,1 А.

Опасность подстерегает нас не только тогда, когда мы включаемся в сеть, касаясь обоих подводящих ток проводов. Однополюсное прикосновение также опасно, если человек стоит, например, босой на влажной земле. Техника безопасности обязывает во всех промышленных установках заземлять доступные части машин и приборов. В этом случае напряжения между человеком, стоящим на земле, и металлом, соединённым с землёй, нет. И опасность поражения электрическим током устранена.



Почему вблизи того места, где оборванный провод высокого напряжения соприкасается с землёй, рекомендуется стоять на одной ноге или уходить очень мелкими шагами?

§ 39

РАСЧЁТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА. УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Вы уже знаете, что при прохождении электрического тока по металлическому проводнику свободные электроны взаимодействуют с ионами кристаллической решётки. Это взаимодействие замедляет движение электронов и препятствует прохождению тока. Для характеристики этого явления существует физическая величина — сопротивление.

От чего зависит сопротивление и как его рассчитать? Этот вопрос исследовал Ом. Он экспериментально установил, что сопротивление однородного металлического проводника прямо пропорционально его длине и обратно пропорционально площади его поперечного сечения. Кроме того, сопротивление должно зависеть от вещества, из которого состоит проводник. Действительно, ионы кристаллической решётки различных металлов имеют разные заряды, они находятся на разных расстояниях друг от друга, а значит, свободные электроны по-разному с ними взаимодействуют при движении по проводнику.

Для проверки зависимостей сопротивления от рода вещества, длины и площади попереч-

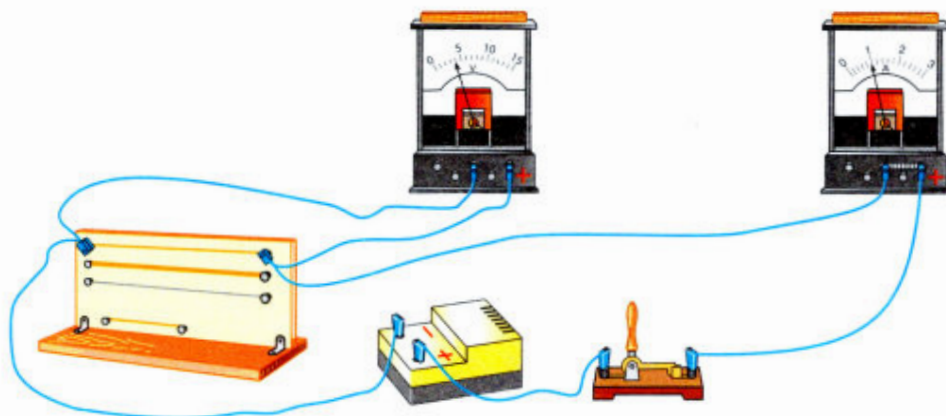


Рис. 92. Определение зависимости сопротивления проводника от его размеров и рода вещества

ного сечения проводника проделаем опыт (рис. 92). На доске натянута четыре разных проводника. Используя закон Ома для участка цепи, определим и сравним сопротивления следующих проводников:

- двух проводников с одинаковой площадью поперечного сечения (толщиной), состоящих из одного вещества (никеля), но разной длины;

- двух проводников одинаковой длины, состоящих из одного вещества (никеля), но с разной площадью поперечного сечения;

- двух проводников одинаковой длины, с одинаковой площадью поперечного сечения, но состоящих из различных веществ (никеля и никрома).

Результаты опыта подтверждают выводы Ома. Сопротивление проводника:

- 1) прямо пропорционально его длине;
- 2) обратно пропорционально площади поперечного сечения;
- 3) зависит от рода вещества, из которого изготовлен проводник.

Физическую величину, показывающую, каким сопротивлением обладает проводник длиной 1 м, площадью поперечного сечения 1 м^2 , сделанный из данного вещества, называют удельным сопротивлением.

Удельное сопротивление обозначают греческой буквой ρ («ро»).

Теперь можно записать формулу для расчёта сопротивления проводника:

$$R = \frac{\rho l}{S},$$

$$R = \frac{\rho l}{S}$$

где l — длина проводника, S — площадь поперечного сечения.

Выразим из неё удельное сопротивление:

$$\rho = \frac{RS}{l}.$$

$$\rho = \frac{RS}{l}$$

Эта формула позволяет определить единицу удельного сопротивления. Так как единицей сопротивления является 1 Ом, единицей площади поперечного сечения — 1 м², а единицей длины — 1 м, то единицей удельного сопротивления будет *ом-метр* (Ом · м).

Площадь поперечного сечения часто измеряют в мм², поэтому используют и другую единицу удельного сопротивления — $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

В таблице 9 приведены удельные сопротивления некоторых веществ.

Таблица 9. Удельное электрическое сопротивление некоторых веществ (при $t = 20^\circ\text{C}$)

Вещество	$\rho,$ $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Вещество	$\rho,$ $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Вещество	$\rho,$ $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
Серебро	0,016	Никелин	0,40	Нихром	1,1
Медь	0,017	(сплав)		(сплав)	
Золото	0,024	Манганин	0,43	Фехраль	1,3
Алюминий	0,028	(сплав)		(сплав)	
Вольфрам	0,055	Константан	0,50	Графит	13
Железо	0,10	(сплав)		Фарфор	10 ¹⁹
Свинец	0,21	Ртуть	0,96	Эбонит	10 ²⁰



1. Как зависит сопротивление проводника от его длины и от площади поперечного сечения? 2. Объясните выбор проводников в опыте, изображённом на рисунке 92. 3. Что показывает удельное сопротивление проводника? 4. По какой формуле можно рассчитать сопротивление проводника? 5. Какова единица удельного сопротивления?



Удельное сопротивление меди равно $1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом \cdot м. Что это означает?



УПРАЖНЕНИЕ 31

1. Каково сопротивление нихромовой проволоки длиной 1 м, если её площадь поперечного сечения 1 мм^2 ?
2. Имеется два проводника одинакового сечения, изготовленные из одного материала. Длина одного 10 см, другого 60 см. Какой проводник имеет большее сопротивление и во сколько раз?
3. Имеется два медных проводника одинаковой длины. У одного площадь поперечного сечения 1 мм^2 , у другого 5 мм^2 . У какого проводника сопротивление меньше и во сколько раз?
4. Имеется два проводника одинаковой площади поперечного сечения и длины. Один из меди, другой из вольфрама. Какой проводник имеет большее сопротивление и во сколько раз?
5. Кусок проволоки без изоляции разрезали пополам и половинки свили вместе. Изменилось ли сопротивление проволоки и во сколько раз?
6. Сколько метров вольфрамового провода площадью поперечного сечения $0,1 \text{ мм}^2$ потребуется для изготовления резистора сопротивлением 180 Ом ?
7. Провод стационарного телефона состоит из 20 медных проволочек площадью поперечного сечения $0,05 \text{ мм}^2$ каждая. Определите сопротивление $1,5 \text{ м}$ такого провода.



ЗАДАНИЕ

1. Придумайте несколько задач, используя данные таблицы 9. Обменяйтесь с товарищем условиями задач и решите их.
2. Из металлической фольги изготовьте проводники с различным сопротивлением так, чтобы их сопротивления отличались в 2, 3, 5, 10 раз. Обоснуйте правильность выполнения задания.

Это любопытно...

Из истории учения об электричестве

Изучением электрического тока занимался немецкий физик Георг Ом. Исследуя сопротивление проводников, он включал в цепь отрезки проволоки из одного и того же металла, но различной длины и толщины и определял, как меняется при этом сила тока в цепи. На основании таких опы-

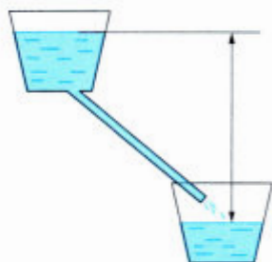


Рис. 93.
Гидродинамическая аналогия

тов Ом заключил, что сопротивление проводника пропорционально его длине и обратно пропорционально площади его поперечного сечения.

Ом проводил аналогию между электрическим током и током воды в трубе. По наклонной трубе, например, жидкость течёт под действием силы тяжести. Чем больше разница между уровнем верхнего сосуда, из которого вода вытекает (рис. 93), и нижнего, куда она течёт, тем быстрее вода движется. Одновременно чем больше сопротивление, встречаемое водой при движении по трубе, тем скорость меньше, и, наоборот, при уменьшении сопротивления увеличивается скорость течения. По аналогии

с разностью давлений при течении воды в трубе Ом ввёл понятие об электрическом напряжении, а по аналогии с гидравлическим сопротивлением — понятие об электрическом сопротивлении.

§ 40

ПРИМЕРЫ НА РАСЧЁТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА, СИЛЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Пример 1. Чему равно сопротивление алюминиевого провода длиной 400 м и площадью поперечного сечения 4 мм²?

Удельное сопротивление алюминия находим в таблице 9.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$l = 400 \text{ м}$$

$$S = 4 \text{ мм}^2$$

$$\rho = 0,028 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

$$R = ?$$

Решение:

Сопротивление проводника выражается формулой

$$R = \frac{\rho l}{S}.$$

$$R = 0,028 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \cdot \frac{400 \text{ м}}{4 \text{ мм}^2} = 2,8 \text{ Ом}.$$

Ответ: $R = 2,8 \text{ Ом}$.

Пример 2. Напряжение на концах константановой проволоки длиной 20 м и площадью поперечного сечения 1,25 мм² равно 40 В. Рассчитайте силу тока в проволоке.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$l = 20 \text{ м}$$

$$S = 1,25 \text{ мм}^2$$

$$U = 40 \text{ В}$$

$$\rho = 0,5 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

$$I = ?$$

Решение:

Силу тока определим по закону Ома для участка цепи:

$$I = \frac{U}{R}.$$

Сопротивление проводника найдём по формуле:

$$R = \frac{\rho l}{S}.$$

Подставив значения величин, получим:

$$R = 0,5 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \cdot \frac{20 \text{ м}}{1,25 \text{ мм}^2} = 8 \text{ Ом},$$

$$I = \frac{40 \text{ В}}{8 \text{ Ом}} = 5 \text{ А}.$$

Ответ: $I = 5 \text{ А}$.

Пример 3. Катушка состоит из нихромовой проволоки длиной 150 м и площадью поперечного сечения 0,75 мм². Определите напряжение на её концах, если сила тока в катушке 40 мА.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$l = 150 \text{ м}$$

$$S = 0,75 \text{ мм}^2$$

$$I = 40 \text{ мА}$$

$$\rho = 1,1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

$$U = ?$$

СИ

$$0,04 \text{ А}$$

Решение:

Напряжение можно найти по закону Ома для участка цепи:

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow U = IR.$$

Сопротивление проводника определим по формуле:

$$R = \frac{\rho l}{S}.$$

Учитывая это выражение, получим формулу для расчёта напряжения:

$$U = I \frac{\rho l}{S}.$$

Подставив значения величин, найдём напряжение:

$$U = 0,04 \text{ А} \cdot 1,1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \cdot \frac{150 \text{ м}}{0,75 \text{ мм}^2} = 8,8 \text{ В}.$$

Ответ: $U = 8,8 \text{ В}$.



УПРАЖНЕНИЕ 32

1. Ученик заменил перегоревшую медную спираль на стальную такого же сечения и длины. Во сколько раз изменилась сила тока, если напряжение на концах стальной спирали такое же, какое было на медной? Удельное сопротивление стали $0,12 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.
2. Определите сопротивление медного провода площадью поперечного сечения $2,5 \text{ мм}^2$ и длиной 40 м .
3. Под каким напряжением находится никелиновый проводник длиной 12 м и площадью поперечного сечения $0,1 \text{ мм}^2$, если сила тока в проводнике 4 А ?
4. Сварочный аппарат подсоединяют в сеть медными проводами длиной 100 м и площадью поперечного сечения 50 мм^2 . Определите напряжение на проводах, если сила тока в них 125 А .
5. Длина провода, подводящего ток к потребителю, равна 120 м . Какую площадь поперечного сечения имеет медный провод, если при силе тока 10 А напряжение на его концах равно 4 В ?
6. Из какого материала изготовлен проводник длиной 2 км и площадью поперечного сечения 20 мм^2 , если сила тока, проходящего по проводнику, равна 2 А при напряжении на его концах 220 В ?



ЗАДАНИЕ

- Предложите способ определения длины проволоки в катушке, не разматывая её. Какие приборы для этого вам понадобятся?

§ 41

РЕОСТАТЫ

Существуют приборы, сопротивление которых можно менять. Одним из таких приборов является *реостат*.

Простейшим реостатом может служить проволока, натянутая между двумя изолированными штативами и подключённая к источнику тока через контакты *A* и *C* последовательно

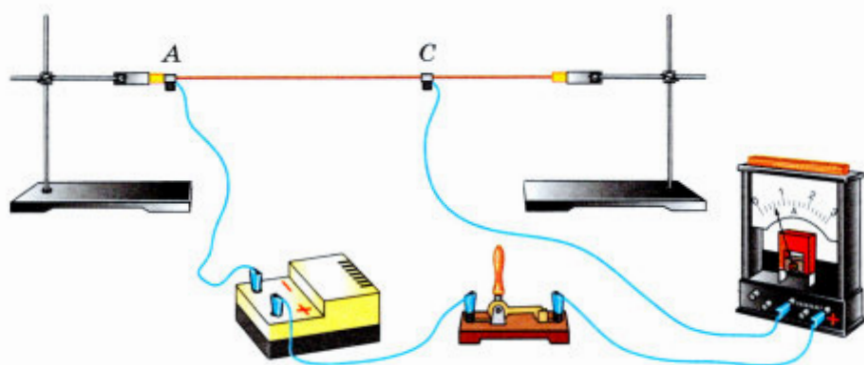


Рис. 94. Изменение длины проводника, включённого в цепь

с амперметром (рис. 94). Необходимо использовать проволоку из материала с большим удельным сопротивлением, например никелиновую или нихромовую. Включив такую проволоку в цепь и передвигая по ней подвижный контакт *C*, можно изменять длину включённого в цепь участка *AC*. При этом будет увеличиваться или уменьшаться сопротивление цепи, а следовательно, и сила тока в ней.

В школе часто применяется ползунковый реостат, изображённый на рисунке 95. В нём на изолирующий цилиндр (керамический) намотана проволока, покрытая тонким слоем изолирующего лака или окалиной. Над цилиндром расположен металлический стержень, по которому перемещается ползунок. Он своими контактами стирает изоляцию, и ток по проволоке идёт к ползунку. От верхней клеммы ток по металлическому стержню проходит к ползунку и от него по виткам проволоки на цилиндре к нижней клемме. Вся эта конструкция закрепляется на изолирующей подставке.

При перемещении ползунка влево (рис. 95, *a*) увеличивается число витков проволоки, которые подключены в цепь. Значит, увеличивается длина проводника и, следовательно, его сопротивление. Поэтому реостат ещё называют переменным резистором. Таким образом, с помощью реостата регулируется сила тока в цепи.

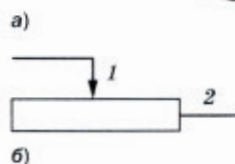


Рис. 95. Реостат:
a — внешний вид;
б — обозначение на схемах



Реостат (переменный резистор)

Каждому реостату соответствует максимальное сопротивление и допустимая сила тока, которые указываются на его корпусе.



1. Каково назначение реостата в электрической цепи? 2. Объясните по рисунку 95, а, как устроен ползунковый реостат. Каково условное обозначение реостата на схеме? 3. Почему реостаты изготавливают из проволоки, удельное сопротивление которой велико? 4. Для каких величин указывают на реостате их допустимые значения?



УПРАЖНЕНИЕ 33

- Определите силу тока, проходящего через реостат, изготовленный из никелиновой проволоки длиной 50 м и площадью поперечного сечения 1 мм^2 , если напряжение на зажимах реостата равно 45 В.

§ 42

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

На практике используются электрические цепи, которые обычно состоят из нескольких потребителей электрической энергии. Все они по-разному соединены между собой.

Проводники могут соединяться *последовательно*, как показано на рисунке 96. При таком соединении весь электрический заряд, прошедший через первый проводник, должен пройти и через все остальные, а это означает, что сила тока в последовательно соединённых проводниках одинакова.

Вы знаете, что напряжение показывает, какую работу совершает электрическое поле по перемещению единичного заряда из одной точ-

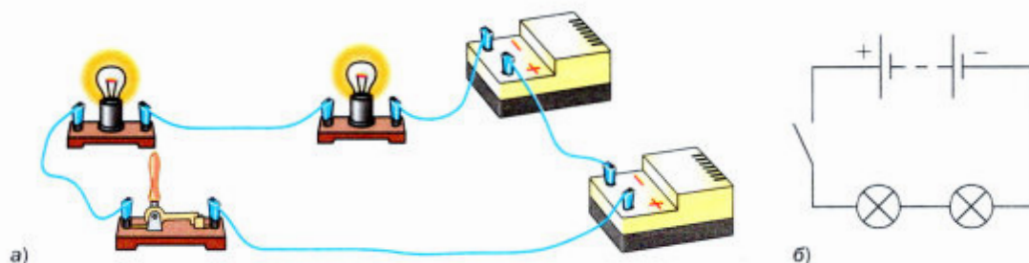
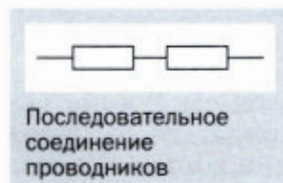


Рис. 96. Последовательное включение электрических ламп и источников тока

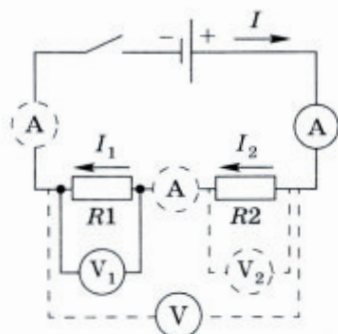


Рис. 97. Последовательное соединение проводников

ки поля в другую. За определённое время через поперечное сечение каждого из последовательно соединённых проводников проходит одинаковый заряд. При этом общая работа электрического поля по перемещению заряда равна сумме работ в каждом проводнике, а значит, и общее напряжение на нескольких соединённых последовательно проводниках равно сумме напряжений на каждом из них.

Чтобы убедиться в этом, соберём цепь по схеме, изображённой на рисунке 97. Она состоит из источника тока, двух резисторов¹, амперметра, соединённых последовательно, и вольтметра. Как проверить, что сила тока, протекающего на всех участках последовательной цепи, одинакова? Для этого надо подключить амперметр последовательно в различных участках цепи (см. рис. 97).

Амперметр будет показывать одно и то же значение, т. е. сила тока на всех участках цепи при последовательном соединении одинакова:

$$I = I_1 = I_2.$$

$$I = I_1 = I_2$$

Этот вывод является следствием закона сохранения электрического заряда. Если через поперечное сечение проводника вошёл некоторый заряд, то такой же заряд должен выйти, поскольку новые заряды в проводнике не образуются и его полный заряд не меняется.

Чтобы выяснить распределение напряжения на участках (резисторах) последовательной цепи, необходимо подключать параллельно к каждому резистору вольтметр, затем этим же вольтметром надо измерить общее напряжение на двух резисторах, как показано на рисунке 97. Опыт показывает, что **общее напряжение в последовательной цепи равно сумме напряжений на её отдельных участках:**

¹ Резистор — проводник с известным сопротивлением.

$$U = U_1 + U_2.$$

$$U = U_1 + U_2$$

Чем больше сопротивление участка последовательной цепи, тем больше напряжение на нём.

Действительно, применив закон Ома для участка цепи $I = \frac{U}{R}$ и учитывая, что $I_1 = I_2$, получим:

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2}$$

или

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Напряжения на последовательно включённых проводниках прямо пропорциональны их сопротивлениям.

Из соотношения $U = U_1 + U_2$ и закона Ома следует:

$$IR = IR_1 + IR_2$$

или

$$R = R_1 + R_2.$$

$$R = R_1 + R_2$$

Таким образом, общее сопротивление нескольких последовательно соединённых проводников равно сумме сопротивлений каждого из них.

Полученный результат можно проиллюстрировать простым рассуждением. Рассмотрим несколько последовательно соединённых одинаковых проводников. Их площадь поперечного сечения одинакова, а длина равна сумме всех длин. Мы знаем, что при увеличении длины проводника его сопротивление увеличивается. Сопротивление нескольких соединённых последовательно проводников больше, чем сопротивление любого из них.

Пример. Цепь состоит из двух последовательно соединённых проводников сопротивлениями 10 и 20 Ом. Найдите силу тока в цепи и напряжение на каждом проводнике, если напряжение на концах цепи равно 6 В.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$R_1 = 10 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 20 \text{ Ом}$$

$$U = 6 \text{ В}$$

$$I - ?$$

$$U_1 - ?$$

$$U_2 - ?$$

Решение:

Общее сопротивление цепи:

$$R = R_1 + R_2,$$

$$R = 10 \text{ Ом} + 20 \text{ Ом} = 30 \text{ Ом}.$$

Сила тока в цепи:

$$I = \frac{U}{R},$$

$$I = \frac{6 \text{ В}}{30 \text{ Ом}} = 0,2 \text{ А}.$$

При последовательном соединении проводников

$$I = I_1 = I_2.$$

Напряжение на каждом из проводников:

$$U_1 = IR_1, \quad U_1 = 0,2 \text{ А} \cdot 10 \text{ Ом} = 2 \text{ В};$$

$$U_2 = IR_2, \quad U_2 = 0,2 \text{ А} \cdot 20 \text{ Ом} = 4 \text{ В}.$$

$$\text{Ответ: } I = 0,2 \text{ А}, \quad U_1 = 2 \text{ В}, \quad U_2 = 4 \text{ В}.$$



1. Какое соединение проводников называют последовательным? Нарисуйте схему такого соединения. **2.** Какая физическая величина одинакова для всех проводников, соединённых последовательно? Объясните почему. **3.** Как найти напряжение на участке цепи, состоящем из последовательно соединённых проводников, зная напряжение на каждом? **4.** Как найти общее сопротивление последовательно соединённых проводников, зная сопротивление каждого?



УПРАЖНЕНИЕ 34

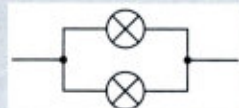
1. Участок электрической цепи содержит три резистора сопротивлением 10, 20 и 30 Ом, соединённых последовательно. Найдите силу тока в каждом резисторе и напряжение на концах каждого участка цепи, если напряжение на втором резисторе равно 40 В.
2. Сколько одинаковых резисторов было соединено последовательно, если каждый из них имеет сопротивление 100 Ом, а их общее сопротивление равно 700 Ом?
3. Общее сопротивление трёх обмоток телефонных реле, соединённых последовательно, равно 3200 Ом. Сопротивление одной из них равно

600 Ом, другой — 1200 Ом. Вычислите сопротивление третьей обмотки.

4. При исследовании электрической цепи ученик установил, что сила тока в одном резисторе равна 2 А, напряжение на его концах 4 В. На другом резисторе напряжение 10 В, сила тока 2 А. Он измерил напряжение на двух резисторах, и оно оказалось равным 14 В. Можно ли сказать, что резисторы соединены последовательно? Почему?
- 5*. Сила тока в электрической цепи, содержащей проводник сопротивлением 12 Ом, равна 0,06 А. После того как к проводнику последовательно подсоединили стальной провод площадью поперечного сечения 1 мм², сила тока в цепи стала 0,04 А. Определите длину провода. Удельное сопротивление стали 0,12 $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

§ 43

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ



Параллельное соединение двух ламп

Наряду с последовательным соединением проводников существует и другой способ соединения проводников, также применяемый на практике — **параллельное** соединение (рис. 98). При таком соединении один конец всех проводников соединяют в точке *A* (рис. 98, б), а другой конец — в точке *B*.

Для изучения параллельного соединения проводников соберём электрическую цепь, состоящую из источника тока и двух резисторов, амперметра, вольтметра и ключа (рис. 99). Измерим напряжение на каждом резисторе отдельно и убедимся, что **напряжение на всех параллельно соединённых резисторах одинаково**:

$$U = U_1 = U_2$$

$$U = U_1 = U_2.$$

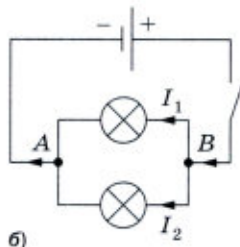
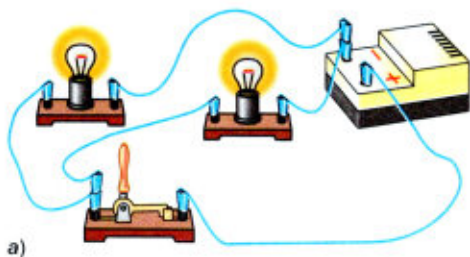


Рис. 98. Параллельное соединение электрических ламп

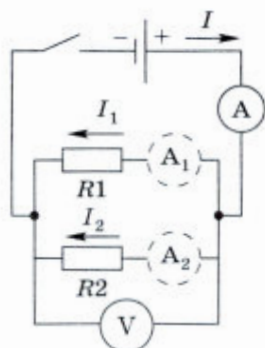


Рис. 99. Параллельное соединение проводников

Для того чтобы понять, как распределяется сила тока при параллельном соединении проводников, будем подключать амперметр последовательно с каждым резистором и в неразветвлённую часть цепи (см. рис. 99).

Из опыта следует, что **сила тока в неразветвлённой части цепи равна сумме сил токов на её отдельных участках**:

$$I = I_1 + I_2.$$

Согласно закону Ома, напряжение на участке цепи $U = IR$. Так как при параллельном соединении $U_1 = U_2$, то можно записать:

$$I_1 R_1 = I_2 R_2.$$

Отсюда

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}.$$

$$I = I_1 + I_2$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Таким образом, *чем больше сопротивление участка цепи, тем меньше сила тока в нём*.

Если два проводника соединены параллельно, то их общее сопротивление меньше сопротивления каждого из них. Параллельное соединение как бы увеличивает сечение проводника. Общее сопротивление двух параллельно соединённых проводников можно определить из формулы

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2},$$

откуда

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Сравним параллельное и последовательное соединение проводников.

Напряжение на параллельных участках цепи одинаково, сила тока в каждом участке «своя». При параллельном соединении приборов каждый прибор в цепи работает независимо

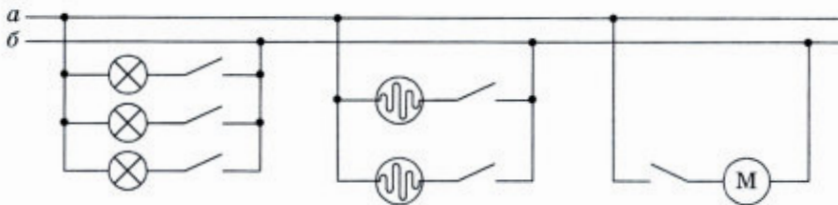


Рис. 100. Параллельное включение в цепь различных потребителей

от другого. Отключение одного прибора не влияет на работу других, поэтому все бытовые приборы в квартире включены параллельно. На рисунке 100 показана схема соединения трёх ламп, двух электронагревательных приборов и электродвигателя (например, мясорубки).

Сила тока в последовательно соединённых проводниках одна и та же. Напряжение на каждом участке цепи «своё», поэтому в цепь можно включать приборы, рассчитанные на меньшее напряжение. Однако при последовательном соединении, если выходит из строя один участок цепи (перегорает лампочка), отключается вся цепь.

Последовательное соединение используется при соединении ламп трамваев. Напряжение в сети трамвая 600 В. Лампочки, рассчитанные на 120 В, включают последовательно по 5 лампочек. Последовательно включены лампочки ёлочной гирлянды, поэтому при выходе из строя одной из них гаснет вся гирлянда.

Дверные контакты лифта всех этажей включены последовательно в цепь прибора, управляющего включением электродвигателя, поднимающего кабину. Поэтому, на каком бы этаже дверь ни оказалась открытой, цепь будет разомкнута и двигатель не включится. Он сможет включиться только тогда, когда закрыты все двери и замкнута цепь, проходящая через дверные контакты всех этажей. Пусковые же кнопки внутри кабины в общей схеме управления соединены параллельно. Поэтому, нажав на любую из них, можно включить двигатель лифта.

Пример. Два проводника сопротивлениями 3 и 9 Ом соединены параллельно и включены в электрическую цепь напряжением 27 В. Найдите силу тока в каждом проводнике и в неразветвлённой части цепи.

Дано:

$$R_1 = 3 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 9 \text{ Ом}$$

$$U = 27 \text{ В}$$

$$I - ?$$

$$I_1 - ?$$

$$I_2 - ?$$

Решение:

Напряжение при параллельном соединении на отдельных проводниках одинаковое $U_1 = U_2 = U$, поэтому по закону Ома для участка цепи сила тока в каждом проводнике:

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, \quad I_1 = \frac{27 \text{ В}}{3 \text{ Ом}} = 9 \text{ А};$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2}, \quad I_2 = \frac{27 \text{ В}}{9 \text{ Ом}} = 3 \text{ А}.$$

Сила тока в неразветвлённой части цепи:

$$I = I_1 + I_2,$$

$$I = 9 \text{ А} + 3 \text{ А} = 12 \text{ А}.$$

Ответ: $I_1 = 9 \text{ А}$, $I_2 = 3 \text{ А}$, $I = 12 \text{ А}$.



1. Какое соединение проводников называют параллельным? Изобразите его на схеме.
2. Какая из физических величин одинакова для всех проводников, соединённых параллельно? Объясните почему.
3. Как определить силу тока в неразветвлённой части цепи, если известны силы тока в каждой её ветви?
4. Как изменяется общее сопротивление участка цепи после увеличения числа проводников, соединённых параллельно?
5. Как соединены лампы в люстре? Обоснуйте свой ответ.



Используя закон Ома для участка цепи, получите формулу для определения общего сопротивления параллельно соединённых проводников.



УПРАЖНЕНИЕ 35

1. Два резистора сопротивлением 2 и 4 Ом соединены параллельно. Напряжение на резисторах равно 4 В. Найдите силу тока в общей цепи и в каждом резисторе.
2. Начертите схему электрической цепи, содержащей источник тока, две электрические лампы, два ключа и один звонок, так, чтобы звонок звонил, когда какая-нибудь из ламп горит.

3. Два резистора, сопротивления которых 15 и 25 Ом, подключены параллельно к батарее. Сила тока в первом резисторе 0,2 А. Найдите силу тока во втором резисторе.
4. Два разных проводника, соединённых параллельно, подключили к источнику тока. Амперметр, подключённый к первому проводнику, показал 0,8 А, а ко второму — 0,4 А. Во сколько раз отличаются сопротивления проводников?
5. Начертите схему такого соединения проводов в вашей квартире, при котором одновременно с выключением лампы в одной комнате загорается лампа в другой.



ЗАДАНИЕ



- Возьмите две лампочки для карманного фонаря и подключите их к батарее сначала параллельно, затем последовательно. Вместо проводов можете использовать алюминиевую фольгу. Вам потребуются и другие материалы, возможно, картон, пластилин или нечто совсем необычное. Расскажите о результатах вашей конструкторской работы.

§ 44

РАБОТА И МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Вы уже знаете, что напряжение между двумя точками цепи численно равно работе, которую совершает электрическое поле при перемещении заряда 1 Кл.

Работа по перемещению электрического заряда q на участке цепи

$$A = Uq.$$

Поскольку электрический заряд, прошедший по участку цепи за это время,

$$q = It,$$

$$A = UIt$$

то работу электрического тока можно найти следующим образом:

$$A = UIt.$$

Работа электрического тока на участке цепи равна произведению напряжения на концах этого участка, силы тока и времени прохождения тока.

Единицей работы, как вы знаете, является *джоуль* (Дж). Пользуясь формулой работы, эту единицу можно записать через единицы напряжения, силы тока и времени:

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}.$$

Для измерения работы электрического тока можно воспользоваться тремя приборами: вольтметром, амперметром и часами или же специальным прибором — *счётчиком электрической энергии*.

Напомним, что мощность — это работа, которая совершается в единицу времени. Из формулы $A = UI t$ можем получить выражение для мощности электрического тока:

$$P = UI$$

$$P = \frac{A}{t} \text{ или}$$

$$P = UI.$$

Мощность тока обозначают буквой P и измеряют в *ваттах* (Вт).

$$1 \text{ Вт} = 1 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Мощность электрического тока равна произведению напряжения и силы тока в цепи.

На практике используют кратные и дольные единицы мощности: *гектоватт* (гВт), *киловатт* (кВт), *мегаватт* (МВт).

$$1 \text{ гВт} = 100 \text{ Вт} = 10^2 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт} = 10^3 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ МВт} = 1\,000\,000 \text{ Вт} = 10^6 \text{ Вт}.$$

$$1 \text{ Вт} = 10^{-2} \text{ гВт}$$

$$1 \text{ Вт} = 10^{-3} \text{ кВт}$$

$$1 \text{ Вт} = 10^{-6} \text{ МВт}$$

Измерить мощность электрического тока можно с помощью вольтметра и амперметра или специального прибора — *ваттметра*.

Из формулы для расчёта мощности тока получим:

$$A = Pt,$$

откуда

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Вт} \cdot \text{с}.$$



При расчётах за электроэнергию используют другие единицы работы электрического тока: *ватт-час (Вт·ч)*, *гектоватт-час (гВт·ч)*, *киловатт-час (кВт·ч)*.

$$1 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ Дж};$$

$$1 \text{ гВт} \cdot \text{ч} = 100 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 360\,000 \text{ Дж};$$

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1000 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3\,600\,000 \text{ Дж}.$$

Пример. Электрическая плитка работает при силе тока 5 А и напряжении 120 В в течение 5 ч. Определите работу тока и стоимость израсходованной электроэнергии, считая, что тариф составляет 5 р. за 1 кВт·ч.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$I = 5 \text{ А}$$

$$U = 120 \text{ В}$$

$$t = 5 \text{ ч}$$

$$\text{Тариф} = 5 \frac{\text{р.}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

$A = ?$

Стоимость — ?

Решение:


Работа электрического тока:

$$A = UIt,$$

$$A = 120 \text{ В} \cdot 5 \text{ А} \cdot 5 \text{ ч} = 3000 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

$$\text{Стоимость} = 5 \frac{\text{р.}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}} \times 3 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 15 \text{ р.}$$

Ответ: $A = 3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$, стоимость = 15 р.



В конце месяца
011706

В начале месяца
0110982

Израсходовано
724 кВт·ч

Тариф
5 р. за 1 кВт·ч

Стоимость
 $5 \times 724 = 3620 \text{ р.}$

Снятие показаний счётчика и расчёт потребляемой энергии



1. Как, зная напряжение, силу тока и время, рассчитать работу электрического тока?
2. Какие единицы работы электрического тока вы знаете?
3. Какими приборами измеряют работу электрического тока?
4. Как рассчитать мощность электрического тока?
5. Какова единица мощности электрического тока?



УПРАЖНЕНИЕ 36

1. Чему равна работа, совершённая электрическим током за 5 мин в резисторе, рассчитанном на напряжение 24 В? Сила тока в резисторе 2 А.
2. Определите мощность тока в электрической лампе, если при напряжении 5 В сила тока в ней 100 мА.
3. Определите работу электрического тока, совершённую за 30 мин электрической плиткой мощностью 660 Вт.
4. Электрический паяльник мощностью 120 Вт рассчитан на напряжение 220 В. Найдите силу тока в обмотке паяльника и её сопротивление.
5. Электрическая печь, сопротивление которой 100 Ом, рассчитана на силу тока 2 А. Определите потребляемую электроэнергию за 4 ч непрерывной работы печи.
6. Используя рисунок на с. 159, вычислите сопротивление кондиционера, включённого в городскую сеть с напряжением 220 В.
- 7*. Две лампы рассчитаны на напряжение 220 В каждая и потребляют мощности 25 и 40 Вт. Какую мощность будут потреблять эти лампы, если их включить в цепь с напряжением 220 В: а) последовательно; б) параллельно?

§ 45

НАГРЕВАНИЕ ПРОВОДНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ. ЗАКОН ДЖОУЛЯ—ЛЕНЦА

Выделение энергии — одно из основных явлений, сопровождающих прохождение электрического тока в проводниках. В результате опытов было установлено, что количество теплоты, выделяемое в проводнике при прохождении по нему электрического тока, зависит от сопротивления проводника, квадрата силы тока и времени его прохождения. Этот физический закон был впервые установлен в 1844 г. русским академиком *Эмилием Христиановичем Ленцем* и, независимо от него, англий-



ЛЕНЦ ЭМИЛИЙ ХРИСТИАНОВИЧ

(1804—1865)

Русский физик, один из основоположников электротехники. С его именем связано открытие закона, определяющего тепловое действие тока, и закона, определяющего направление индукционного тока



ДЖОУЛЬ ДЖЕЙМС ПРЕСКОТТ

(1818—1889)

Английский физик. Обосновал на опытах закон сохранения энергии. Установил закон, определяющий тепловое действие электрического тока. Вычислил скорость движения молекул газа и установил её зависимость от температуры

ским физиком *Джеймсом Джоулем* (в честь него названа единица энергии), поэтому называется *законом Джоуля—Ленца*.

Количество теплоты, выделяемое в проводнике с током, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления проводника и времени прохождения тока.

$$Q = I^2Rt.$$

В отсутствие электрического поля все частицы проводника движутся хаотически. При возникновении электрического поля внутри проводника свободные электроны начинают двигаться направленно, сохраняя хаотическое тепловое движение, т. е. возникает электрический ток. При этом проводник нагревается. Электроны, двигаясь внутри проводника, под действием электрического поля увеличивают свою энергию и, встречая на своём пути ионы кристаллической решётки, передают им часть своей энергии. Это и приводит к нагреванию проводника.

Из закона сохранения энергии мы можем получить закон Джоуля—Ленца, не прибегая к эксперименту. Работа по перемещению электрического заряда $A = Uq$, а заряд $q = It$. Отсюда:

$$A = UIt.$$

Из закона Ома для участка цепи $I = \frac{U}{R}$ получим формулу для вычисления напряжения: $U = IR$. Если предположить, что вся работа электрического поля пошла на нагревание проводника, получим:

$$A = Q = I^2Rt.$$

Закон Джоуля—Ленца можно записать иначе:

$$Q = I^2 R t$$

$$Q = \frac{U^2}{R} t.$$

Нагревание проводников при прохождении по ним тока широко используется в электронагревательных приборах.



1. По какой формуле можно рассчитать количество теплоты, выделяемое в проводнике с током?
2. Сформулируйте закон Джоуля—Ленца.
3. Как можно объяснить нагревание проводника электрическим током?
4. Как, пользуясь законом сохранения энергии и законом Ома, можно выразить количество теплоты, выделяемое в проводнике с током, через силу тока, сопротивление проводника и время?



УПРАЖНЕНИЕ 37

1. Как изменится количество теплоты, выделяющееся за время t в данном проводнике, если сила тока увеличится в 2 раза?
2. Сила тока, протекающего по цепи сопротивлением 100 Ом, равна 2 А. Какое количество теплоты выделится в цепи за 15 мин?
3. Два резистора сопротивлением 5 и 10 Ом включены в цепь последовательно. Какое количество теплоты выделится в каждом резисторе за 5 мин, если напряжение на втором резисторе 20 В?
4. Два резистора сопротивлением 4 и 8 Ом включены в цепь параллельно. Сила тока в первом резисторе 2 А. Какое количество теплоты выделится в обоих резисторах за 20 с?
- 5*. Электрический кипятильник со спиралью сопротивлением 150 Ом помещён в сосуд, содержащий воду массой 0,5 кг при температуре 20 °С, и включён в сеть напряжением 220 В. Через 30 мин спираль выключили. Сколько граммов воды выкипело, если коэффициент полезного действия кипятильника 80%?

§ 46

КОНДЕНСАТОР. ЭЛЕКТРОЁМКОСТЬ КОНДЕНСАТОРА

Из § 27 нам известно, что вокруг заряженных тел существует электрическое поле, оно может совершать работу, а значит, электрическое поле обладает энергией. Электрическую энергию использует огромное количество различных машин, механизмов и приборов, в том

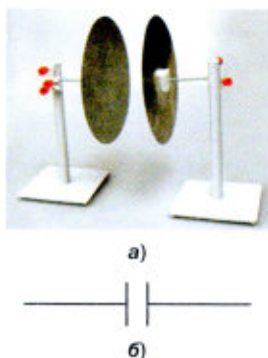


Рис. 101. Простейший конденсатор и его обозначение на схеме

числе бытовые электроприборы у нас дома. Интересен вопрос, можно ли накапливать энергию электрического поля и электрические заряды. Оказывается, да, для этих целей существует специальное устройство, которое называют **конденсатором** (от лат. *condensare* — сгущать, уплотнять). Простейший конденсатор состоит из двух металлических проводников (например, пластин), называемых **обкладками**. Они разделены тонким, по сравнению с размером обкладок, слоем диэлектрика (рис. 101).

Подключим обкладки конденсатора к источнику тока, например к электрофорной машине (рис. 102). Они получают заряды, равные по модулю и противоположные по знаку. Между обкладками возникает электрическое поле, сосредоточенное во внутреннем пространстве конденсатора.

Зарядом конденсатора называют заряд положительно заряженной пластины.

Заряды пластин сохраняются после отключения конденсатора от электрофорной машины.

Электрическое поле конденсатора обладает энергией. В этом можно убедиться, если к заряженному конденсатору подключить электрическую лампочку. В момент подключения к конденсатору лампочка вспыхнет.

Зарядим два разных конденсатора от одного и того же источника тока. Присоединим к ним одинаковые лампочки. В момент присоединения лампочек к конденсаторам они вспыхнут, но яркость вспышек будет разной. Это говорит о том, что конденсаторы при зарядке забрали от источника тока разную энергию. Значит, разные конденсаторы по-разному накапливают заряды и энергию. Свойство конденсатора накапливать на обкладках электрические заряды и создавать

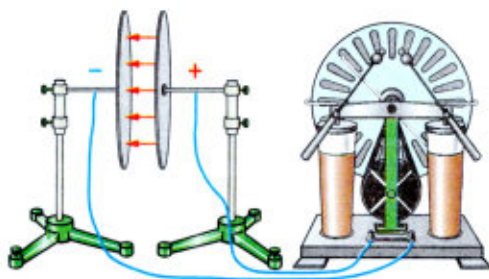


Рис. 102. Зарядка конденсатора от электрофорной машины

связанное с этими зарядами электрическое поле характеризуется специальной величиной — *электрической ёмкостью* (электроёмкостью, ёмкостью).

Электрическая ёмкость — это физическая величина, равная отношению заряда q конденсатора к напряжению U между его обкладками.

Электроёмкость обозначают буквой C .

$$C = \frac{q}{U}.$$

$$C = \frac{q}{U}$$

Единица электроёмкости — *фарад* (Φ) названа в честь М. Фарадея.

Электроёмкостью 1Φ обладает конденсатор, напряжение между обкладками которого равно 1 В при сообщении его обкладкам разноимённых зарядов по 1 Кл .

$$1 \Phi = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ В}}.$$

$$1 \Phi = 10^6 \text{ мк}\Phi$$

$$1 \Phi = 10^9 \text{ н}\Phi$$

$$1 \Phi = 10^{12} \text{ п}\Phi$$

Электроёмкость, равная 1Φ , — очень большая величина, поэтому на практике часто используют дольные единицы электроёмкости: *микрофард* ($\text{мк}\Phi$), *нанофард* ($\text{н}\Phi$) и *пикофард* ($\text{п}\Phi$).

$$1 \text{ мк}\Phi = 10^{-6} \Phi;$$

$$1 \text{ н}\Phi = 10^{-9} \Phi;$$

$$1 \text{ п}\Phi = 10^{-12} \Phi.$$

Электроёмкость конденсатора является постоянной величиной, она не зависит ни от заряда обкладок, ни от напряжения между ними. Ёмкость зависит только от геометрических характеристик (размера и формы обкладок, расстояния между ними) конденсатора и вида диэлектрика между обкладками.

Простейшим конденсатором является *плоский конденсатор*: его обкладки — металлические пластины. Выясним, от чего зависит электроёмкость плоского конденсатора. Для этого возьмём два конденсатора с разным размером

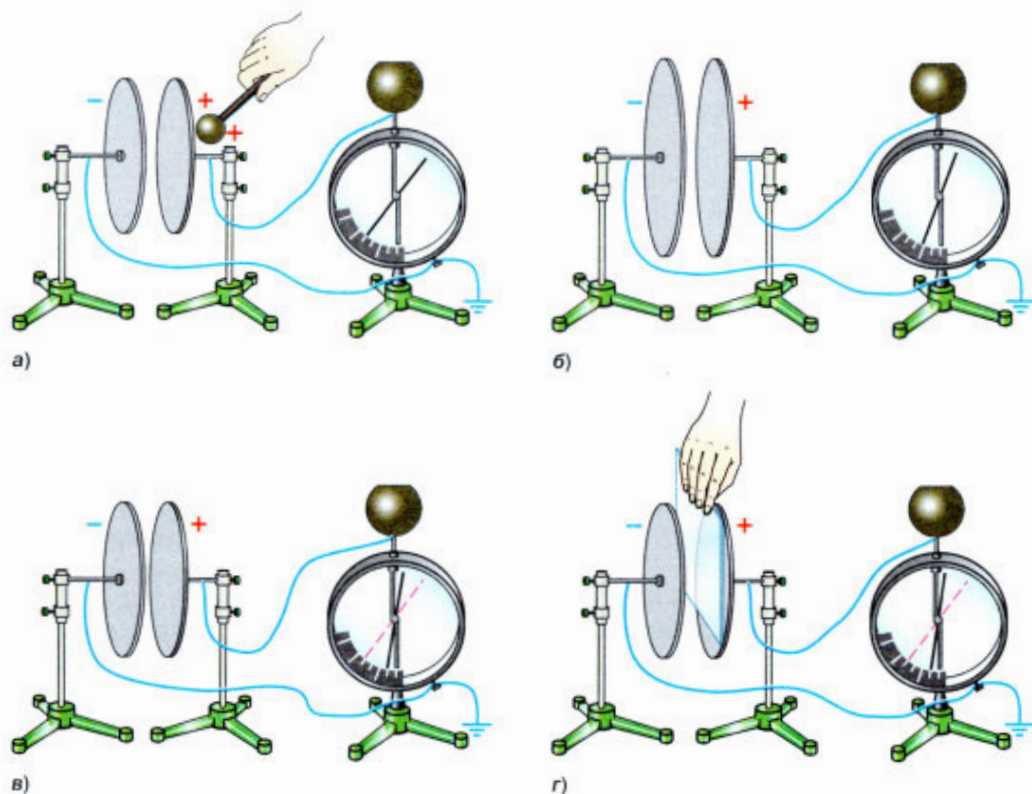


Рис. 103. Зависимость электроёмкости плоского конденсатора от его геометрических характеристик и вида диэлектрика

пластин. Одну из пластин каждого конденсатора соединим со стержнем электromетра, а вторую — с его заземлённым корпусом (рис. 103, а, б). В этом случае электromетр покажет напряжение между пластинами. Наэлектризованным шариком сообщим конденсаторам одинаковые заряды. Электromетры при этом покажут различное напряжение: между большими пластинами напряжение окажется меньше (см. рис. 103, а, б).

Значит, *электроёмкость плоского конденсатора увеличивается при увеличении площади его пластин.*

Уменьшим теперь расстояние между пластинами конденсатора, оставляя неизменной их



площадь. Сообщим конденсатору тот же заряд, что и в предыдущем опыте (см. рис. 103, а), и определим напряжение между пластинами. Электромметр покажет, что при уменьшении расстояния между ними напряжение между пластинами уменьшается (рис. 103, в).

Следовательно, *ёмкость плоского конденсатора увеличивается при уменьшении расстояния между его пластинами.*

Во всех предыдущих опытах между пластинами конденсатора был воздух, являющийся диэлектриком. Если между пластинами конденсатора поместить другой диэлектрик, например оргстекло, то электромметр покажет уменьшение напряжения (рис. 103, г).

Значит, *ёмкость конденсатора зависит от диэлектрика, который находится между его пластинами.*

В частности, *при внесении оргстекла между пластинами конденсатора его ёмкость увеличивается.* Диэлектрики, используемые в конденсаторах, могут быть различными. Существуют конденсаторы с твёрдым, жидким и газообразным диэлектриками.

На практике используют конденсаторы различных конструкций. В зависимости от формы обкладок конденсаторы делятся на плоские, цилиндрические, сферические и др.

Конденсатор является накопителем энергии электрического поля. Её можно вычислить по формулам:

$$W = \frac{qU}{2}$$

$$W = \frac{CU^2}{2}$$

$$W = \frac{q^2}{2C}$$

$$W = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$$

Конденсаторы широко используются в электротехнических, радиотехнических и электронных устройствах. Так, способность конденсатора накапливать электрический заряд применяют в элементах компьютерной памяти. А возможность получения импульса большой мощности при быстром разряде конденсатора используется в фотовспышках и импульсных лазерах.



1. Что такое конденсатор? Для чего он используется? 2. Как устроен конденсатор? Какие виды конденсаторов вам известны? 3. Какую физическую величину называют электроёмкостью конденсатора? Что она характеризует? От чего зависит электроёмкость конденсатора? 4. Какова единица электроёмкости? 5. Какой конденсатор называют плоским? От чего зависит электроёмкость плоского конденсатора? 6. От чего зависит энергия электрического поля заряженного конденсатора? В чём она измеряется?



Зная, что электроёмкость плоского конденсатора прямо пропорциональна площади его обкладок и обратно пропорциональна расстоянию между ними, ответьте на следующие вопросы.

1. Как изменилась электроёмкость плоского конденсатора, если площадь его обкладок увеличили в 5 раз?

2. Как изменилась электроёмкость плоского конденсатора, если расстояние между его обкладками уменьшили в 3 раза?

3. Как изменилась электроёмкость плоского конденсатора, если площадь его обкладок увеличили на 30%, а расстояние между ними уменьшили на 20%?

4. Как изменилась электроёмкость плоского конденсатора, если между его обкладками поместили эбонитовую пластину? Предложите экспериментальный способ определить, во сколько раз изменяется электроёмкость в этом случае.



УПРАЖНЕНИЕ 38

1. Определите электроёмкость конденсатора, который при присоединении его к источнику тока напряжением 10 кВ приобрёл заряд 10 мкКл.
2. Какой заряд приобретёт конденсатор электроёмкостью $4,5 \cdot 10^{-4}$ мкФ, если его присоединить к источнику тока напряжением 220 В?
3. Чему равна энергия электрического поля заряженного конденсатора электроёмкостью 3 мкФ, если его заряд равен 0,6 мКл?
4. Энергия электрического поля конденсатора электроёмкостью 300 пФ равна 15 мДж. Определите заряд конденсатора и напряжение между его обкладками.

§ 47

ЛАМПА ОСВЕЩЕНИЯ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

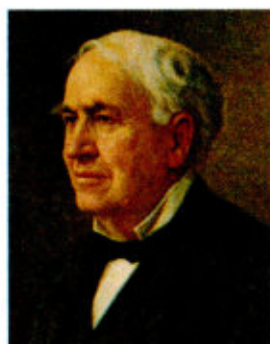
В 1876 г. в Лондоне на выставке точных физических приборов русский изобретатель *Павел Николаевич Яблочков* (1847—1894) демонстрировал перед посетителями необык-



**ЛОДЫГИН
АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ**

(1847—1923)

Русский электротехник, изобретатель лампы накаливания



ЭДИСОН ТОМАС

(1847—1931)

Американский изобретатель, основатель крупных электротехнических компаний. Усовершенствовал телеграф, телефон, лампу накаливания для промышленного производства

новенную электрическую свечу. Похожая по форме на обычную стеариновую свечу, она горела ослепительно ярким светом. В том же году свечи Яблочкова появились на улицах Парижа, а затем и Лондона. Помещённые в белые матовые шары, они давали яркий приятный свет. Новый свет назвали «русским светом». Газеты западноевропейских стран писали: «Свет приходит к нам с востока — из России», «Россия — родина света».

Что же представляла собой свеча Яблочкова? Она состояла из двух угольных стержней, расположенных параллельно друг другу и разделённых изолирующей прослойкой. Концы стержней соединялись угольной пластинкой. При пропускании тока пластинка сгорала и между концами угольных стержней появлялось яркое свечение, имеющее форму дуги. По мере сгорания углей изолирующая прослойка испарялась и светящаяся дуга не затухала. К сожалению, изобретение П. Н. Яблочкова в то время не нашло применения в России.

Примерно в то же время другой русский изобретатель *Александр Николаевич Лодыгин* предложил лампу накаливания. В лампе Лодыгина свет давал раскалённый угольный стержень, помещённый в стеклянный баллон. Такими лампами в 1873 г. была освещена одна из улиц Петербурга.

Американский изобретатель *Томас Эдисон* усовершенствовал лампу накаливания Лодыгина, заменив угольный стержень тонкой угольной нитью. Им же были изобретены винтовой цоколь лампы, поворотный выключатель, предохранитель с плавкой вставкой и штепсельное соединение. Электрическая лампа накаливания (рис. 104) стала использоваться для освещения жилых помещений, фабричных и завод-

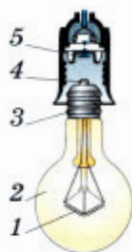


Рис. 104. Лампа накаливания:

1 — спираль; 2 — стеклянный баллон; 3 — цоколь; 4 — изолированное основание цоколя; 5 — пружинящий контакт патрона

ских цехов. Получили возможность работать при ярком электрическом освещении водолазы. Электрические лампы стали применяться в маяках.

В это же время в металлургии получили распространение электрические печи. Электрическая печь — это камера, облицованная высокоогнеупорным материалом. Разогревается печь электрическим током, проходящим или через специальные нагревательные элементы, или непосредственно через руду, которую необходимо расплавить. В некоторых случаях действие электрических печей основано на применении электрической дуги (выплавка алюминия и др.).

В быту используется много различных электронагревательных приборов: электрический камин даёт дополнительное тепло в той части комнаты, где оно вам необходимо; электрические чайники, кофейники служат для нагревания воды; на электроплитках быстро готовится пицца; мокрые волосы сушит поток сухого горячего воздуха, создаваемого электрическим феном; выстиранное бельё хозяйки гладят электрическим утюгом. Это перечисление можно продолжить, но мы остановимся подробно на отдельных приборах.

В современных квартирах на кухнях устанавливаются электрические плиты. Они заменили плиты, работающие на твёрдом топливе, и газовые плиты, так как являются экологически более чистыми: нет продуктов сгорания твёрдого топлива (золы, шлака, дыма), не происходит загрязнения окружающей среды. Электрические плиты имеют также технические преимущества: они снабжены системой автоматического регулирования температуры, которая позволяет при достижении нужной температуры автоматически отключать от электрической сети весь прибор или его часть (электронагревательный элемент или конфорки). При остывании электронагревательного прибора он автоматически снова включается в сеть.



Электронагревательные приборы



1. Пользуясь рисунком 104, расскажите, как устроена лампа накаливания.
2. Приведите примеры использования теплового действия тока.
3. Какими свойствами должен обладать металл, из которого изготавливают спирали электроплиток?



УПРАЖНЕНИЕ 39

1. Какая основная часть присутствует у всех электронагревательных приборов? Какое действие тока в них используется?
2. Почему электрическую лампу накаливания (см. рис. 104) можно использовать как электронагревательный прибор?
3. Почему провод, с помощью которого настольная лампочка включается в сеть, практически не нагревается, в то время как нить лампочки раскаляется добела?
4. Степень нагревания элементов электроплит может регулироваться. Как этого достигают?

§ 48

КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ. ПРЕДОХРАНИТЕЛИ

Для всех электрических цепей есть максимально допустимая сила тока. Она рассчитывается по нагрузке (приборам и потребителям), включаемой в цепь. Для электропроводки специально подбирают сечение подводящих проводов и их изоляцию. Бывают случаи, когда в цепь включают одновременно много потребителей, больше, чем рассчитывали. Тогда сила тока резко возрастает и в цепи возникает перегрузка. Подводящие провода сильно нагреваются, что может привести к пожару.

Резкое возрастание силы тока так же возможно, если при параллельном соединении один из потребителей обладает очень маленьким сопротивлением. Например, если из-за повреждения изоляции образуется контакт между проводами, идущими к лампочке. Такую ситуацию называют **коротким замыканием**. При этом происходит резкое уменьшение полного сопротивления цепи.

Короткое замыкание может возникнуть, например, при ремонте проводки под напряжением или случайном соприкосновении оголённых проводов. В таких случаях говорят:

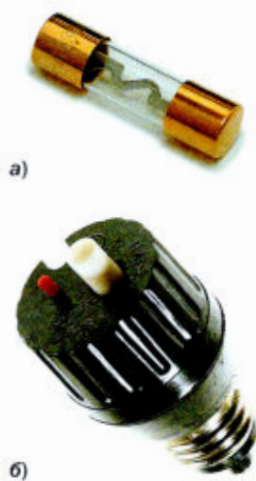


Рис. 105. Предохранители:
 а — плавкий;
 б — пробка-автомат

«провода закоротили». Во всех случаях, когда в цепи резко возрастает сила тока, провода могут перегреться и стать причиной пожара.

Чтобы этого не произошло, в электрическую цепь включают **предохранители**, назначение которых — мгновенно обесточить электрическую цепь, если сила тока в ней окажется выше допустимой нормы. Предохранители бывают разных типов, у многих из них есть главная часть, которая при резком возрастании силы тока сильно нагревается. У **плавкого предохранителя** (рис. 105, а) это проволока из легкоплавкого сплава, которая при нагревании плавится. В результате цепь размыкается.

В последнее время широко применяются предохранители, действие которых основано на расширении тел при нагревании. Основной элемент в них — биметаллическая пластинка. Такие предохранители получили название **автоматическая пробка** (рис. 105, б). Как же они работают?

Ток, проходя по биметаллической пластинке, нагревает её. Если сила тока в цепи превышает допустимую норму, биметаллическая пластинка сильно нагревается и изгибается, что приводит к размыканию цепи.

Биметаллическая пластинка состоит из двух одинаковых по размеру пластин из разных металлов, скреплённых вместе. При нагревании они изменяют свою длину по-разному, и поэтому биметаллическая пластинка изгибается. После остывания пластинки предохранитель вновь готов к использованию. Такие предохранители не перегорают и не требуют замены.



1. По какой причине может значительно увеличиться сила тока в сети?
2. В чём причина короткого замыкания?
3. Чем объяснить, что при коротком замыкании сила тока в цепи может достигнуть огромного значения?
4. Каково назначение предохранителей, включаемых в сеть?



1. Почему нить накала в современных лампах делают из вольфрама?
2. В какой лампе тоньше нить — в более или в менее мощной? Почему?



УПРАЖНЕНИЕ 40

1. Спираль утюга мощностью 1 кВт изготовлена из нихромовой проволоки площадью поперечного сечения $0,1 \text{ мм}^2$. Утюг включается в сеть напряжением 220 В. Определите длину проволоки.
2. Как изменилась мощность тока в электроплитке, если при ремонте проволоку её нагревательного элемента укоротили в 3 раза? Почему?
3. Две лампы имеют одинаковую мощность. По номиналу одна лампа рассчитана на напряжение 220 В, а вторая — 127 В. Отличаются ли сопротивления ламп? Во сколько раз?
4. Перегоревшую спираль электрического утюга мощностью 1,5 кВт укоротили на одну треть. Какой при этом стала мощность утюга?

ИТОГИ ГЛАВЫ

Вы познакомились с отличным от вещества видом материи — электрическим полем. Знаете, как его обнаружить, значит, можете доказать, что оно существует.

Понимаете, в чём заключается явление электризации, что такое электрический ток. Можете назвать и объяснить действия электрического тока.

Знаете, как рассчитать силу тока, напряжение, работу и мощность тока, сопротивление проводника. Какими приборами эти величины измерить и как включить их в электрическую цепь. Можете применить закон Ома для расчёта электрических цепей с последовательным и параллельным соединением проводников, закон Джоуля—Ленца для определения количества теплоты, выделяемого в проводнике при прохождении по нему тока.

ОБСУДИМ?

Ученик Ваня Петров приехал к бабушке на зимние каникулы. Его попросили нарядить ёлку и выдали игрушки и старую гирлянду. Когда Ваня включил гирлянду в сеть напряжением 220 В, одна из лампочек на ней особенно ярко вспыхнула, и гирлянда погасла. Рассмотрев гирлянду, Ваня обнаружил, что гирлянда состоит только из лампочек и соединительных

проводов, соединённых последовательно, а одна лампочка почернела изнутри. Немного подумав, он предложил другую схему соединения ламп гирлянды, более удобную для эксплуатации.

Какую схему нарисовал Иван? Предложите варианты соединения ламп, при которых гирлянда будет работать даже при перегоревшей лампочке и при включении не будет перегорать. Аргументируйте своё предложение.

ПРОЕКТЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ

1. «Модели строения атома» (возможная форма: презентация, макет, плакат).
2. «Статическое электричество, я тебя знаю!» (возможная форма: презентация, реферат, опыт, викторина).
3. «Фруктовые гальванические элементы, или сколько нужно лимонов, чтобы загорелась лампочка» (возможная форма: презентация, опыт).

Все вы знаете о существовании магнитов. С помощью магнитов в закрытом положении удерживаются дверцы кухонных полок, шкафов и холодильников. На письменном столе магнит удерживает металлические скрепки и прочую мелочь, содержащую железо. Используются магниты и на производстве в устройствах различных механизмов.

Тела, способные длительное время сохранять свойство притягивать железо или его сплавы, называют постоянными магнитами.

Слово «магнит» происходит от названия региона Магнися в Фессалии в Центральной Греции, который в древности был богат залежами минералов, способных притягивать железные предметы (рис. 106). Такие минералы, например магнитный железняк, являются природными, *естественными магнитами*.

Со временем люди научились делать и *искусственные магниты*. Так, было установлено, что если стальную спицу положить на магнит, то она сама станет магнитом или, как говорят, *намагнитится*. Некоторое время спица будет оставаться в таком состоянии, сохраняя способность притягивать железные опилки, гвозди и др.

Возьмём два стержня одинакового размера — стальной и железный — и поместим их вблизи одного и того же магнита. В присутст-

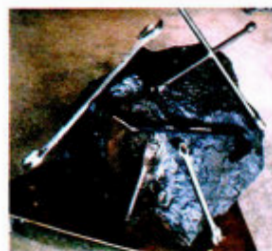


Рис. 106. Притяжение металлических тел естественным магнитом



Рис. 107. Постоянные магниты

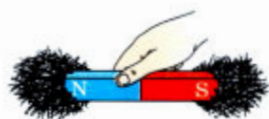


Рис. 108. Полюсы магнита

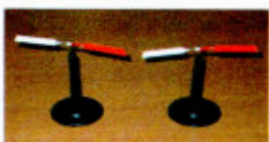


Рис. 109. Взаимодействии магнитных стрелок

вии магнита стержни приобретут способность притягивать железные предметы. Уберём магнит. Железный стержень почти полностью размагнитится, а стальной сохранит значительную часть магнитных свойств. Поэтому для изготовления постоянных искусственных магнитов используют некоторые сорта стали, а не железо.

Магниты могут быть различной формы, например полосовыми или дугообразными (подковообразными) (рис. 107). Те места магнита, вблизи которых обнаруживается наиболее сильное магнитное действие, называют *полюсами магнита* (рис. 108).

Магнит имеет два полюса: *северный магнитный* и *южный магнитный*. Северный полюс обозначают латинской буквой N и окрашивают синим, а южный обозначают буквой S и окрашивают красным. Если подвесить полосовой магнит за середину на нити, то независимо от начального положения он повернётся так, что одним полюсом будет указывать на север, а другим — на юг. Отсюда и названия полюсов. Магнитная стрелка компаса — это маленький полосовой магнит.

Приблизим магнитную стрелку к другой такой же стрелке. Заметим, что они повернутся и установятся противоположными полюсами друг против друга (рис. 109). Стрелка будет таким же образом взаимодействовать с любым магнитом.

Проведём другой опыт. Возьмём два полосовых магнита и будем приближать их друг к другу сначала одноимёнными, затем разноимёнными полюсами. Почувствуем в первом случае отталкивание, а во втором — притяжение. Можно сделать вывод: *магниты отталкиваются одноимёнными полюсами и притягиваются разноимёнными*. В этом опыте также можно заметить, что с уменьшением расстояния между полюсами магнитов сила их взаимодействия

возрастает и, наоборот, с увеличением расстояния сила уменьшается.

Магниты могут как притягиваться, так и отталкиваться подобно электрическим зарядам. Но вот что интересно. Если отрицательные заряды можно отделить от положительных (например, при электризации), то отделить северный полюс магнита от южного невозможно. Невозможно получить магнит с одним полюсом. Так, если взять полосовой магнит и разрезать его посередине, то получится два магнита с двумя полюсами (северным и южным) у каждого. В этом можно убедиться с помощью магнитной стрелки.

Наша планета Земля является гигантским магнитом. Именно поэтому магнитная стрелка, которая может свободно поворачиваться, устанавливается в направлении север—юг, если рядом с ней нет других магнитов. Более подробно о земном магнетизме вы узнаете из § 54.



1. Какие тела называют постоянными магнитами? **2.** Что называют магнитными полюсами магнита? **3.** Как взаимодействуют между собой постоянные магниты? **4.** Можно ли изготовить магнит, имеющий только один полюс?



Притяжение магнитов напоминает притяжение на расстоянии наэлектризованных тел. Приведите аргументы в пользу того, что взаимодействие магнитов не является электрическим.



УПРАЖНЕНИЕ 41

- Почему металлические опилки, притянувшиеся к одному полюсу магнита, расходятся своими концами?



ЗАДАНИЕ



- Прикрепите магнитную стрелку к пробке и опустите в воду. Как будет вести себя стрелка? Поднесите к стрелке постоянный магнит. Что изменится в поведении стрелки?


ЭРСТЕД ХАНС КРИСТИАН

(1777—1851)

Датский физик. Обнаружил действие электрического тока на магнитную стрелку, что привело к возникновению новой области физики — электромагнетизма

Познакомившись с действиями электрического тока, вы узнали о существовании магнитного действия тока. Вспомните, что гвоздь, обмотанный проводником с током, приобретает магнитные свойства (см. рис. 74). Поэтому можно предположить, что магнитное действие тока существует из-за того, что электрические и магнитные явления связаны между собой. В 1820 г. датский учёный *Ханс Кристиан Эрстед* впервые установил такую связь.

Проделаем следующий опыт. Соберём электрическую цепь, показанную на рисунке 110. Установим магнитную стрелку на подставке, дадим ей успокоиться. Поместим над стрелкой параллельно её оси проводник и замкнём цепь. Стрелка повернётся, стремясь расположиться перпендикулярно проводнику (см. рис. 110).

Именно это наблюдал Эрстед. Значит, электрический ток действует на магнитную стрелку на расстоянии!

Вскоре после открытия Эрстеда было обнаружено, что и магниты действуют на проводники с током, а два параллельных проводника с током взаимодействуют друг с другом подобно магнитам — притягиваются или отталкиваются.

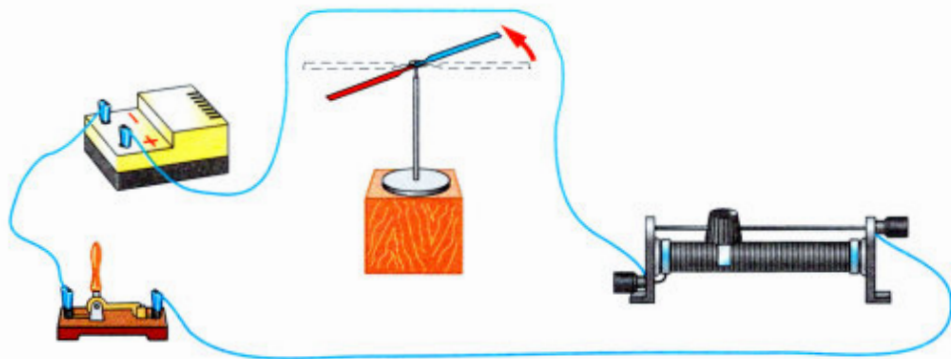


Рис. 110. Взаимодействие проводника с током и магнитной стрелки

Наблюдаемые взаимодействия можно объяснить, если предположить, что намагниченное тело и проводник с током порождают в окружающем пространстве *магнитное поле*, действующее на другие намагниченные тела и проводники с током с некоторой силой. Её называют *магнитной силой*.

Если изменить направление тока в проводнике, то магнитная стрелка повернётся на 180° . Следовательно, направление магнитной силы зависит от направления тока.

Магнитное поле возникает вокруг намагниченных тел и проводников с током, подобно тому, как вокруг наэлектризованных тел возникает электрическое поле. Магнитное поле материально, его можно обнаружить по действию на проводники с током.

До Эрстеда магнитные и электрические явления рассматривались как отдельные, независимые друг от друга. Заслуга Эрстеда заключается в том, что он установил связь между магнитными и электрическими явлениями.

Узнав об открытии Эрстеда и проведя ряд опытов, Ампер предположил, что действие постоянного магнита объясняется существованием внутри него замкнутых микроскопических электрических токов. Если токи расположены хаотически по отношению друг к другу, тело не обнаруживает магнитных свойств. Если же токи расположены согласованно, так что их действия усиливают друг друга, тело является магнитом. Как показало дальнейшее развитие науки, гипотеза Ампера оказалась справедливой.

Итак, *магнитное поле существует вокруг движущихся электрических зарядов (токов) и оказывает силовое действие только на движущиеся заряды.*



Опыт Эрстеда



1. Какие явления наблюдаются в цепи, в которой существует электрический ток?
2. Приведите примеры магнитных явлений.
3. В чём состоит опыт Эрстеда?
4. Какая связь существует между электрическим током и магнитным полем?



Во времена Ампера строение атома не было известно, и природа микроскопических токов оставалась непонятной. Используя знания о планетарной модели атома, выдвиньте гипотезу о том, что могут представлять собой токи Ампера.



УПРАЖНЕНИЕ 42

1. Почему в опыте Эрстеда проводник располагался параллельно оси магнитной стрелки, а не перпендикулярно?
- 2*. Магнитная стрелка, помещённая около провода, отклонилась при пропускании по нему тока. За счёт какой энергии совершена работа, необходимая для поворота стрелки?

Это любопытно...

Из истории электромагнетизма

21 июля 1820 г. в Копенгагене вышла на латинском языке брошюра «Опыты, касающиеся действия электрического конфликта на магнитную стрелку». Автор брошюры, профессор Копенгагенского университета Эрстед, разослал её во все учебные учреждения и физические журналы и этим актом подчеркнул важность своего открытия. И действительно, открытие Эрстеда произвело впечатление научной сенсации и вызвало столь мощный резонанс, что можно без преувеличения сказать: произошло второе рождение электричества.

В чём была причина шумного успеха такого примитивного опыта, который в наши дни без труда воспроизводит любой ученик, располагающий батарейкой от карманного фонаря и компасом? Как выяснилось, до Эрстеда уже были известны факты намагничивания стальных игл электрической искрой, размагничивания компасов молнией. Но эти факты носили характер случайных наблюдений и не только не обобщались, но даже и не описывались сколько-нибудь точно. Например, русские поморы, опытным путём открывшие «магнитные бури» компаса «на зорях» (т. е. северных сияниях), также могли претендовать на приоритет в открытии электромагнетизма.

Заслуга Эрстеда заключается прежде всего в том, что он понял важность и новизну своего открытия и привлёк к нему внимание учёного мира. «Гальваническое электричество, идущее с севера на юг над свободно подвешенной магнитной иглой, отклоняет её северный конец к востоку, а Ханс Кристиан Эрстед, проходя в том же направлении под иглой, отклоняет его к западу». Так была резюмирована Эрстедом сущность открытия. При этом он первоначально полагал, что соединительная проволока должна быть непременно накалённой, что вначале смущало физиков, считавших, что для успеха опыта нужна непременно мощная батарея. Од-

нако вскоре выяснилась ошибочность такого мнения, и опыты стали множиться в геометрической прогрессии. Сам Эрстед во второй статье в августе того же года отметил необязательность накаливания проволоки и показал, что свободно подвешенный замкнутый гальванический элемент, в свою очередь, отклоняется магнитом.

Принципиальная важность открытия Эрстеда заключалась в том, что был открыт новый вид взаимодействия — электромагнитный. Выявленное электромагнитное взаимодействие открывало широкие возможности технических приложений, о которых вы узнаете позже.

§ 51

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПРЯМОГО ТОКА И ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ. МАГНИТНЫЕ ЛИНИИ

Как вы уже знаете, вокруг проводника с током существует магнитное поле, которое оказывает действие на магнитную стрелку. Для исследования магнитного поля тока используем железные опилки. Они намагничиваются и ведут себя в магнитном поле как маленькие магнитные стрелки.

Исследуем поведение опилок в магнитном поле, созданном прямым проводником с током. Для этого расположим проводник вертикально, пропустив его сквозь лист картона, вокруг проводника на картон насыплем тонкий слой железных опилок (рис. 111). При включении электрического тока в проводнике железные опилки придут в движение и расположатся в определенном порядке. Они образуют окружности разного радиуса с одним центром (концентрические окружности), через который проходит проводник.

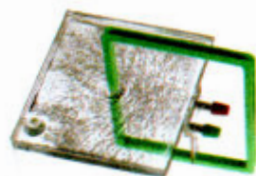
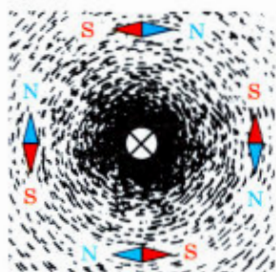


Рис. 111. Картина магнитного поля проводника с током

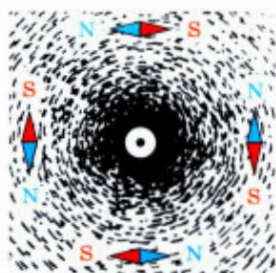
Линии, вдоль которых в магнитном поле располагаются оси маленьких магнитных стрелок, называют магнитными линиями.

Направление, которое указывает северный полюс магнитной стрелки в каждой точке поля, принято за *направление магнитной линии* (линии магнитного поля).

Экспериментально мы определили форму магнитных линий прямого тока. *Линии маг-*



а)



б)

Рис. 112. Расположение магнитных стрелок вокруг проводника с током

нитного поля тока представляют собой замкнутые кривые, охватывающие проводник.

Определим теперь, связано ли направление магнитных линий с направлением тока в проводнике. Проведём аналогичный опыт (см. рис. 111), дополнительно поместив вокруг прямого тока на одинаковом расстоянии от него несколько магнитных стрелок (рис. 112)¹.

При включении тока магнитные стрелки повернутся так, что их оси расположатся вдоль магнитной линии, т. е. по касательным к окружности, в центре которой расположен проводник (рис. 112, а).

Изменим направление тока в проводнике. Все магнитные стрелки повернутся на 180° (рис. 112, б).

Таким образом, опыт показал, что *направление линий магнитного поля тока связано с направлением тока в проводнике.*

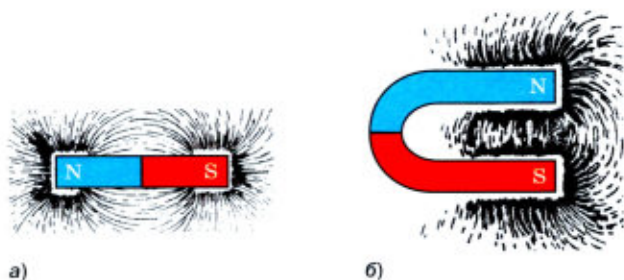
Форма магнитных линий может быть разной. Она зависит от формы проводника, по которому течёт ток. Но, независимо от формы, магнитная линия всегда замкнута. Кроме того, по расположению магнитных линий можно судить о действии магнитного поля: чем линии гуще, тем действие поля сильнее, и наоборот.

Воспользуемся железными опилками, чтобы получить представление о картинах линий магнитного поля постоянных магнитов.

На рисунке 113 показаны картины магнитных линий для полосового (рис. 113, а) и дугообразного (рис. 113, б) магнитов. Линии магнитного поля постоянного магнита — замкнутые, как линии магнитного поля тока. Вне магнита магнитные линии выходят из северного полюса магнита и входят в южный, замыкаясь внутри магнита.

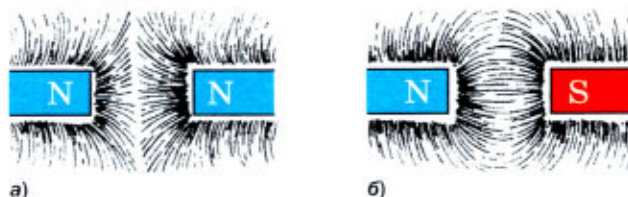
¹ Если проводник с током расположен перпендикулярно плоскости чертежа (на него смотрят сверху), кружком показывают сечение проводника. Направление тока обозначают точкой, если ток направлен на наблюдателя, и крестиком, если ток направлен от наблюдателя.

Рис. 113. Картина линий магнитного поля полосового и дугообразного магнитов



На рисунке 114, *а* показаны линии магнитного поля двух магнитов, обращённых друг к другу одноимёнными полюсами, а на рисунке 114, *б* — двух магнитов, обращённых друг к другу разноимёнными полюсами.

Рис. 114. Магнитные линии поля двух магнитов



1. Почему для изучения магнитного поля можно использовать железные опилки? 2. Как располагаются железные опилки в магнитном поле прямого тока? 3. Что называют магнитной линией? 4. Для чего вводят понятие магнитной линии? 5. Опишите опыт, позволяющий показать, что направление магнитных линий связано с направлением тока в проводнике. 6. Как можно получить представление о магнитном поле магнита?



УПРАЖНЕНИЕ 43

- На полу лаборатории под линолеумом проложен прямой провод. Как определить место нахождения провода, не вскрывая линолеума?



ЗАДАНИЕ



- Через середину листа картона пропустите прямой проводник (например, полоску станиоли). Насыпьте на картон железные опилки или мелко настриженные волосы. Пропустите электрический ток через проводник от батарейки. Слегка постукивая по картону, наблюдайте расположение опилок вокруг проводника.

Поставьте на картон магнитную стрелку (компас), заметьте её расположение. Измените направление тока в проводнике. Меняется ли направление магнитной стрелки? Объясните явление.

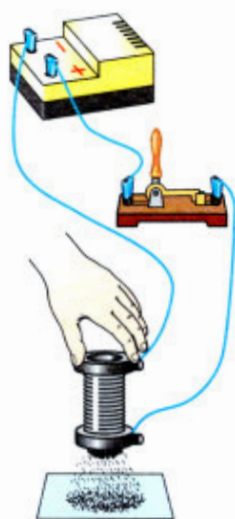


Рис. 115. Притяжение железных опилок катушкой с током

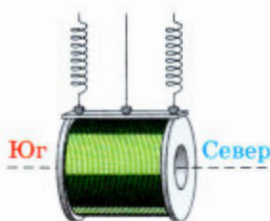


Рис. 116. Полюсы катушки с током

В предыдущем параграфе мы рассмотрели магнитное поле прямого тока. Рассмотрим теперь другой случай, который представляет наибольший практический интерес: магнитное поле, создаваемое катушкой с током.

Зачем из проводника создают катушку? Таким способом усиливают его магнитное действие. Действительно, если к какой-то точке пространства приблизить несколько участков проводника с током, то тем самым мы соберём их магнитные поля в одно целое. Это лучше всего получится, если из проводника сделать виток, а ещё лучше — несколько витков.

Устройство, изображённое на рисунке 115, называют *соленоидом* или катушкой. Она состоит из большого числа витков провода, намотанного вплотную на цилиндрический каркас, изготовленный из диэлектрика. При протекании тока по катушке внутри неё возникает магнитное поле, железные опилки притягиваются к её концам, т. е. катушка с током становится магнитом. При отключении тока опилки отпадают.

Опыт показывает, что катушка с током в магнитном поле ведёт себя подобно магнитной стрелке. Если катушку с током подвесить на тонких проводах, она повернётся одним торцом на юг, а другим — на север (рис. 116). Таким образом, у катушки с током есть *северный* и *южный* магнитные полюсы.

Вокруг катушки с током существует магнитное поле. С помощью магнитных стрелок или железных опилок можно найти форму магнитных линий катушки (рис. 117). Как и у прямого проводника с током, линии магнитного поля катушки с током представляют собой замкнутые кривые. Действие магнитного поля внутри катушки больше, чем снаружи, поэтому внутри катушки линии расположены ближе друг к дру-

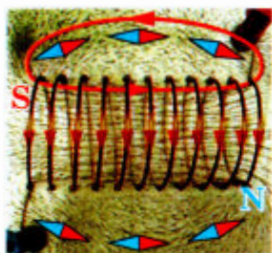


Рис. 117. Магнитные линии катушки с током

гу, чем вне катушки. Внутри катушки магнитные линии параллельны друг другу, а снаружи они искривляются и замыкаются. Магнитные линии вне катушки направлены от северного полюса катушки к южному.

Как можно усилить магнитное действие катушки? Опыт показывает, что при одинаковой силе тока катушка с большим числом витков притягивает больше железных опилок, чем катушка с меньшим числом витков. Следовательно, *магнитное действие катушки с током тем сильнее, чем больше число витков в ней.*

Магнитное действие катушки зависит и от силы тока в ней. Для выяснения этой зависимости соберём электрическую цепь, изображённую на рисунке 118. Силу тока в цепи изменять можно реостатом. Судить о действии магнитного поля катушки с током будем по количеству гвоздиков, притянувшихся к ней. Опыт показывает, что *при увеличении силы тока действие магнитного поля катушки с током усиливается, при уменьшении — ослабляется.*

Магнитное действие катушки с током можно усилить, вставив в неё железный стержень — сердечник (рис. 119). Следовательно, *магнит-*

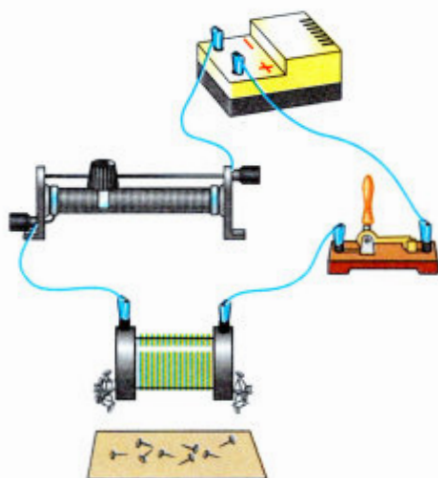


Рис. 118. Действие магнитного поля катушки

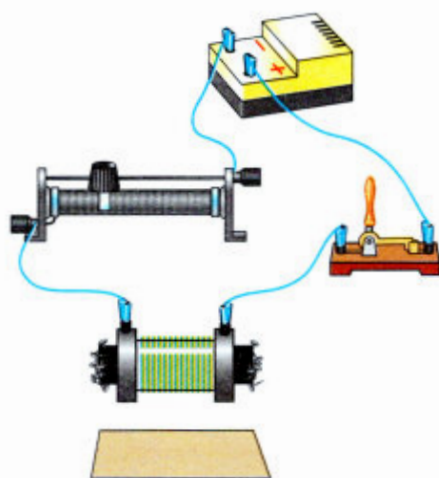


Рис. 119. Действие магнитного поля катушки с железным сердечником

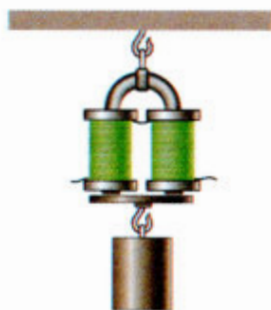


Рис. 120. Дугообразный электромагнит

ное действие катушки с сердечником сильнее, чем без сердечника.

Катушку с железным сердечником называют электромагнитом.

Электромагниты (рис. 120) притягивают железные предметы лишь тогда, когда в цепях их катушек течёт ток. Поэтому электромагнитом легко управлять — нужно лишь замкнуть или разомкнуть его цепь.

В зависимости от назначения электромагниты можно изготавливать самых различных размеров. Электромагниты, обладающие большой подъёмной силой, используют на заводах для переноски тяжёлых стальных или чугунных изделий, стружек, слитков (рис. 121).



Рис. 121. Применение электромагнитов

На рисунке 122 показан в разрезе магнитный сепаратор для зерна. С помощью сепаратора отделяют полезные зёрна злаковых культур от семян сорняков. Для этого в смесь семян сорняков и полезных злаков добавляют магнитный порошок. Зёрна злаков гладкие, а семена сорняков шероховатые, поэтому к сорнякам прилипают частички магнитного порошка. Эту смесь 1 высыпают из бункера на вращающийся барабан 2, внутри которого находится электромагнит 5. Семена сорняков 4 с частичками металла притягиваются магнитом.

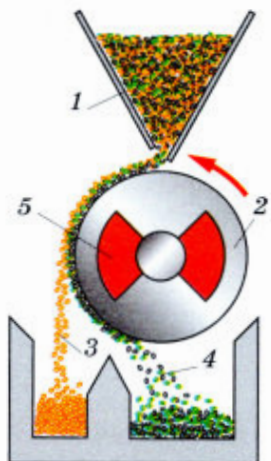


Рис. 122. Магнитный сепаратор

При повороте барабана семена сорняков вместе с частицами порошка и зёрна злаков 3 разделяются и попадают в разные ёмкости. Так зерно полезных злаков очищают от ненужных примесей.

Существуют магнитные сепараторы, которые используются и в других областях промышленности: в цехах по производству стекла и пластмассы, химической и деревообрабатывающей промышленности, на предприятиях, которые занимаются утилизацией и переработкой твёрдых бытовых отходов.



1. В каком направлении устанавливается катушка с током, подвешенная на длинных тонких проводниках? В чём её сходство с магнитной стрелкой?
2. Перечислите способы, которыми можно усилить магнитное действие катушки с током?
3. Что называют электромагнитом?
4. Для каких целей используют на заводах электромагниты?
5. Как устроен магнитный сепаратор для зерна?



Когда нет перемещения тела, то, согласно определению работы, которое вы узнали в 7 классе, работа не совершается. На что, по вашему мнению, расходуется энергия, подводимая к электромагниту, когда он «держит» груз?

§ 53

ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОВОДНИК С ТОКОМ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ

Вам уже известно, что вокруг проводника с током создаётся магнитное поле. Это поле действует с некоторой силой на любой проводник с током, находящийся в нём. Итак, *магнитное поле создаётся электрическим током и действует на любой проводник с током, помещённый в это поле.*

Исследуем действие магнитного поля на проводник с током экспериментально. Для этого соберём электрическую цепь, изображённую на рисунке 123. Проводник AB подвешен на гибких проводах и подключён к источнику тока. Этот проводник находится в магнитном поле, которое создаётся дугообразным магнитом (рис. 123, *а*). При замыкании электрической цепи проводник отклонится от своего первоначального положения (рис. 123, *б*).

Направление движения проводника зависит от направления электрического тока в нём и от расположения полюсов магнита. В данном случае ток направлен от A к B , и проводник отклоняется влево, т. е. втягивается в пространство между полюсами магнита. Изменим направление тока в проводнике, он отклонится вправо. Проводник также изменит направление движения, если поменять местами полюсы магнита.

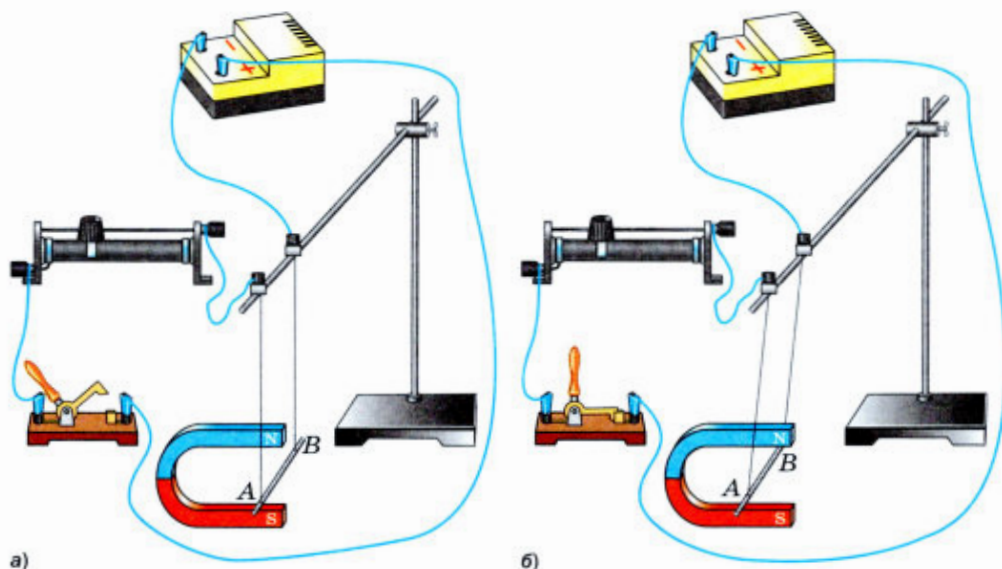


Рис. 123. Действие магнитного поля на проводник с током

В основе работы *электродвигателя* лежит движение проводника с током в магнитном поле.

Рассмотрим прибор, изображённый на рисунке 124. Лёгкая прямоугольная рамка $ABCD$, насаженная на вертикальную ось, может вращаться. К концам рамки прикреплены металлические *полукольца* 2.

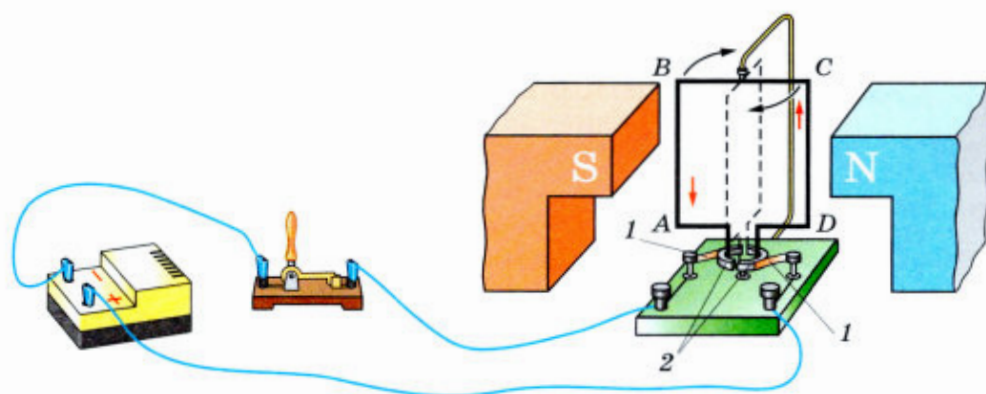


Рис. 124. Вращение рамки с током в магнитном поле

Для соединения источника тока и рамки служат металлические пластинки — *щётки* 1. К каждой щётке прижимается полукольцо. Одна щётка всегда соединена с положительным полюсом источника тока, а другая — с отрицательным.

Так как ток в цепи течёт от положительного полюса источника тока к отрицательному, то в сторонах рамки *AB* и *DC* ток идёт в противоположных направлениях. Поскольку рамка с током помещена в магнитное поле, то возникают силы, с которыми магнитное поле действует на проводник с током (рамку). Поэтому части проводника *AB* и *DC* будут перемещаться в противоположные стороны и рамка повернётся. При этом полукольца повернутся вместе с рамкой и каждое прижмётся к другой щётке. Ток в рамке изменит направление на противоположное. Это обеспечивает продолжение вращения рамки в том же направлении.

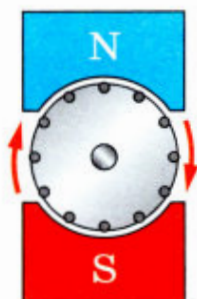


Рис. 125. Схема якоря двигателя



ЯКОБИ БОРИС СЕМЁНОВИЧ

(1801—1874)

Русский физик. Прославился открытием гальванопластики. Построил первый электродвигатель, телеграфный аппарат, печатающий буквы

В реальных электродвигателях обмотка состоит из большого числа витков проволоки. Их укладывают в пазы (прорези), сделанные вдоль боковой поверхности железного цилиндра. Этот цилиндр нужен для усиления магнитного поля. Такое устройство называют *якорем двигателя* (рис. 125). Магнитное поле двигателя создаётся сильным электромагнитом. Он подключён к тому же источнику тока, что и обмотка якоря.

Проходящий по центральной оси железного цилиндра вал двигателя соединяют с прибором, который приводится двигателем во вращение.

Один из первых в мире электрических двигателей, пригодных для практического применения, был изобретён русским учёным *Борисом Семёновичем Якоби* в 1834 г.

Электрические двигатели широко применяются сегодня. По сравнению с тепловыми двигателями, электри-



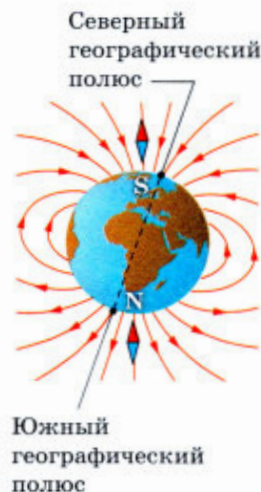
ческие при той же мощности имеют меньшие размеры. Они не загрязняют окружающую среду, так как не выделяют газов, дыма и пара. Им не нужен запас топлива и воды. Электрические двигатели могут быть любой мощности: от нескольких ватт (в электробритвах) до сотен и тысяч киловатт (на кораблях, экскаваторах, прокатных станах). Коэффициент полезного действия мощных электрических двигателей может достигать 98%.



1. Какой опыт позволяет показать, что магнитное поле действует на находящийся в нём проводник с током? **2.** Каким образом в опыте (см. рис. 123) можно изменить направление движения проводника с током в магнитном поле? **3.** На каком физическом явлении основана работа электродвигателя? **4.** Используя рисунок 124, опишите принцип действия электродвигателя. **5.** Приведите примеры использования электрических двигателей. Каковы их преимущества по сравнению с тепловыми? **6.** Кто и когда изобрёл первый электродвигатель, пригодный для практического применения?

§ 54

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ



Земля имеет собственное магнитное поле (рис. 126) и упрощённо её можно рассматривать как большой полосовой магнит.

Магнитные полюсы Земли определяются как точки (небольшие области), в которых магнитные линии перпендикулярны земной поверхности. Южный магнитный полюс Земли находится вблизи Северного географического полюса, а северный магнитный полюс — вблизи Южного географического полюса (см. рис. 126). Поскольку географические и магнитные полюсы Земли не совпадают, стрелка компаса (рис. 127) только приблизительно указывает направление на север.

Исследования показывают, что положения магнитных полюсов Земли медленно изменяются со временем. По данным на 2020 г. северный и южный магнитные полюсы имеют соответственно координаты $64,1^\circ$ ю. ш., $135,9^\circ$ в. д. и $86,5^\circ$ с. ш., $162,9^\circ$ в. д.

Рис. 126. Линии магнитного поля Земли



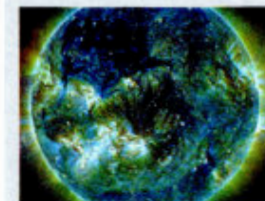
Рис. 127. Компас



Курская магнитная аномалия



а)



б)

Магнитные бури:
а — на Солнце;
б — на Земле

Земля обладает магнитным полем в основном благодаря своей структуре и процессам, происходящим в её ядре, — конвекции жидких металлов во внешнем ядре Земли, где текут электрические токи. Магнитное поле Земли простирается на несколько тысяч километров и создаёт защиту от потока заряженных частиц, испускаемых Солнцем.

Как вы знаете, во многих местах Земли имеются залежи железной руды, которая представляет собой природный магнит. Если залежи железной руды на небольшой глубине значительны, то в этих областях магнитная стрелка существенно отклоняется от направления на магнитные полюсы Земли. Поэтому такие области называют областями **магнитной аномалии** (в пер. с греч. «отклонение, неправильность»). Известны Бразильская, Канадская, Восточно-Сибирская, Курская (одна из крупнейших) магнитные аномалии.

Отклонения магнитной стрелки от ожидаемого направления могут быть не только постоянными, как в областях магнитных аномалий, но и кратковременными. Это происходит из-за изменений магнитного поля Земли в результате взаимодействия с ним заряженных частиц, выбрасываемых Солнцем в период своей активности. Такие изменения магнитного поля Земли называют **магнитными бурями**. Они сильно влияют на всё живое на Земле, в том числе на человека.

Магнитное поле обнаружено и у других планет, например у Сатурна и Юпитера. Магнитное поле Юпитера в 20 раз сильнее, чем Земли. Межпланетное магнитное поле примерно в 1000 раз слабее магнитного поля Земли. У Солнца магнитное поле примерно в 200 раз сильнее, чем у Земли. Но обнаружены звёзды, у которых магнитные поля в сотни и десятки тысяч раз сильнее, чем у Солнца.



1. Чем объяснить, что магнитная стрелка устанавливается в данном месте Земли в определённом направлении? 2. Где находятся магнитные полюсы Земли? 3. Остаются ли неизменными положения южного и северного магнитных полюсов Земли? 4. Что такое магнитная аномалия? Приведите примеры, где в России наблюдаются такие области. 5. Чем объясняют появление магнитных бурь?



УПРАЖНЕНИЕ 44

1. Каково устройство и принцип действия компаса?
- 2*. Почему компас является ненадёжным инструментом для определения направления в полярных областях?
3. При подготовке первых полётов самолётов к Северному полюсу много внимания инженеры уделяли вопросу ориентации самолёта вблизи полюса, так как там обыкновенные магнитные компасы работают очень плохо и практически непригодны. Почему?
4. В каком месте Земли магнитная стрелка обоими концами показывает на юг?

ИТОГИ ГЛАВЫ

Вы знаете, как создать магнитное поле и как его обнаружить, что такое магнит и электромагнит, где они используются. Что такое магнитные линии и что по ним можно определить. Можете объяснить, как проявляются магнитные свойства Земли.

А самое главное, вы понимаете, что магнитные и электрические явления взаимосвязаны!

ОБСУДИМ?

Прочитайте описание устройства гальванометра.

Между полюсами магнита на оси помещена маленькая рамка 1. С ней жёстко связана стрелка 2. Выводы от рамки идут к клеммам прибора. При включении прибора в цепь по рамке протекает постоянный ток, и она стремится установиться перпендикулярно магнитным линиям. Однако сделать это ей мешают



Устройство
гальванометра

две спиральные пружины 3. Чем больше значение силы тока, который течёт по рамке, тем большая закручивающая сила действует на её проводники и тем на больший угол поворачивается рамка. Вместе с рамкой поворачивается стрелка, которая скользит вдоль шкалы прибора.

С помощью каких несложных конструктивных изменений гальванометр можно преобразовать в вольтметр или амперметр? Как изменится при этом шкала прибора?

ПРОЕКТЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ

1. «Поможем папе: модель электромагнитного крана» (возможная форма: презентация, опыт, модель).
2. «Создаём макет магнитного поля Земли» (возможная форма: презентация, макет).

Глава 4

СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 55

ИСТОЧНИКИ СВЕТА. РАСПРОСТРАНЕНИЕ СВЕТА

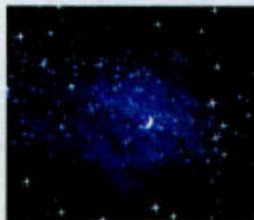
Всё живое на Земле возникло и существует благодаря солнечному свету (солнечной энергии). Свет не только создал жизнь на Земле, но и позволяет нам познать её. Это связано с тем, что основную часть информации об окружающем мире мы получаем с помощью зрения (до 90%). Человеческое зрение не приспособлено к распознаванию предметов в темноте. Необходимы источники света.



а)



б)



в)

Естественные источники света:

а — светлячок;

б — медуза;

в — звёзды

Источники света — это тела, которые излучают свет.

Вам известно, что свет излучают Солнце, звёзды, молния, раскалённые метеориты, полярные сияния, различные светящиеся насекомые и др. Подобные природные источники света называют *естественными*. *Искусственные* источники света — лампы, свечи, электрическая дуга, зажжённая спичка и т. д. — созданы человеком.

Источники света мы видим потому, что свет, идущий от них, попадает к нам в глаза и воздействует на нашу нервную систему. Но мы ведь видим не только источники света. Тела, которые не являются источниками света, мы видим из-за того, что они отражают падающий свет. Планеты, их спутники, искусственные спутники Земли, космические станции освещаются Солнцем и светят отражённым светом.



а)



б)

Искусственные
источники света:
а — свеча;
б — люминесцентная
лампа

В зависимости от температуры источников света их можно разделить на *тепловые* и *люминесцентные*.

Тепловые источники света испускают свет благодаря тому, что они нагреты до достаточно высоких температур. Тела при температуре около $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ уже начинают излучать свет. Пламя свечи имеет температуру $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$, светящаяся вольфрамовая нить электрической лампочки — $2700\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура поверхности Солнца близка к $6000\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура поверхности некоторых звёзд достигает $150\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Люминесцентные источники света (люминесценция — холодное свечение) отличаются от тепловых тем, что их свечение не связано с нагреванием. Возбудителем люминесценции может быть излучение, электрический ток, механическое воздействие и др. Люминесценция возникает в веществах и во время различных химических реакций. В тёплые летние ночи на лесной поляне можно увидеть светящийся гниющий пень — в нём светятся бактерии, вызывающие гниение дерева. В лесной траве встречаются светлячки — маленькие насекомые. На их спинках есть особое пятнышко, вещество которого светится.

Явление люминесценции используется в люминесцентных лампах, которые в наше время являются важными искусственными источниками света. Их свет близок к дневному. Люминесцентные лампы сейчас широко используются для освещения аудиторий, заводских зданий, вокзалов, метро, улиц, площадей и т. п.

Энергосберегающие лампы более экономичны и служат гораздо дольше ламп накаливания. В них 70% энергии преобразуется в свет, а в лампе накаливания только 5% , остальная часть энергии ($90\text{—}95\%$) переводится в тепло.

На рисунке 128 приведена современная энергосберегающая лампа, которая используется для освещения помещений. Она состоит из колбы, наполненной парами ртути и аргона



Рис. 128. Энергосберегающая лампа:
1 — пускорегулирующее устройство;
2 — стеклянная колба, покрытая люминофором;
3 — цоколь

(или неона, или криптона), и пускорегулирующего устройства. На внутреннюю поверхность колбы нанесено специальное вещество — люминофор, которое при воздействии ультрафиолетового излучения испускает видимый свет.

Источники света бывают различного размера. При изучении многих световых явлений размерами источника можно пренебречь и считать его светящейся точкой.

Физическую модель источника света, размерами которого в данных условиях можно пренебречь, называют точечным источником света.

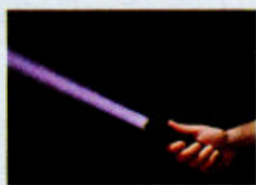
Источник света можно считать точечным, если его размеры малы по сравнению с расстоянием до наблюдателя.

При изучении световых явлений будем пользоваться не только моделью точечного источника света, но и ещё одной моделью — световой луч.

Световой луч — это линия, вдоль которой распространяется энергия от источника света.

Чтобы выяснить, как распространяется свет, проделаем опыт. В затемнённой комнате пустим пучок света от карманного фонарика. Направление распространения пучка света задаётся световым лучом. Узкий пучок практически совпадает со световым лучом. Чтобы увидеть луч света, на его пути нужно создать неоднородную среду, например, поставить аквариум с подкрашенной водой или потрясти меловую тряпку («подкрасить» воздух мелом). Мы увидим, что свет распространяется вдоль прямой линии до тех пор, пока не попадёт на стену, потолок или какой-либо другой предмет.

Этот опыт позволяет проиллюстрировать одну из закономерностей распространения света.



Пучок света от фонарика

Свет в однородной и прозрачной среде распространяется прямолинейно.

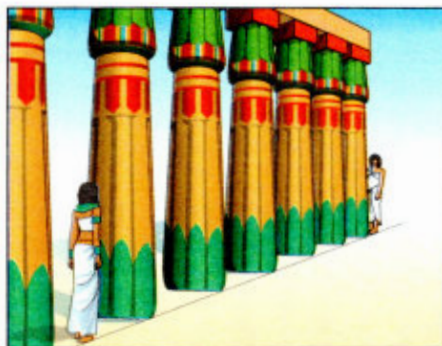


Рис. 129. Применение закона прямолинейного распространения света

Закон прямолинейного распространения света был известен с древнейших времён. Например, древние египтяне прямолинейность распространения света использовали при установке колонн и столбов. Они располагали колонны таким образом, чтобы из-за ближайшей колонны не были видны все остальные (рис. 129). Издавна люди наблюдали, что если солнечный свет проходит между облаками, то видно (особенно при закате), как веерообразно расходятся солнечные лучи.

Доказательством прямолинейного распространения света является образование тени от непрозрачного предмета. Тень, отбрасываемая телом, имеет резкие очертания и повторяет форму предмета.

Рассмотрим тень BC , возникшую на экране (рис. 130) от шарообразного тела AD , освещённого точечным источником света S .

Те лучи, что на своём пути встретят тело AD , будут отражаться им, попадут нам в глаза, и поэтому мы шар увидим. Остальные лучи, продолжая распространяться прямолинейно, упадут на экран и осветят его. Но часть экрана BC останется неосвещённой, на нём образуется тень.

Тень — это та область пространства, в которую не попадает свет от источника.

Осветим теперь предмет большой лампой, размеры которой и расстояние от неё до экрана будут сравнимы. Мы увидим, что тень на экране (рис. 131) уже не повторяет форму шара, как в предыдущем опыте. Часть экрана (A) окажется полностью затемнённой, а часть (B) — частично освещённой. Эту частично освещённую область называют *полутенью*.

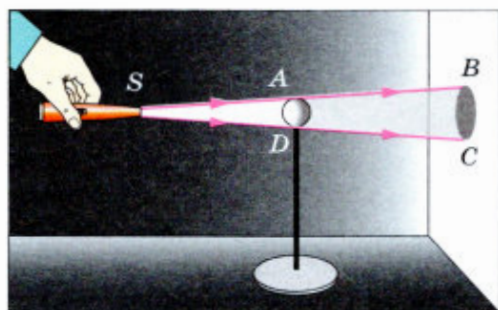


Рис. 130. Получение тени

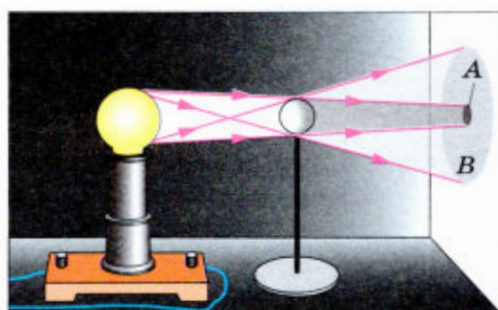


Рис. 131. Получение полутени

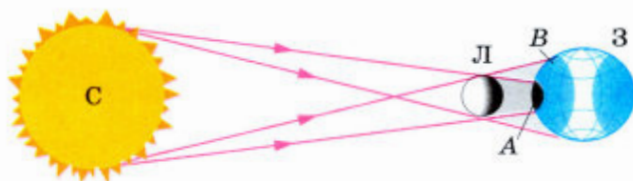
Объясним, как образуются тень и полутень. Источник, размерами которого нельзя пренебречь (в нашем случае большая лампа), называют *протяжённым*. Протяжённый источник света состоит из множества точек, испускающих световые лучи. Если поместить глаз в то место, где находилась самая тёмная часть экрана (тень A), то мы не увидим ни одной светящейся точки протяжённого источника, сюда свет не проникает. Если поместить глаз в менее тёмную часть экрана (полутень B), то можно увидеть некоторое количество светящихся точек, которые не будут загорожены телом. В область B свет будет проникать только от части точечных источников, поэтому она будет частично освещена. Остальная часть экрана будет освещаться полностью всеми точечными источниками, из которых состоит большая лампа.

Из приведённых рассуждений ясно, что если освещать предмет точечным источником света, то на экране образуется тень, а если используется реальный, протяжённый источник света, то, кроме тени, на экране образуется ещё и полутень.

Полутень — это та область, в которую попадает свет от части источника света.

Зная, как образуется тень при падении света на непрозрачный предмет, можно объяснить

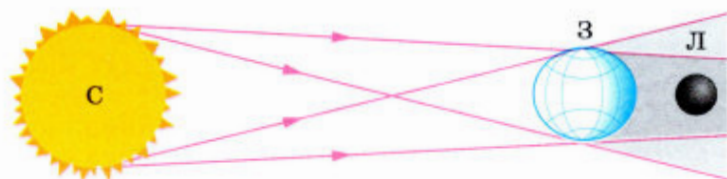
Рис. 132. Солнечное затмение



такие явления, как солнечное и лунное затмения. Выясним сначала причину затмения Солнца. Во время солнечного затмения тень от Луны падает на Землю. Поскольку Луна во много раз меньше Земли, то в области *A* полной лунной тени (рис. 132) может находиться лишь малая часть земной поверхности (диаметром около 270 км) и наблюдается явление, называемое *полным солнечным затмением*, очень недолго (примерно 2,5 мин). В тех местах Земли, которые находятся в области полутени *B*, наблюдается *частное солнечное затмение*. Оно охватывает значительно большую часть Земли и поэтому длится дольше.

Во время *лунного затмения* Луна попадает в тень, отбрасываемую Землёй (рис. 133).

Рис. 133. Лунное затмение



1. Что такое источник света? Приведите примеры источников света.
2. Что такое точечный источник света; световой луч?
3. Как распространяется свет в однородной среде?
4. Приведите примеры, доказывающие прямолинейное распространение света.
5. Объясните, как образуется тень.
6. Объясните, почему в некоторых областях экрана (см. рис. 131) образуется полутень.
7. Как происходит солнечное затмение; лунное затмение?



1. Солнце, Луна, нагретый элемент электрической плиты, светлячок — источники света. Чем отличаются излучения этих тел?
2. При каких условиях от предмета получается только полутень?
3. Во время хирургических операций тень от рук хирурга не должна закрывать операционное поле. Как этого добиться?



УПРАЖНЕНИЕ 45

1. В солнечный день длина тени на земле от вертикально стоящего шеста высотой 0,8 м равна 0,4 м. Чему равна высота дерева, длина тени от которого в 5 раз больше высоты шеста?
2. Может ли человек бежать впереди своей тени?



ЗАДАНИЕ



Рис. 134



Возьмите прямоугольный лист чёрной бумаги или плотного картона (размером не менее 10×10 см) и проделайте в самом центре листа круглое отверстие диаметром около 2 мм. Сделайте так, чтобы края отверстия были ровными. В тёмной комнате зажгите свечу, поставьте на расстоянии 0,5 м от стены и перемещайте между стеной и свечой приготовленный лист бумаги с отверстием. Наблюдайте изображение пламени свечи (рис. 134).

Это любопытно...

Солнечные затмения

Солнечные и лунные затмения — интереснейшее явление природы, знакомое человеку с глубокой древности. Они бывают сравнительно часто, но многие считают их редкими, потому что они видны не из всех точек земной поверхности. Объяснить солнечные и лунные затмения помогает закон прямолинейного распространения света. Астрономы тщательно готовятся к наблюдениям, так как они позволяют получить интересную информацию об этих небесных телах.

Солнечные затмения происходят в новолуния, когда Луна, двигаясь вокруг Земли, оказывается между Солнцем и Землёй и полностью или частично заслоняет Солнце. Луна имеет размеры примерно в 400 раз меньшие, чем Солнце, но находится примерно в 400 раз ближе к Земле. Поэтому видимые размеры Солнца и Луны почти одинаковы. Вот почему Луна может закрыть собой Солнце (см. рис. 132).

Луна делает один полный оборот вокруг Земли по отношению к Солнцу за 29,53 суток, т. е. новолуния происходят каждые 29,53 суток. Почему же солнечные затмения не происходят каждое новолуние? Дело в том, что плоскость орбиты Луны не совпадает с плоскостью, в которой находятся центры Земли и Солнца (плоскость эклиптики). В астрономии принято называть точки пересечения лунной орбиты с плоскостью эклиптики лунными узлами. Когда в новолуние Луна находится в лунном узле, центры Солнца,

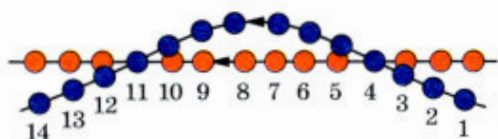


Рис. 135. Положение Луны (●) по отношению к Солнцу (●) в новолуние в течение года

да. Видно, что в новолуния, отмеченные цифрами 1, 2, 6, 7, 8, 9, 13, 14, солнечные затмения не происходят, а в новолуния, отмеченные цифрами 3, 4, 5, 10, 11, 12, солнечные затмения наступают.

За границей лунной полутени (см. рис. 132) затмение вообще не происходит. Таким образом, солнечное затмение видно не на всей поверхности Земли, а только там, где пробегает тень и полутень Луны. Можно рассчитать ширину полосы затмения и его продолжительность. Они зависят от взаимного расположения Луны, Солнца и Земли во время затмения. Чаще всего ширина полосы бывает от 40 до 100 км, а продолжительность полной фазы затмения около 2—3 мин. Ежегодно бывает не менее двух полных затмений Солнца.



Если на Земле наблюдается полное лунное затмение, то что увидит космонавт, очутившийся в это время на Луне?

§ 56

ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА. ЗАКОН ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА



Рис. 136. Падение лучей света на экран

В однородной среде свет распространяется прямолинейно. Если же на пути распространения пучка света встречаются какие-либо тела, то прямолинейность распространения света нарушается.

Направим через щель пучок света от источника на экран. Он будет освещён, но между источником и экраном мы ничего не увидим. Разместим теперь между источником и экраном какой-либо предмет (рис. 136). В этом случае свет, достигнув поверхности предмета, отражается, изменяет своё направление и попадает в наши глаза, т. е. предмет становится виден. Рассмотрим явление **отражения света**.

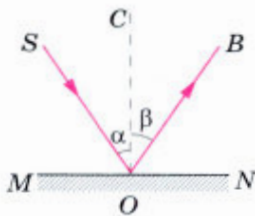


Рис. 137. Отражение света от зеркальной поверхности



Рис. 138. Прибор для наблюдения изменения угла падения света

Отражают свет все тела, как прозрачные, так и непрозрачные. Посмотрите вокруг себя. Какие из окружающих вас тел прозрачны? Видите ли вы их? А непрозрачные? Непрозрачные тела мы видим лучше. Это происходит потому, что они отражают большую часть падающего на них света.

Рассмотрим подробно отражение света от зеркальной поверхности. На поверхность MN падает пучок света. Его направление задано лучом SO (рис. 137). Направление отражённого пучка показано лучом OB . Луч SO — *падающий луч*, луч OB — *отражённый луч*, OC — перпендикуляр к поверхности MN . Угол SOC , образованный падающим лучом SO и перпендикуляром, называют *углом падения* (α), угол COB — *углом отражения* (β).

Отражение света можно наблюдать на приборе, который называется *оптическим диском* (рис. 138). Он состоит из белого круга, по окружности которого нанесены деления для измерения углов. На краю диска находится подвижный осветитель, дающий узкий пучок света. Поместим в центр диска плоское зеркало и направим на него луч света AO , скользящий по поверхности диска. Отражённый от зеркала луч OB также виден в плоскости диска. При изменении направления падающего луча направление отражённого луча также изменяется. Как показывает опыт,

отражённый луч находится в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, проведённым через точку падения луча к отражающей поверхности.

Угол отражения равен углу падения светового луча.

$$\alpha = \beta.$$

$$\alpha = \beta$$

В этом состоит *закон отражения света*.

Если луч света будет падать на зеркало в направлении BO (см. рис. 138), то отражённый луч пойдёт в направлении OA . Следовательно,

падающий и отражённый лучи могут меняться местами. Это свойство лучей (падающего и отражённого) называют **обратимостью световых лучей**.



1. Что происходит с пучком света на границе раздела двух сред? Пользуясь рисунком 138, расскажите содержание опыта, на основании которого можно установить закон отражения света.
2. Что называют углом падения; углом отражения?
3. Сформулируйте закон отражения света.
4. Что называют обратимостью световых лучей?



УПРАЖНЕНИЕ 46

1. Угол падения луча света на зеркало равен 30° . Чему равен угол отражения? Постройте ход луча света.
2. Угол отражения луча света от зеркала равен 45° . Как изменится угол между падающим и отражённым лучами при увеличении угла падения на 15° ? На одном чертеже покажите падающий и отражённый лучи для каждого случая.

§ 57

ПЛОСКОЕ ЗЕРКАЛО

Закон отражения света позволяет объяснить множество явлений, связанных с отражением света. Как объяснить, например, то, что, глядя в зеркало, мы видим своё отражение за ним? Построим, пользуясь законом отражения, изображение точечного источника света S в **плоском зеркале**.

Рассмотрим лучи SO и SO_1 , падающие из точки S на зеркало MN (рис. 139). Луч SO падает перпендикулярно плоскости зеркала ($\alpha = 0^\circ$) и отражается под углом 0° . Из точки O_1 падения луча SO_1 восставим перпендикуляр к плоскости зеркала, найдём угол падения α_1 и построим угол отражения β_1 , равный α_1 по закону отражения света. O_1B_1 — отражённый луч. Докажем, что продолжения всех отражённых от зеркала лучей пересекаются в точке S_1 , симметричной точке S относительно плоскости зеркала.

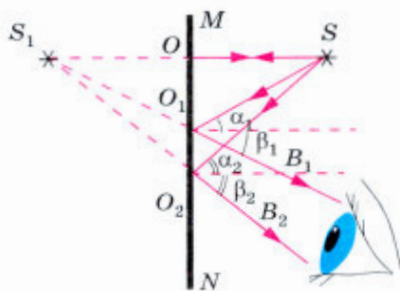


Рис. 139. Изображение предмета в плоском зеркале



Мнимое изображение предмета в зеркале

Из равенства углов α_1 и β_1 (см. рис. 139) следует равенство углов SO_1O и S_1O_1O . Значит, прямоугольные треугольники SO_1O и S_1O_1O равны (по катету и прилежащему углу) и $SO = S_1O$. Таким образом, продолжение луча O_1B_1 проходит через точку S_1 . Аналогично можно доказать, что продолжение и любого другого отражённого луча, например O_2B_2 , проходит через точку S_1 .

В глаз попадает расходящийся пучок лучей, продолжения которых пересекаются за зеркалом в точке S_1 . При этом нам кажется, что точка S_1 — источник света. На самом деле точка S_1 является изображением точки S в зеркале.

Поступает ли свет в точку S_1 ? Нет, световые лучи не проникают за зеркало. Именно поэтому такие изображения называют *мнимыми*, они образуются на пересечении не самих лучей, а их продолжений.

Точки S и S_1 расположены на одном перпендикуляре к плоскости зеркала (см. рис. 139) и $SO = S_1O$. Изображение точки симметрично самой точке относительно плоскости зеркала. Если перед плоским зеркалом находится протяжённый предмет, то его изображение также симметрично предмету относительно плоскости зеркала. Размеры мнимого изображения в плоском зеркале равны размерам предмета, поставленного перед зеркалом.

Проверим это на опыте, изображённом на рисунке 140. Если поставить перед стеклянной пластиной зажжённую свечу, то на стекле появится её изображение. Найдём такое положение второй, незажжённой свечи, чтобы она совпала с изображением зажжённой свечи. Измерив расстояния от свечей до стекла, убедимся, что они расположены симметрично.

Из рисунка 141 также видно, что вашей правой руке у изображения будет соответствовать левая рука и наоборот, т. е. если бы вдруг ваше изображение «ожило», то оно, как это ни удивительно, не было бы вашим двойником.

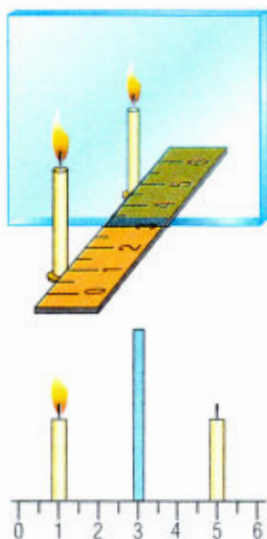


Рис. 140. Получение мнимого изображения



Рис. 141. Зеркальное изображение руки

Итак, изображение в плоском зеркале:

- мнимое;
- прямое (не перевёрнутое);
- равное по размерам предмету;
- расположено на том же расстоянии от зеркала, что и предмет;
- меняет правую и левую стороны предмета.

О таком отражении говорится в стихотворении И. А. Бунина «На пруде»:

...И, как в зеркале, меж тростников,
С берегов опрокинулся лес,
И уходит узор облаков
В глубину отражённых небес...

А почему даже при лёгком порыве ветра поверхность воды теряет свойства зеркала? Почему большинство предметов не зеркально? Причин здесь несколько, одна из них — шероховатость тел. Поверхность шероховатого тела можно представить как совокупность большого количества по-разному ориентированных маленьких зеркал. Каждое такое зеркало создаёт своё мнимое изображение. Эти изображения по-разному ориентированы в пространстве и находятся на различных расстояниях от поверхности. В результате наложения отдельных изображений глаз воспринимает лишь усреднённую равномерно освещённую картину. Именно поэтому при образовании ряби на поверхности воды она теряет свои зеркальные свойства.

Если на шероховатую поверхность падает параллельный пучок света, то отражённый свет будет *рассеянным*. Мы видим предметы благодаря тому, что отражённый от них свет рассеян. Именно поэтому, например, классные доски, сделанные из стекла, специально обрабатывают так, чтобы они стали шероховатыми. В противном случае записи на них, особенно сбоку, видны очень плохо.



1. Как построить изображение точечного источника в плоском зеркале? Для ответа используйте рисунок 139.
2. Какое изображение называют мнимым? Докажите, что плоское зеркало даёт мнимое изображение.
3. Почему на рисунке 140 (нижнем) пламя изображено

только на одной свече? 4. Охарактеризуйте изображение, полученное с помощью плоского зеркала.



Как с помощью двух зеркал увидеть свой затылок или профиль?



УПРАЖНЕНИЕ 47

1. Постройте изображение точки в плоском зеркале.
2. Можно ли в воде глубокого колодца увидеть солнце?
3. Какую роль играют зеркала, помещённые справа и слева от водителя автобуса?
4. Как изменится расстояние от предмета до его изображения, если предмет удалить от зеркала на 0,5 м?
5. Постройте изображение стрелки CD , расположенной параллельно плоскости зеркала AB . Найдите построением область, в которой глаз будет видеть изображение всего предмета.
6. Чтобы увидеть своё изображение во весь рост в плоском вертикальном зеркале, высота зеркала должна быть не меньше половины высоты роста человека. Докажите это с помощью построений.



ЗАДАНИЕ



Рис. 142



- Для наблюдения из укрытия используют прибор перископ (рис. 142). Сделайте зеркальный перископ. Изготовьте четырёхгранную трубу из картона. Внутренние стенки трубы оклейте чёрной бумагой, с обоих концов сделайте вырезы и укрепите два плоских зеркала параллельно друг другу под углом 45° к горизонту. Снаружи трубу оклейте бумагой. С помощью своего перископа наблюдайте предметы, находящиеся за препятствием, например за забором.

Это любопытно...

Получение изображений в нескольких зеркалах

Если встать между параллельными зеркалами, ваше изображение в одном из них отразится и в другом зеркале. Затем второе изображение вновь отразится в первом, и теоретически это должно происходить до бесконечности. Однако каждое следующее изображение будет казаться всё более и более далёким. (Объясните почему.) Кроме того, изображения будут становиться всё бледнее и бледнее, так как значительная часть



Рис. 143. Отражение в нескольких зеркалах

света каждого предыдущего изображения поглощается в процессе отражения и не доходит до следующего зеркала. Поэтому изображения по мере их удаления постепенно исчезают. Всё это можно наблюдать, например, в парикмахерской.

Если зеркала расположить под углом друг к другу, а не параллельно (рис. 143), то отражений будет не так много. Чем больше угол между зеркалами, тем меньше число изображений. При уменьшении угла между зеркалами число наблюдаемых изображений растёт, пока не достигнет бесконечности, когда зеркала будут параллельными.



ЗАДАНИЕ



- Возьмите два небольших зеркала и расположите их на столе, как показано на рисунке 143. Между зеркалами расположите какой-либо предмет, например кубик или свечу. Если вы постепенно будете уменьшать угол между зеркалами, то заметите, что число изображений будет расти. Расположите зеркала под углом 45° , 60° , 90° и подсчитайте число изображений.

§ 58

ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА. ЗАКОН ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА

Вообразите ситуацию. Летний жаркий день, вы входите в прохладную воду. Бросаете взгляд на свои ноги, находящиеся в воде: они кажутся вам укороченными. Это означает ещё и то, что глубина водоёма, в котором вы находитесь, кажется вам меньше, чем на самом деле. Подобное явление мы наблюдаем, когда ложка, опущенная в стакан с водой, кажется нам преломлённой на границе между воздухом и водой. Подобных примеров можно привести немало, и все они говорят о том, что свет в воздухе и воде (и в других прозрачных средах) ведёт себя по-разному.

Перейдём от наблюдения к эксперименту. Проследим за поведением световых лучей при переходе их из воздуха в воду. Пусть световой луч AO падает на поверхность воды, находящейся в прозрачном сосуде (рис. 144). Опыт

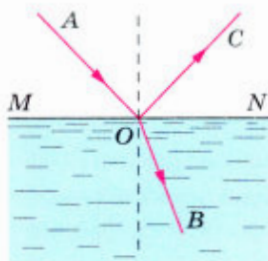


Рис. 144. Поведение луча света на границе раздела двух сред

показывает, что на границе MN раздела воды и воздуха световой луч частично отражается от поверхности воды (луч OC), частично преломляется (луч OB) и проходит в воду.

Преломление света — это изменение направления распространения света на границе раздела двух прозрачных сред при переходе света из одной среды в другую.

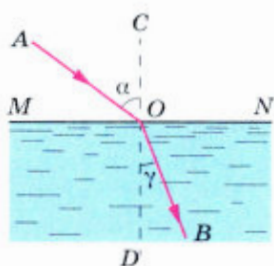


Рис. 145. Схема преломления луча света при переходе из воздуха в воду

Введём понятие **угла преломления γ** (греческая буква «гамма») как угла между преломлённым лучом OB и перпендикуляром OD , проведённым к границе MN раздела двух сред (в нашем случае воздуха и воды) из точки O падения луча (рис. 145).

Если световой луч падает не перпендикулярно на границу раздела двух различных сред, то угол его преломления не равен углу падения.

При изменении угла падения меняется и угол преломления. Чем больше угол падения, тем больше угол преломления (рис. 146). При этом отношение между углами не сохраняется. Однако остаётся неизменным отношение синусов углов падения и преломления.

$$\frac{\sin 30^\circ}{\sin 23^\circ} = \frac{\sin 45^\circ}{\sin 33^\circ} = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 42^\circ} \approx 1,3.$$

Следовательно,

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n,$$

где n — постоянная величина, не зависящая от угла падения. Она определяется свойствами

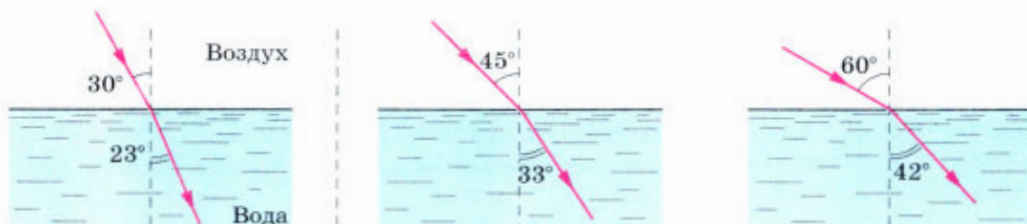


Рис. 146. Зависимость угла преломления от угла падения

сред. Эту величину называют *относительным показателем преломления* второй среды относительно первой.

Закон преломления света формулируется следующим образом:

луч падающий, луч преломлённый и перпендикуляр, проведённый к границе раздела двух сред из точки падения луча, лежат в одной плоскости.

Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления для двух данных сред есть величина постоянная.

Для данного угла падения чем больше относительный показатель преломления, тем меньше угол преломления, и наоборот. У воды показатель преломления относительно воздуха 1,33, у стекла — 1,5; т. е. стекло сильнее преломляет световые лучи, чем вода.

Оказывается, преломление света является следствием изменения скорости распространения света при переходе из одной среды в другую. Среду, в которой скорость распространения света меньше, называют *оптически более плотной*. Если свет идёт из среды оптически менее плотной в среду оптически более плотную, то угол преломления меньше угла падения (рис. 147). И наоборот, если свет идёт из среды оптически более плотной в среду оптически менее плотную, то угол преломления больше угла падения (рис. 148). Рассмотрим этот случай подробнее.

Пусть внутри оптически более плотной среды находится точечный источник света, испускающий лучи во все стороны. При увеличении угла падения лучей на границу раздела сред угол преломления будет также увеличиваться и при некотором угле падения α_0 , который называют *предельным углом*, окажется равным 90° (рис. 149). В этом случае преломлённый луч пойдёт вдоль границы раздела двух сред. Если же угол падения взять ещё большим,

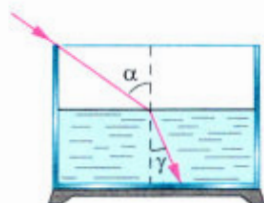


Рис. 147. Преломление света при переходе луча из воздуха в воду

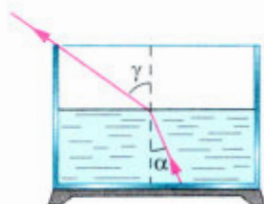
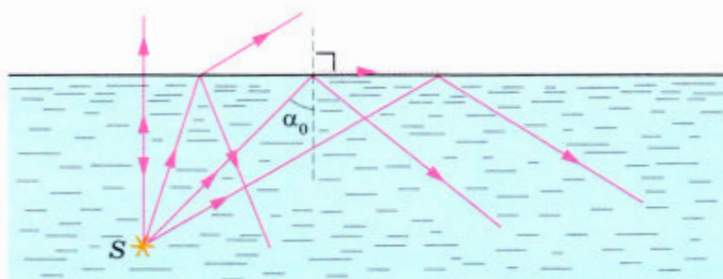


Рис. 148. Преломление света при переходе луча из воды в воздух

Рис. 149. Полное внутреннее отражение света



т. е. $\alpha > \alpha_0$, то преломлённого луча не будет, а останется только отражённый (см. рис. 149). Что же мы получили? Идеальное зеркало. Идеальное потому, что для углов падения $\alpha > \alpha_0$ (для воды $\alpha_0 = 48^\circ 35'$, если второй средой является воздух) световые лучи отражаются полностью, а для обычных зеркал какая-то часть световых лучей всё же поглощается зеркалом. Именно поэтому описанное явление и называют **полным внутренним отражением**.

Явление полного внутреннего отражения вы можете легко наблюдать дома. Налейте в стакан воду и поднимите его несколько выше уровня глаз. Поверхность воды при рассмотрении её снизу сквозь стенку кажется блестящей, словно посеребрённой. Это вследствие полного внутреннего отражения вода ведёт себя подобно зеркалу.

Полное внутреннее отражение используют в волоконной оптике для передачи света по пучкам прозрачных гибких волокон — **световодам**. Световые лучи, запущенные внутрь световода почти параллельно его оси, падают на боковую поверхность под большими углами, вследствие чего испытывают полное внутреннее отражение. Многократно отражаясь, лучи идут всё дальше, перенося энергию на значительные расстояния. Сегодня волоконно-оптические кабели широко используют для осуществления высокоскоростного доступа в Интернет.

Теперь объясним кажущееся уменьшение глубины водоёма, о котором мы говорили в на-



Распространение света в световоде

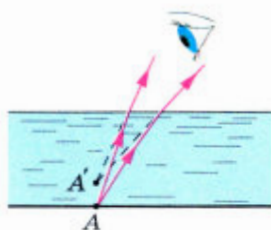


Рис. 150. Кажущееся уменьшение глубины водоёма

чале параграфа. Предположим, что мы наблюдаем тело A на дне водоёма (рис. 150). Для того чтобы построить изображение тела, нужно взять два луча, исходящих от него. Как известно, глаз видит изображение точки A в том месте, где пересекаются лучи, идущие из точки A , или их продолжения. Из рисунка 150 понятно, что тело A глаз будет видеть приподнятым. Это и объясняет укорачивание ног в воде и уменьшение глубины водоёма. Причём это уменьшение довольно значительно и составляет примерно треть глубины. Вот почему опасно купаться в незнакомом месте, так как, неверно оценивая глубину водоёма, люди нередко попадают в опасное положение.



1. В чём состоит явление преломления света? Приведите примеры.
2. Сформулируйте закон преломления света.
3. Как преломление света на границе раздела двух сред зависит от относительного показателя преломления?
4. В чём состоит явление полного внутреннего отражения?
5. Где применяются световоды?



1. Если поверхность воды не совсем спокойна, то предметы, лежащие на дне, кажутся колеблющимися. Объясните явление.
2. Почему истинная продолжительность дня больше промежутка времени между восходом и заходом Солнца?



УПРАЖНЕНИЕ 48

- Почему, находясь в лодке, трудно попасть копьём (острогой) в рыбу, плавающую невдалеке?

Это любопытно...

Миражи

В спокойном воздухе в ясные дни, особенно в утреннее и предвечернее время, над горизонтом на фоне неба или под линией горизонта иногда возникает изображение наземных предметов. Эти мнимые изображения в атмосфере называют **миражами**. Миражи бывают нескольких видов: верхние (рис. 151), нижние (рис. 152), боковые и др. Образование миражей связано с аномальным изменением плотности воздуха в нижних слоях атмосферы (что происходит из-за изменения температуры).



Рис. 151. Верхний мираж корабля



Рис. 152. Нижний мираж

Наблюдениями установлено, что рано утром или после жаркого дня и безветренной ночи слой воздуха вблизи поверхности почвы или моря холоднее вышележащих слоёв воздуха. В таких случаях солнечный свет, отражённый от какого-нибудь предмета, находящегося в нижнем холодном слое, распространяется в области тёплых, менее плотных слоёв воздуха, постепенно преломляясь. Луч перестаёт быть прямым и изгибается в сторону тёплых, менее плотных слоёв, т. е. вверх.

На рисунке 151 показано, как в земной атмосфере искривляется направление солнечного света, отражённого от корабля в океане. Если в тихую погоду наблюдатель окажется в области отражённого света от корабля, то он будет видеть по прямолинейному направлению прямое изображение этого корабля над линией горизонта на фоне неба — это и есть верхний мираж. Сам же корабль скрыт от взора наблюдателя выпуклостью водной поверхности.

В жарких странах, особенно в раскалённых песках пустыни, а в жаркие дни и в средних широтах в степях, на широких лугах, на морском плоском

берегу, покрытом плотным песком, на асфальтовых дорогах иногда наблюдают под линией горизонта перевернутые изображения отдельных предметов. Такие миражи объясняются тем, что в тихую погоду, когда воздух почти неподвижен, нижний слой воздуха вблизи горячей поверхности почвы сильнее нагревается. Чем выше расположены слои воздуха, тем они холоднее. Вследствие этого плотность (и оптическая плотность тоже) нижнего слоя воздуха оказывается меньше плотности верхних слоёв, поэтому, если предмет отстоит от наблюдателя на большом расстоянии и находится в зоне знойного слоя воздуха, отражённый от него солнечный свет распространяется по кривой выпуклостью вниз и попадает в глаз наблюдателя. Наблюдателю кажется, что он видит прямо перед собой ниже линии горизонта пальму в перевернутом виде (см. рис. 152). Такие миражи иногда видят пассажиры, едущие на автомобиле в жаркий и безветренный день по асфальтовой дороге. Им кажется, что вдали дорога как будто полита водой или даже уходит в озеро, в котором отражаются деревья.

Чтобы представить себе, как велика может быть зрительная иллюзия миража, достаточно привести следующий пример: 11 марта 1917 г. в Месопотамии было прекращено сражение между турками и английскими частями, так как противники стреляли не друг в друга, а по мнимым целям, т. е. по миражам.

В предыдущем параграфе мы рассматривали преломление света для случая, когда граница двух сред была плоской. На практике широкое применение имеет случай преломления света на сферической границе раздела.

Прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями, называют линзой.

Прямую, проходящую через центры C_1 и C_2 (рис. 153) сферических поверхностей, ограничивающих линзу, называют *главной оптической осью линзы*.

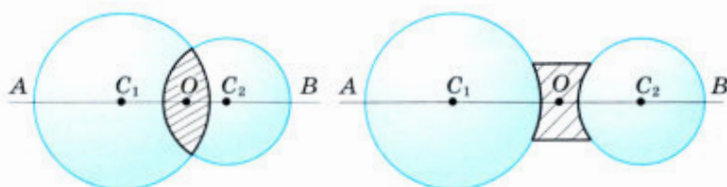


Рис. 153. Оптическая ось линзы

Мы будем рассматривать линзы, толщина которых мала по сравнению с радиусами поверхностей. В этом случае расстояние между точками пересечения главной оптической оси с поверхностями линзы мало и можно считать, что эти две точки являются одной точкой O — *оптическим центром линзы*.

Возможен случай, когда одна из поверхностей линзы плоская. На рисунке 154 изображены сечения шести видов линз.

Покажем на опыте, как преломляет свет двояковыпуклая линза. Направим на линзу

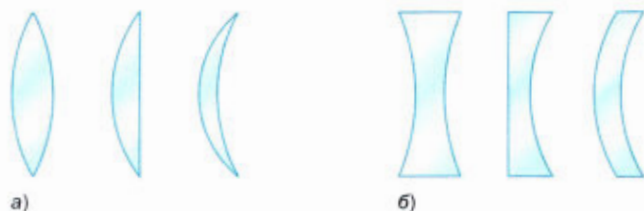
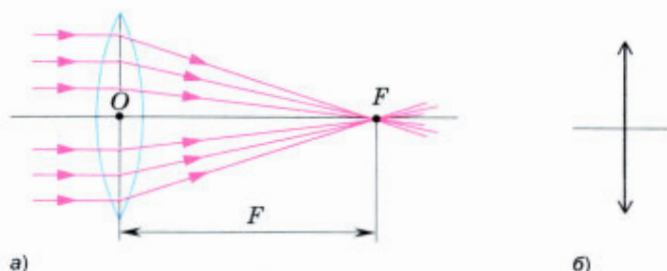


Рис. 154. Виды линз:
а — выпуклые;
б — вогнутые

Рис. 155. Собирающая линза:
a — прохождение лучей через фокус;
b — изображение её
 на схемах



пучок лучей, параллельных её главной оптической оси (рис. 155). Мы увидим, что свет после прохождения двояковыпуклой линзы собирается в одной точке *F*. Поэтому такую линзу называют **собирающей**. Точку *F* называют **фокусом линзы**. Расстояние от оптического центра линзы до фокуса называют **фокусным расстоянием** и также обозначают буквой *F* (см. рис. 155).

Если направить параллельный пучок света на линзу с другой стороны, то он тоже собирается в одной точке на таком же расстоянии от линзы, что и в первом случае, т. е. у линзы два фокуса, по одному с каждой стороны.

Прделаем такой же опыт с двумя двояковыпуклыми линзами, одна из которых более выпуклая, другая — менее выпуклая (рис. 156). Фокусное расстояние первой линзы меньше, чем второй, т. е. более выпуклая линза сильнее преломляет лучи, чем менее выпуклая. Говорят, что более выпуклая линза оптически более сильная, так как она даёт большее увеличение (рис. 157). У оптически более сильной линзы величина, обратная фокусному расстоянию $\frac{1}{F}$, имеет большее значение, чем у оптически менее сильной. Эту величину называют **оптической силой линзы** и обозначают буквой *D*.

Рис. 156. Преломление лучей линзами различной кривизны



За единицу сопротивления принимают Ом — сопротивление того проводника, в котором при напряжении 1 В сила тока равна 1 А.

Рис. 157. Увеличение линзы

Оптическая сила линзы — это величина, обратная её фокусному расстоянию.

$$D = \frac{1}{F}.$$

$$D = \frac{1}{F}$$

За единицу оптической силы принята оптическая сила линзы, фокусное расстояние которой равно 1 м.

Называют эту единицу *диоптрия* (дптр).

$$1 \text{ дптр} = \frac{1}{\text{м}}.$$

Обратите внимание на то, что фокусное расстояние, как и любое другое расстояние, можно измерять в метрах, сантиметрах, миллиметрах. Но для вычисления оптической силы линзы фокусное расстояние должно быть выражено только в метрах. Например, если фокусное расстояние линзы 50 см, то её оптическая сила

$$D = \frac{1}{0,5 \text{ м}} = 2 \text{ дптр}.$$

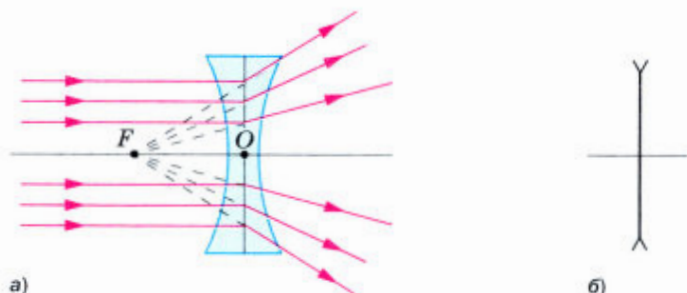


Собирающая линза

Для собирающей линзы, т. е. линзы, которая имеет действительный фокус, оптическую силу принято записывать со знаком «+» (в нашем примере оптическая сила линзы равна +2 дптр).

Прделаем такой же опыт с двояковогнутой линзой. Вы видите, что из линзы лучи выходят расходящимся пучком (рис. 158). Поэтому такую линзу называют *рассеивающей*. Если продолжить расходящиеся лучи в противоположную сторону, то они пересекутся в точке, лежащей на оптической оси линзы с той же сто-

Рис. 158. Рассеивающая линза:
a — прохождение лучей через фокус;
b — изображение её на схемах



роны, откуда падает свет. Эту точку называют фокусом линзы и обозначают буквой F . OF — фокусное расстояние линзы. У рассеивающей линзы также два фокуса, в чём можно убедиться, направив лучи на линзу с другой стороны. Фокус рассеивающей линзы называют **мнимым**, так как в нём собираются не сами лучи, преломлённые линзой, а их продолжения. Оптическую силу рассеивающей линзы принято записывать со знаком «-».

Главными собирающими линзами, созданными природой, являются хрусталик и роговица глаза человека. Благодаря им человек видит окружающий мир. Возможно, вы знаете, что, собрав лучи солнца с помощью собирающей линзы в её фокус, можно зажечь помещённую там бумажку. Основное использование линзы получили в таких приборах, как очки, лупа, микроскоп, телескоп, фотоаппарат, проекционный аппарат.



1. Расскажите, используя рисунки 153 и 155, об основных линиях и точках линзы. **2.** Какие виды линз вы знаете? Чем они отличаются друг от друга? **3.** Какая из двух собирающих линз, имеющих разные фокусные расстояния, даёт большее увеличение? **4.** Что характеризует оптическая сила линзы? **5.** Как определить оптическую силу линзы? В чём она измеряется?



Как, используя в качестве источника света Солнце, оценить фокусное расстояние собирающей линзы?



УПРАЖНЕНИЕ 49

1. Какой вред в солнечный день могут принести листьям растений попавшие на них капли воды?

2. Найдите оптическую силу собирающих линз, фокусные расстояния которых 5 см, 20 см, 2 м.
3. Даны две линзы с оптическими силами +5 дптр и -2 дптр. Какая из них рассеивающая?

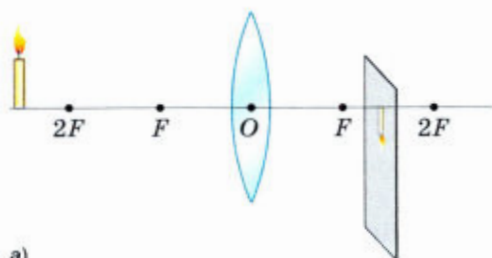


ЗАДАНИЕ

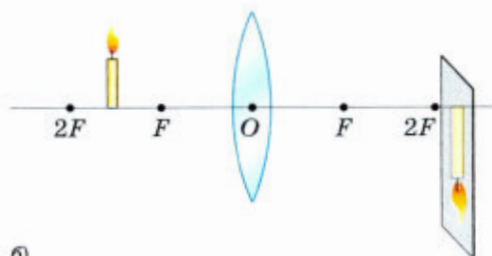
- Докажите построением, что линзы, показанные на рисунке 154, *а*, — собирающие, на рисунке 154, *б* — рассеивающие.

§ 60

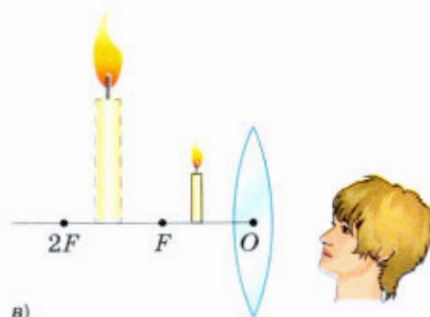
ИЗОБРАЖЕНИЯ, ДАВАЕМЫЕ ЛИНЗОЙ



а)



б)



в)

Рис. 159. Изображение свечи в собирающей линзе

С помощью линзы можно получать различные изображения предмета. Собирающая линза позволяет получить уменьшенное или увеличенное, прямое или перевёрнутое изображение (рис. 159).

Для построения изображения, даваемого линзой, достаточно знать положение предмета относительно линзы и её фокусное расстояние. Пусть нам требуется построить изображение некоторого предмета. Если мы научимся строить изображение одной точки предмета, то сможем построить изображение и всего предмета.

Рассмотрим, например, точку S предмета. Оказывается, после преломления в линзе все лучи, исходящие из точки S , или их продолжения будут пересекаться в одной точке S_1 — изображении точки S . Значит, для построения изображения точки достаточно взять два любых луча, исходящих из неё. Но какие из лучей наиболее удобны?

Выберем луч 1 , идущий параллельно главной оптической оси

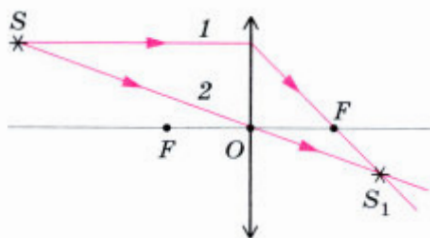


Рис. 160. Построение изображения светящейся точки в собирающей линзе

линзы. Этот луч, преломившись в линзе, пройдет через фокус (рис. 160). Вторым возьмём луч 2, проходящий через оптический центр линзы. Как показывает опыт, он проходит линзу без преломления. Далее находим положение точки S_1 (см. рис. 160). Аналогично строятся изображения остальных точек предмета.

Расположим предмет между фокусом и двойным фокусом. Расстояние d от предмета AB до линзы меньше $2F$, но больше F : $F < d < 2F$. На рисунке 161 для построения изображения предмета использовали два луча, исходящие из точки A предмета: луч, проходящий через центр линзы, и луч, идущий параллельно главной оптической оси линзы. На пересечении этих лучей получим **действительное** (пересекаются сами лучи, а не их продолжения) изображение точки A — точку A_1 . Когда предмет AB расположен между точками F и $2F$, его **действительное, увеличенное и перевёрнутое** изображение A_1B_1 находится за двойным фокусом линзы (см. рис. 161):

$$2F < f,$$

где f — расстояние от линзы до изображения.

Расположим предмет AB на расстоянии $d > 2F$ от линзы. Его изображение A_1B_1 является **действительным, уменьшенным и перевёрнутым** (рис. 162). Относительно линзы изобра-

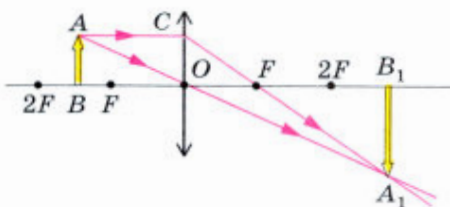


Рис. 161. Изображение, даваемое линзой, когда предмет находится между фокусом и двойным фокусом

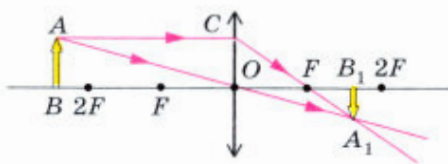


Рис. 162. Изображение, даваемое линзой, когда расстояние от источника света больше двойного фокуса

жение находится между фокусом и двойным фокусом, т. е.

$$F < f < 2F.$$

Такое изображение можно получить с помощью фотоаппарата.

Если предмет AB расположен между фокусом и линзой, т. е. $d < F$, то его изображение A_1B_1 является *мнимым, увеличенным и прямым* (рис. 163). Оно находится между фокусом и двойным фокусом, т. е.

$$F < f < 2F.$$

В данном случае линза «работает» как лупа. Лупы используют для рассмотрения мелких предметов: при чтении, сборке часов, в криминалистике.

Итак, размеры и расположение изображения предмета в собирающей линзе зависят от положения предмета относительно линзы.

На рисунке 164 показано построение изображения предмета в рассеивающей линзе. Рассеивающая линза даёт *мнимое, уменьшенное, прямое изображение*, которое находится по ту же сторону от линзы, что и предмет. Характер изображения не зависит от положения предмета относительно линзы.

Действительное изображение, даваемое линзой, означает, что если в том месте, где получается действительное изображение, установить экран, то мы увидим на экране это изображение. Изображение же, даваемое лупой, на экране увидеть невозможно, ведь оно мнимое.

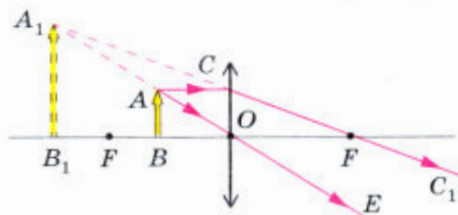


Рис. 163. Изображение, даваемое линзой, когда предмет находится между фокусом и линзой

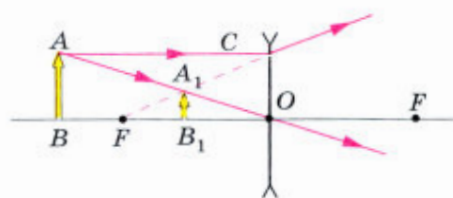


Рис. 164. Построение изображения в рассеивающей линзе

Все вы имеете представление о фотоаппарате. С его помощью решается задача получения на светочувствительной поверхности, которая играет роль экрана, действительного уменьшенного изображения. В фотоаппарате в зависимости от расстояния между линзой и предметом положение линзы подбирается таким (наводка на резкость), чтобы на светочувствительной поверхности, находящейся между точками F и $2F$, возникло бы чёткое изображение предмета. Конечно, это возможно лишь в том случае, если расстояние между линзой и предметом больше двойного фокусного расстояния. На практике расстояние между линзой и предметом значительно больше двойного фокусного расстояния. При этом изображение предмета находится почти в фокусе линзы.



1. От чего зависит характер изображения, даваемого собирающей линзой?
2. Какие лучи используют для построения изображения предмета в линзах?
3. Как меняется характер изображения предмета при увеличении расстояния между предметом и линзой?
4. В каких оптических приборах используются линзы?
5. Может ли вогнутая линза дать действительное изображение? Почему?



По рисунку 159 определите, в каких случаях получается действительное изображение свечи; мнимое. Чем отличаются мнимое изображение и действительное?



УПРАЖНЕНИЕ 50

1. Можно ли с помощью собирающей линзы получить изображение предмета, расположенного в фокусе линзы? Ответ поясните.
2. Постройте изображения предмета в собирающей линзе и опишите их. Рассмотрите следующие случаи: 1) предмет находится за двойным фокусом; 2) предмет пересекает точку двойного фокуса; 3) предмет находится между фокусом и двойным фокусом; 4) предмет находится между линзой и фокусом.
3. При каком условии изображение предмета, даваемое собирающей линзой, получается мнимым? Можно ли видеть это изображение? Можно ли получить его на экране? Ответ проиллюстрируйте чертёжком.
4. Собирающая тонкая линза даёт изображение предмета. Как изменится изображение, если половину линзы закрыть непрозрачным экраном?

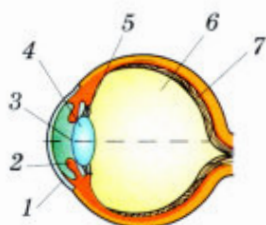


Рис. 165. Глаз человека

Рассмотрим устройство и работу такого замечательного прибора, созданного природой, как наш глаз. Его оптическую систему можно считать природным фотоаппаратом. Оптическая система глаза (рис. 165) состоит из двух линз (*роговица 1* и *хрусталик 4*). Хрусталик — прозрачное линзообразное тело, оптическая плотность которого почти такая же, как у стекла. Роль светочувствительной поверхности выполняет *сетчатка 7* — соединение нервных клеток и волокон, воспринимающих и проводящих световые воздействия.

В фотоаппарате имеется устройство (диафрагма), с помощью которого регулируется диаметр сечения светового пучка, проходящего через линзу. Достигается это за счёт изменения размера отверстия диафрагмы. Она находится между линзой и источником световых лучей. В глазу роль диафрагмы выполняет отверстие в *радужной оболочке 2*, которая за счёт красящего пигмента может иметь различные цвета: голубой, зелёный, карий и т. п.

Отверстие в радужной оболочке называют *зрачком 3*. За счёт *кольцевых и радиальных мышц 5* радужной оболочки диаметр зрачка может меняться от 1 мм до 8 мм. Это происходит рефлекторно в зависимости от количества света, попадающего в глаз.

В целом глаз выглядит как почти шарообразное тело. Его диаметр у новорождённого человека составляет примерно 16 мм, а у взрослого — 24 мм. Снаружи глаз окружён толстой (0,5—1 мм) белой прозрачной оболочкой, называемой *склерой*. Спереди она прозрачна и несколько выпукла (роговая оболочка), а сзади — белая и непрозрачная. Роговая оболочка (роговица) действует как собирающая линза и обеспечивает примерно 75% фокусирующей способности глаза.

За склерой располагается сосудистая оболочка, представляющая собой переплетение кровеносных сосудов, питающих глаз. В передней части глаза сосудистая оболочка постепенно переходит в радужную оболочку. Пространство между хрусталиком и роговицей (передняя камера) заполнено *водянистой влагой*. За хрусталиком до задней стенки глазного дна находится прозрачная студенистая масса, называемая *стекловидным телом* 6.

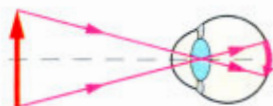


Рис. 166. Формирование изображения на сетчатке глаза

Как же «работает» наш глаз? Световые лучи, преломляясь в роговице, передней камере, хрусталике и стекловидном теле, попадают на сетчатку (рис. 166). Вследствие этого от нервных клеток сетчатки по волокнам зрительного нерва в мозг поступают электрические импульсы. Под действием поступающих в мозг сигналов возникает зрительное ощущение: человек видит предметы. Возможно, со временем учёные создадут прибор, способный подавать в соответствующие части мозга подходящие электрические импульсы, что смогло бы сделать слепого человека зрячим.

Теперь обратим внимание на характер изображения на сетчатке: ведь оно, как и в фотоаппарате, перевёрнутое. Тогда почему же мы воспринимаем предметы прямыми? Дело в том, что мозг вносит корректировку в процесс зрения и автоматически «переворачивает» изображение, возникающее на сетчатке.

Особенностью глаза является то, что расстояние от его частей, выполняющих роль собирающих линз (роговица, передняя камера, хрусталик, стекловидное тело), до сетчатки неизменно, т. е. расстояние от линзы до изображения остаётся постоянным. В то же время расстояние от глаза (линзы) до предмета может быть разным. Каким же образом человек видит чёткое изображение предметов? Оказывается, преломляющая способность глаза может меняться за счёт изменения выпуклости хрусталика.

Что произойдёт, если хрусталик сожмётся и станет более выпуклым? Вспомните, какая линза преломляет лучи сильнее. Более выпуклая. Следовательно, более выпуклый хрусталик будет преломлять лучи сильнее.

Как уже говорилось выше, лучи преломляются в основном роговицей. Хрусталик только помогает передней линзе в фокусировке света. Изменяя свою кривизну, он осуществляет настройку глаза на чёткое видение предмета, когда изображение попадает точно на сетчатку. Хрусталик сокращается за счёт мышц, которые прикрепляют его к склере. Настройку глаза на наилучшее видение называют **аккомодацией** (от лат. *accommodatio* — приспособление). По напряжению мышц, вызывающих аккомодацию хрусталика, человек способен судить о расстоянии до предметов, смотря даже одним глазом. Предел аккомодации наступает при расстоянии между предметами и глазом, равном примерно 12 см. Попробуйте измерить то расстояние между предметом и глазом, при котором вам удобнее всего читать. Это **расстояние наилучшего зрения**, которое для нормального глаза равно примерно 25 см.

У человека с нормальным зрением фокус глаза в ненапряжённом состоянии находится на сетчатке (рис. 167, а). Нередко встречаются два дефекта зрения: **дальнозоркость** и **близорукость**.

Фокус **дальнозоркого** глаза в ненапряжённом состоянии находится не на сетчатке, а за ней (рис. 167, б). Расстояние наилучшего зрения в данном случае больше 25 см. Рассматривая предмет в руках, человеку приходится отодвигать его от глаз. С возрастом у большинства людей появляется старческая дальнозоркость. Это происходит из-за того, что мышцы, связанные с хрусталиком, ослабевают, сам хрусталик уплотняется, и его способность сжиматься ухудшается. Как исправить дальнозоркость?

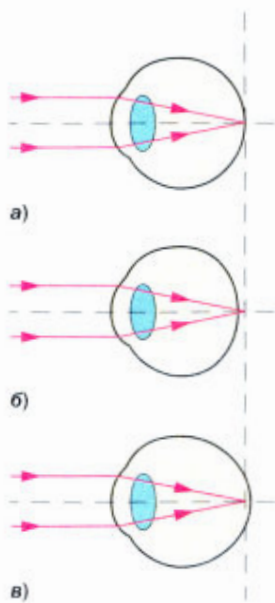


Рис. 167. Формирование изображения при: а — нормальном зрении; б — дальнозоркости; в — близорукости

Для усиления преломляющих свойств к глазу надо добавить ещё одну собирающую линзу, что и делают с помощью очков.

Фокус *близорукого* глаза в ненапряжённом состоянии находится перед сетчаткой (рис. 167, в). Расстояние наилучшего зрения в данном случае меньше 25 см. Рассматривая предмет в руках, близорукий человек подносит его ближе к глазам. Для исправления близорукости нужно уменьшить преломляющую способность глаза с помощью рассеивающей линзы. В очках для близоруких глаз используются рассеивающие линзы.

От рождения человеку даны два глаза. Поле (или угол) зрения двух глаз значительно больше, чем одного. Кроме того, изображения предметов на сетчатке левого и правого глаза несколько различны. Благодаря этому наш глаз воспринимает изображения предметов объёмными, а не плоскими.



1. Каково строение глаза? 2. Как формируется изображение на сетчатке глаза? Какое изображение формируется на ней? 3. Почему при разных расстояниях до предмета изображение всегда получается на сетчатке? 4. Почему близоруким людям нужны очки с рассеивающими линзами, а дальнозорким — с собирающими? 5. Какое преимущество даёт зрение двумя глазами?



1. Почему нелегко вдеть нитку в иголку, если смотреть одним глазом?
2. Два наблюдателя — один близорукий, другой дальнозоркий — рассматривают предмет при помощи одинаковых луп. Какому из наблюдателей приходится помещать предмет ближе к лупе, если расстояние от лупы до глаза у обоих наблюдателей одинаковое?



ЗАДАНИЕ



1. Проверьте зависимость размера зрачка от его освещённости. Для этого пронаблюдайте с помощью зеркала, что будет со зрачками ваших глаз, если на них направить солнечный зайчик или свет от электрической лампочки.



2. Измерьте расстояние наилучшего зрения для вашего глаза.

Оптические приборы

Комбинирование различных типов линз позволяет сконструировать оптические приборы для рассматривания очень мелких предметов (лупа, микроскопы), удалённых (бинокли, телескопы), для проецирования изображений (кинопроекторы) и т. д. Остановимся на некоторых из них.

Вспомните, как вы поступаете, если нужно рассмотреть мелкие детали предмета. Конечно, вы приближаете его к глазу. Угол зрения при этом увеличивается, и вы различаете мелкие детали. Известно, что глаз различает две точки раздельно, если угол зрения, под которым они видны, не меньше одной минуты. Когда угол зрения меньше, то эти две точки сольются в одну. Для того чтобы помочь нашему глазу рассмотреть очень отдалённые или очень мелкие предметы, применяются различные оптические приборы, задача которых — увеличение угла зрения.

Лупа является одним из таких приборов. В качестве лупы применяются собирающие линзы с фокусным расстоянием от 1 до 10 см. Линзы с фокусным расстоянием меньше 1 см не применяются, так как они по размерам должны быть столь мелкими, что на практике ими невозможно пользоваться. Линзы с фокусным расстоянием больше 10 см также не применяются, так как они увеличивают угол зрения незначительно, а при расстоянии 25 см он и вовсе не меняется.

Лупу помещают перед глазом по возможности ближе к нему, а рассматриваемый предмет — на расстоянии немного меньше фокусного расстояния лупы. Угол зрения, под которым мы видим предмет, увеличивается. И тогда глаз сможет без напряжения чётко рассмотреть многие детали этого предмета. Лупа даёт увеличение в 30—40 раз.

Для получения больших увеличений применяется **микроскоп**. На уроках биологии вы пользовались этим прибором и знаете, что он состоит из окуляра, объектива, тубуса, предметного столика, зеркала и винтов для наводки на резкость. Оптическая система микроскопа состоит из двух ча-



Оптические приборы:

а — бинокль;

б — лупа;

в — микроскоп

стей: объектива и окуляра. В простейшем случае в роли объектива и окуляра используют по одной линзе. В более сложном — систему линз. Объектив (он обращён к предмету) — это короткофокусная линза; окуляр (он обращён к глазу) — длиннофокусная линза.

Предмет помещают перед объективом на расстоянии немного большем фокусного. Объектив даёт действительное, увеличенное, перевёрнутое изображение. Передвигая окуляр в тубусе, добиваются того, чтобы изображение оказалось между фокусом и линзой окуляра (как можно ближе к фокусу), т. е. окуляр играет роль лупы. Окуляр даёт мнимое, увеличенное, прямое изображение.

В современных микроскопах, дающих увеличение до 1000 раз, в качестве окуляра и объектива используется система линз. С помощью микроскопа мы можем отчётливо видеть кровяные шарики, многие виды микробов. Например, чтобы увидеть кровяные шарики, достаточно увеличение микроскопа в 200 раз.

ИТОГИ ГЛАВЫ

Вы узнали, что такое свет и какие бывают источники света. Знаете, как устроена линза, и умеете получать с её помощью изображение предметов, знаете, где линзы применяются. Можете объяснить, как получаются миражи.

Знаете законы распространения света и можете поставить эксперименты, их доказывающие. Умеете строить ход лучей в собирающей и рассеивающей линзах.

ОБСУДИМ?

Максим решил объяснить своему другу Николаю, почему зимой на широте города Владимира холоднее, чем летом. Для этого он собрал простую установку, состоящую из картонной коробки в форме треугольной призмы, настольной лампы на гибком штативе и термометра.

Подумайте и опишите опыт, который поставил Максим, нарисуйте схему экспериментальной установки и постройте ход лучей.

ПРОЕКТЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ

1. «Алмазы на траве, или почему роса сверкает» (возможная форма: презентация, реферат, опыты).
2. «История микроскопа» (возможная форма: презентация, реферат, опыты).
3. «Оптические иллюзии» (возможная форма: презентация, реферат, опыты).
4. «Солнечные часы» (возможная форма: презентация, реферат, опыты, макет).
5. «Фокусируем солнечную энергию, или огонь без спичек (ледяная линза)» (возможная форма: презентация, реферат, опыты).



№ 1 ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА КАЛОРИМЕТРА

Цель работы Изучить устройство калориметра. Сравнить скорости теплообмена с внешней средой горячей воды в калориметре и в стакане.

Приборы и материалы Измерительный цилиндр, стакан, калориметр, термометр.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Рассмотрите, как устроен калориметр.
2. Налейте в калориметр и в стакан по 100 мл горячей воды. Измерьте начальную температуру воды в обоих сосудах.
3. **Обработка результатов прямых измерений.** Результаты измерений с учётом абсолютной погрешности, равной цене деления шкалы термометра, запишите в таблицу 10.

Таблица 10

Тело	Начальная температура $t_0 \pm \Delta t, ^\circ\text{C}$	Конечная температура $t_1 \pm \Delta t, ^\circ\text{C}$
Вода в калориметре		
Вода в стакане		

4. Наблюдайте за изменением температуры воды в течение 10 мин в калориметре и в стакане. Измерьте конечную температуру воды в сосудах.
5. Сравните изменение температуры горячей воды в калориметре и в стакане за 10 мин и сделайте вывод. Объясните, за счёт каких особенностей конструкции сосуда (калориметра) изменяется скорость теплообмена с внешней средой.

Цель работы Сравнить количество теплоты, отданное горячей водой и полученное холодной водой при теплообмене.

Приборы и материалы Измерительный цилиндр, калориметр, стакан, термометр.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Налейте в калориметр 100 мл горячей воды, в стакан — 100 мл холодной. Измерьте начальную температуру сначала холодной воды, а затем горячей.
2. Не вынимая термометр из горячей воды, осторожно вылейте холодную воду из стакана в калориметр. Перемешайте воду термометром и измерьте температуру смеси.
3. **Обработка результатов измерений.** Массу воды определите по формуле $m = \rho V$, зная, что плотность воды $1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Результаты измерений с учётом абсолютной погрешности, равной цене деления шкалы термометра, и вычислений запишите в таблицу 11.

Таблица 11

Масса холодной воды m_1 , кг	Начальная температура холодной воды t_1 , °C	Масса горячей воды m_2 , кг	Начальная температура горячей воды t_2 , °C	Температура смеси t , °C	Количество теплоты, полученное холодной водой Q_1 , Дж	Количество теплоты, отданное горячей водой Q_2 , Дж

4. Рассчитайте количество теплоты, отданное горячей водой при остывании до температуры смеси, и количество теплоты, полученное холодной водой при нагревании до той же температуры.
5. Сравните количество теплоты, отданное горячей водой и полученное холодной водой при теплообмене, сделайте вывод и обоснуйте его.

Примечание В выводе к лабораторной работе не забудьте указать про потери некоторого количества теплоты.

Цель работы Определить удельную теплоёмкость вещества.

Приборы и материалы Металлический цилиндр на нити, измерительный цилиндр, калориметр, термометр, весы рычажные с набором разновесов (электронные весы), фильтровальная бумага или бумажная салфетка, сосуд с горячей водой, стакан с холодной водой.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. С помощью измерительного цилиндра налейте в калориметр холодную воду массой 150—200 г. Измерьте температуру воды.
2. **Обработка результатов измерений.** Результаты вычислений и прямых измерений температуры запишите в таблицу 12 с учётом абсолютной погрешности, равной цене деления шкалы термометра. Абсолютную погрешность измерения массы уточните у учителя.

Таблица 12

Масса воды в калориметре m_1 , кг	Начальная температура воды t_1 , °C	Масса цилиндра m_2 , кг	Начальная температура цилиндра t_2 , °C	Общая температура воды и цилиндра t , °C

3. Опустите металлический цилиндр, вынутый из горячей воды, в калориметр. Температуру горячей воды узнайте у учителя. После того как температура воды перестанет меняться, измерьте общую температуру воды и цилиндра.
4. Потянув за нить, выньте цилиндр из воды, оботрите его салфеткой. Определите массу металлического цилиндра с помощью весов.
5. Рассчитайте количество теплоты, которое получила вода при нагревании.
6. Пренебрегая тепловыми потерями, определите количество теплоты, которое отдал металлический цилиндр при остывании. Вычислите удельную теплоёмкость веществ.

ва, из которого сделан цилиндр. По таблице 1 определите, из какого вещества изготовлен цилиндр.

7. Сделайте вывод.

№ 4

ИЗМЕРЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

Цель работы Определить относительную влажность воздуха в классной комнате.

Приборы и материалы Термометр, кусочек ткани, сосуд с водой.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Измерьте температуру воздуха в классной комнате.
2. **Обработка результатов прямых измерений.** Результаты измерения температуры запишите в таблицу 13 с учётом абсолютной погрешности, равной цене деления шкалы термометра.

Таблица 13

$t, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{вл}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$\varphi, \%$

3. Резервуар термометра обмотайте кусочком ткани. Смочите ткань водой комнатной температуры.
4. Как только прекратится изменение температуры, определите показание влажного термометра.
5. Найдите разность показаний сухого и влажного термометров.
6. Пользуясь таблицей 7, определите относительную влажность воздуха.
7. Если в кабинете есть психрометр, определите с его помощью влажность воздуха и сравните полученные значения.
8. Сделайте вывод о значении относительной влажности в классной комнате. Соответствует ли полученное значение санитарным нормам для школ (40—60%)?

СБОРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ И ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА В ЕЁ РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ

Цель работы Собрать электрическую цепь. Измерить силу тока в различных участках цепи с помощью амперметра.

Приборы и материалы Лабораторный источник питания (ЛИП), лампа на подставке, ключ, амперметр, соединительные провода.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Начертите схему электрической цепи, показанной на рисунке 168, а. Соберите цепь по схеме.

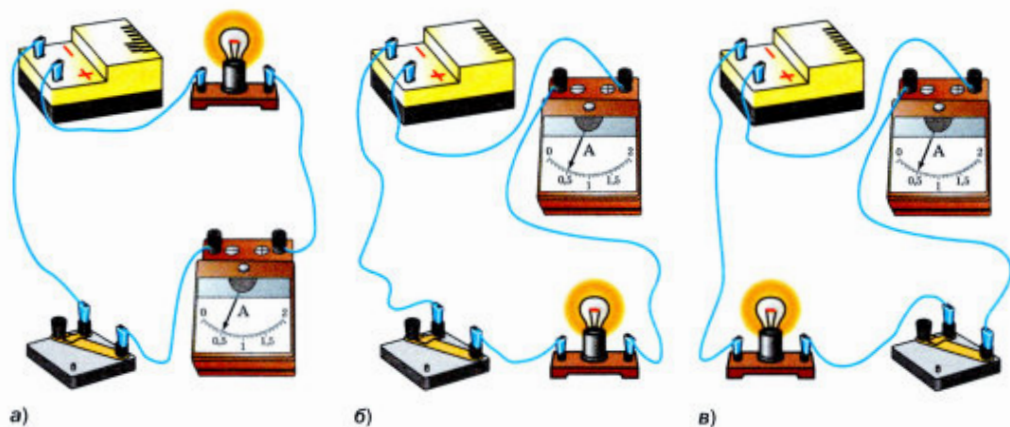


Рис. 168

Примечание При сборке цепи ключ должен быть разомкнут. Обязательно проверьте правильность подключения амперметра в цепь: клемма, обозначенная знаком «+», должна быть соединена с проводом, идущим от положительного полюса источника тока.

2. Замкните цепь. Измерьте силу тока I_1 .
3. **Обработка результатов прямых измерений.** Результаты измерений силы тока с учётом абсолютной погрешности, равной цене деления шкалы амперметра, запишите в таблицу 14.

Таблица 14

Сила тока I_1 , А	Сила тока I_2 , А	Сила тока I_3 , А

- Начертите схему электрической цепи для случаев, показанных на рисунках 168, б и в.
- Измерьте силу тока для каждого случая.
- Сделайте вывод о значении силы тока в различных последовательно соединённых участках цепи.

№ 6

ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Цель работы Собрать электрическую цепь. Измерить напряжение на различных участках цепи с помощью вольтметра. Выявить закономерности последовательного соединения проводников.

Приборы и материалы Лабораторный источник питания (ЛИП), лампа на подставке, резистор, ключ, вольтметр, соединительные провода.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

- Начертите схему электрической цепи, содержащей источник тока, резистор, лампочку и ключ, соединённые последовательно. Покажите схему учителю.
- Соберите электрическую цепь по схеме.
- Подключите вольтметр так, чтобы он измерял напряжение U_1 на лампочке. Обозначьте положение вольтметра на схеме в этом случае V_1 .
- Замкните цепь и измерьте напряжение.

Примечание При сборке цепи ключ должен быть разомкнут. Обязательно проверьте правильность подключения вольтметра в цепь: клемма, обозначенная знаком «+», должна быть соединена с проводом, идущим от положительного полюса источника тока.

5. **Обработка результатов прямых измерений.** Результаты измерений напряжения с учётом абсолютной погрешности, равной цене деления шкалы вольтметра, запишите в таблицу 15.

Таблица 15

Напряжение U_1 , В	Напряжение U_2 , В	Напряжение U , В

6. Подключите вольтметр так, чтобы он измерял напряжение U_2 на резисторе. Обозначьте положение вольтметра на схеме в этом случае V_2 .
7. Замкните цепь и измерьте напряжение.
8. Подключите вольтметр так, чтобы он измерял напряжение U на участке цепи, содержащем лампочку и резистор. Обозначьте положение вольтметра на схеме в этом случае V .
9. Замкните цепь и измерьте напряжение.
10. Проанализировав полученные результаты, сделайте вывод о соотношении напряжений на различных участках цепи. Проверьте или подтвердите гипотезу: при последовательном соединении лампочки и резистора общее напряжение на участке цепи равно сумме напряжений на отдельных элементах этого участка.
11. По итогам лабораторных работ № 5 и 6 сформулируйте закономерности для силы токов и напряжений при последовательном соединении проводников.

№ 7

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА. ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ РЕОСТАТА

Цель работы Изучить устройство реостата. Измерить сопротивление проводника с помощью амперметра и вольтметра. Проверить возможность изменения силы тока в цепи при помощи реостата.

Приборы и материалы Лабораторный источник питания (ЛИП), реостат, ключ, амперметр, вольтметр, соединительные провода.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Рассмотрите реостат. Сделайте предположение о том, как изменяется сопротивление реостата при изменении положения ползунка (от крайнего левого до крайнего правого).
2. Начертите схему электрической цепи, показанной на рисунке 169.

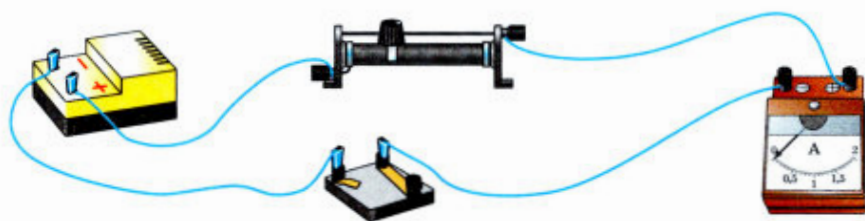


Рис. 169

3. Соберите электрическую цепь по схеме. Подключите вольтметр так, чтобы он измерял напряжение на реостате.
4. Поставьте ползунок реостата в положение, при котором его сопротивление максимально. Замкните цепь, снимите показания амперметра и вольтметра.
5. **Обработка результатов измерений.** Результаты прямых измерений силы тока и напряжения с учётом абсолютной погрешности, равной цене деления шкалы прибора, и вычислений запишите в таблицу 16.

Таблица 16

№ опыта	Сила тока I , А	Напряжение U , В	Сопротивление R , Ом

6. Передвиньте ползунок реостата приблизительно на четверть длины обмотки, затем на половину, затем на три четверти. В каждом случае снимите показания приборов.

Примечание Перед замыканием цепи проверяйте положение ползунка реостата: нельзя, чтобы его сопротивление было минимальным. Это может привести к поломке амперметра.

7. Рассчитайте сопротивление реостата в каждом случае.
8. Проанализируйте результаты измерений и сделайте вывод о назначении реостата.

№ 8

ИЗУЧЕНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ

Цель работы Выявить закономерности параллельного соединения проводников.

Приборы и материалы Лабораторный источник питания (ЛИП), два резистора, ключ, амперметр, вольтметр, соединительные провода.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Начертите схему электрической цепи, состоящей из источника питания, ключа, двух параллельно соединённых резисторов R_1 и R_2 . Добавьте в схему амперметр и вольтметр так, чтобы они измеряли силу тока и напряжение на резисторе R_1 .
2. Соберите электрическую цепь по схеме.
3. Замкните цепь, определите силу тока и напряжение на резисторе R_1 .
4. **Обработка результатов прямых измерений.** Результаты измерений силы тока и напряжения с учётом абсолютной погрешности, равной цене деления шкалы прибора, запишите в таблицу 17.

Таблица 17

№ опыта	Сила тока I , А	Напряжение U , В

5. Измените расположение измерительных приборов на схеме таким образом, чтобы они измеряли силу тока и напряжение на резисторе R_2 .
6. Соберите цепь по схеме. Определите силу тока и напряжение на резисторе R_2 .

7. Измените расположение измерительных приборов на схеме таким образом, чтобы они измеряли силу тока на неразветвлённом участке цепи и напряжение на участке цепи, содержащем оба резистора.
8. Соберите цепь по схеме. Определите силу тока и напряжение.
9. Проанализируйте результаты измерений и сделайте вывод о закономерностях параллельного соединения.

№ 9

ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ И РАБОТЫ ТОКА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЛАМПЕ

Цель работы Измерить мощность и работу электрического тока в электрической лампе.

Приборы и материалы Лабораторный источник питания (ЛИП), лампа на подставке, ключ, амперметр, вольтметр, часы, соединительные провода.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Начертите схему электрической цепи последовательного соединения источника питания, ключа и лампы. Подключите амперметр и вольтметр так, чтобы они измеряли силу тока в цепи и напряжение на лампе. Соберите цепь по схеме.
2. Измерьте силу тока в цепи и напряжение на лампе.
3. **Обработка результатов измерений.** Результаты прямых измерений силы тока и напряжения с учётом абсолютной погрешности, равной цене деления шкалы прибора, и вычислений запишите в таблицу 18.

Таблица 18

Сила тока I , А	Напряжение U , В	Мощность тока P , Вт	Время горения лампы t , с	Работа тока A , Дж

4. Рассчитайте мощность электрического тока в лампе по измеренным значениям силы тока и напряжения.
5. Измерьте время горения лампы и рассчитайте работу электрического тока в лампе.
6. Сделайте вывод.

№ 10

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ИЗОБРАЖЕНИЯ В СОБИРАЮЩЕЙ ЛИНЗЕ. ИЗМЕРЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СИЛЫ ЛИНЗЫ

Цель работы Измерить фокусное расстояние и оптическую силу линзы. Изучить на опыте свойства изображения в собирающей линзе.

Приборы и материалы Лабораторный источник питания (ЛИП), лампа на подставке, собирающая линза на подставке, колпачок с прорезью (для лампы), экран, ключ, соединительные провода, измерительная лента.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

1. Расположите линзу и экран так, чтобы на экране получилось чёткое изображение рамы окна. Начертите ход лучей.
2. Измерьте фокусное расстояние линзы.
3. **Обработка результатов измерений.** Результаты прямых измерений фокусного расстояния линзы с учётом абсолютной погрешности, равной цене деления шкалы измерительной ленты, и вычислений запишите в таблицу 19.

Таблица 19

Фокусное расстояние F , м	Оптическая сила линзы D , дптр

4. Найдите оптическую силу линзы.
5. Соберите электрическую цепь, соединив последовательно лампу, источник питания и ключ.

6. Располагая лампу на разных расстояниях d от линзы:
1) $d > 2F$; 2) $d = 2F$; 3) $F < d < 2F$; 4) $d < F$, — добейтесь, перемещая экран, чёткого изображения нити накала лампы на нём в тех случаях, когда это возможно.
7. Начертите ход лучей для каждого случая.
8. Сделайте вывод об изменении характера изображения в зависимости от расстояния между лампой и линзой.



ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

1. На каком явлении основан принцип действия жидкостного термометра?
 - 1) изменение давления паров жидкости при изменении температуры
 - 2) изменение объёма жидкости при изменении температуры
 - 3) изменение скорости диффузии в жидкостях при изменении температуры
 - 4) изменение скорости испарения жидкости при изменении температуры
2. Что характеризует температура?
 - 1) скорость движения одной молекулы
 - 2) скорость движения множества молекул
 - 3) взаимодействие молекул
 - 4) среднюю кинетическую энергию молекул
3. Может ли энергия при теплообмене самопроизвольно передаваться от холодного тела к горячему?
 - 1) может, поскольку теплопередача от горячего тела к холодному является обратимым процессом
 - 2) не может, поскольку теплопередача от горячего тела к холодному является необратимым процессом
 - 3) может, поскольку теплопередача от горячего тела к холодному является необратимым процессом
 - 4) не может, поскольку теплопередача от горячего тела к холодному является обратимым процессом
4. Стальную деталь просверлили. Как изменилась её внутренняя энергия?
 - 1) увеличилась за счёт теплопередачи
 - 2) увеличилась за счёт совершения работы
 - 3) уменьшилась за счёт совершения работы
 - 4) уменьшилась за счёт теплопередачи

5. Кусок свинца поместили в пламя газовой горелки. Как изменилась его внутренняя энергия?
- 1) увеличилась за счёт совершения работы
 - 2) уменьшилась за счёт совершения работы
 - 3) уменьшилась за счёт теплопередачи
 - 4) увеличилась за счёт теплопередачи
6. На графике (рис. 170) показано изменение температуры некоторого твёрдого тела со временем. Определите начальную и конечную температуру тела. Охарактеризуйте изменение внутренней энергии тела на каждом участке графика за всё время наблюдения.

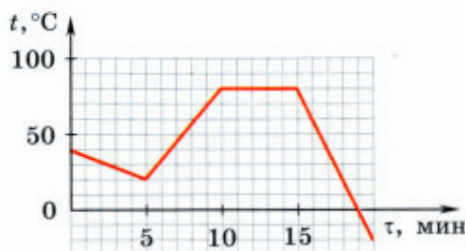


Рис. 170

7. Какое количество теплоты необходимо для нагревания железного утюга массой 400 г от температуры 20 °C до температуры 240 °C?
8. Какое количество теплоты выделится при охлаждении от температуры 80 °C: а) 3 кг воды до температуры 20 °C; б) 50 л воды до температуры 20 °C?
9. Какова удельная теплоёмкость стали, если при остывании стальной детали массой 3 кг от температуры 600 °C до температуры 20 °C выделилось количество теплоты 870 кДж?
10. Определите массу куска серебра, если за промежуток времени от 5 до 10 мин (см. рис. 170) он получил от нагревателя количество теплоты 12 кДж.
11. Термометр, показывающий температуру 22 °C, опускают в воду, после чего он показывает температуру 70 °C. Че-

му равна температура воды до погружения термометра?

Масса воды 40 г, теплоёмкость¹ термометра $7 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$.

12. Что происходит с температурой куска олова с момента начала плавления до его окончания?
13. На каком из графиков зависимости температуры от времени (рис. 171) можно найти участок, соответствующий процессу кристаллизации?

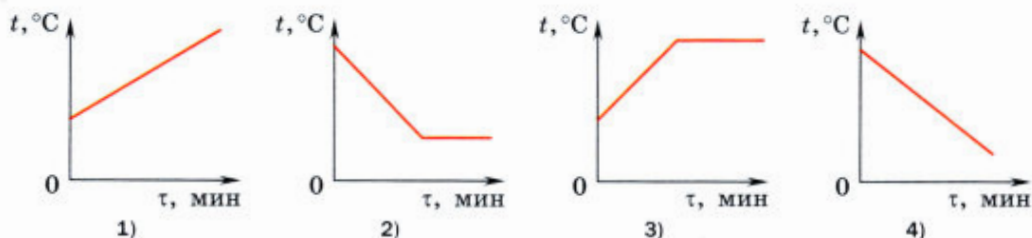


Рис. 171

14. В углубление, сделанное во льду, взятом при температуре 0°C , положили кусок олова массой 66 г при температуре 110°C . Какова масса растаявшего льда?
15. Когда в лёд, температура которого 0°C , положили кусок металла массой 3 кг, предварительно прогретый в кипящей воде, под ним расплавилось 360 г льда. Какова удельная теплоёмкость металла?
16. На каком из графиков зависимости температуры от времени (рис. 172) можно найти участок, соответствующий процессу кипения?

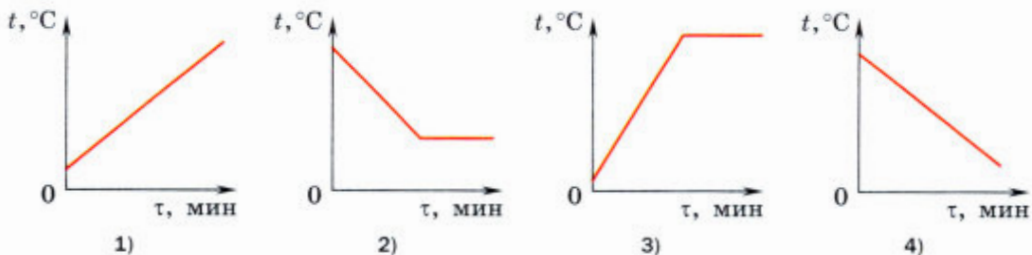


Рис. 172

¹ Теплоёмкость C равна произведению удельной теплоёмкости вещества s и массы m тела: $C = sm$.

17. Какое количество теплоты потребуется, чтобы довести до кипения 4 кг воды, находящейся при температуре 10 °С, и испарить её?
18. Сколько килограммов льда, взятого при температуре 0 °С, расплавится, если ему сообщить такое же количество теплоты, которое выделится при конденсации 13,2 кг водяного пара при температуре 100 °С?
19. Каковы показания сухого и влажного термометров психрометра, если разность их показаний 5 °С, а относительная влажность воздуха равна: а) 40%; б) 62%; в) 35%?
20. Какое топливо использовали для нагревания и превращения в пар 900 г воды с начальной температурой 39 °С, если истратили 50 г топлива?

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

21. Может ли существовать электрическое поле в вакууме?
22. Установите соответствие между физическим законом и формулой.
К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Физический закон

- А) закон сохранения заряда
Б) закон Ома
В) закон Джоуля—Ленца

Формула

- 1) $I = \frac{U}{R}$
2) $R = \frac{\rho l}{S}$
3) $q_1 + q_2 + q_3 = \text{const}$
4) $Q = I^2 R t$

А	Б	В

23. Начертите схему электрической цепи, содержащей источник тока, два электрических звонка и ключ, так, чтобы звонки включались одновременно.

24. При открывании дверцы холодильника загорается лампа, а при закрывании холодильника она гаснет. Начертите схему соответствующей электрической цепи.
25. Показание вольтметра, подключённого к работающей лампе накаливания, равно 160 В. Амперметр, включённый в эту же цепь, показывает силу тока в лампе 1 А. Чему равно сопротивление лампы? Начертите схему данной электрической цепи, включив в неё источник тока и ключ.
26. Ученик провёл ряд опытов, в которых он изучал электрические сопротивления различных металлических проводников. В качестве проводника он использовал манганиновые и нихромовые проволоки разных длин и диаметров. Результаты опытов приведены в таблице.

№ опыта	Материал	Площадь поперечного сечения S , 10^{-3} см ²	Длина l , см	Сопротивление R , Ом
1	Манганин	1,5	40	1,1
2	Манганин	1,5	80	2,3
3	Манганин	3,0	80	1,1
4	Нихром	1,5	30	2,2

Выберите из предложенного перечня два утверждения, которые соответствуют результатам проведённых измерений. Укажите их номера, аргументируйте свой выбор.

- 1) При увеличении длины проводника его сопротивление не меняется.
 - 2) Электрическое сопротивление проводника зависит от материала, из которого изготовлен проводник.
 - 3) Электрическое сопротивление проводника увеличивается при увеличении длины проводника.
 - 4) Электрическое сопротивление уменьшается при увеличении площади поперечного сечения проводника.
 - 5) Электрическое сопротивление проводника увеличивается при увеличении диаметра проводника.
27. Определите удельное сопротивление проволоки длиной 20 м и площадью поперечного сечения 10^{-7} м², если её сопротивление 2 Ом.

28. Масса 1 км медного контактного провода на пригородных железных дорогах составляет 890 кг. Каково сопротивление этого провода?
29. Какой длины надо взять медный провод площадью поперечного сечения $3,6 \text{ мм}^2$, чтобы при силе тока 1,5 А напряжение на нём было 0,6 В?
30. Две проволоки — медная и алюминиевая имеют одинаковую массу. Длина медной проволоки в 10 раз больше длины алюминиевой. Во сколько раз сопротивление медной проволоки больше сопротивления алюминиевой? Плотность меди в 3,3 раза больше плотности алюминия, а удельное сопротивление в 1,65 раз меньше.
31. Две лампочки с сопротивлением 100 и 400 Ом соответственно включены последовательно. Какая из них будет гореть ярче?
32. Две лампочки с сопротивлением 100 и 400 Ом соответственно включены параллельно. Какая из них будет гореть ярче?
33. Какую работу совершает электрический ток в электродвигателе за 1 мин, если при напряжении 220 В сила тока в двигателе равна 0,2 А?
34. Сколько энергии выделяется в лампе накаливания с сопротивлением 200 Ом за 1 ч, если она включена в цепь с напряжением 200 В?
35. В паспорте электрического утюга написано «220 В, 600 Вт». Какое количество теплоты выделится в утюге за 0,5 ч работы при напряжении в сети 220 В?
36. За какое время в спирали сопротивлением 40 Ом при силе тока 2 А выделится 16 кДж энергии?
37. Какое сопротивление следует включить в сеть с напряжением 220 В, чтобы в нём за 10 мин выделилось 120 кДж энергии?
38. На электрической плитке мощностью 1200 Вт 2 л воды нагреваются от 20 до 100 °С за 15 мин. Определите КПД плитки.
39. За какое время в электрическом чайнике мощностью 600 Вт можно вскипятить 1 л воды, взятой при температуре 20 °С? КПД чайника 70%.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

40. Что показал опыт Эрстеда?
41. Прямолинейный проводник расположили над магнитной стрелкой параллельно её оси. При пропускании по проводнику тока стрелка повернулась, установившись почти перпендикулярно проводнику. Что оказывает более сильное действие на магнитную стрелку — электрический ток или магнитное поле Земли?
42. Почему научно-исследовательские суда для изучения магнитного поля Земли строят не из стали, а из дерева?
43. Изменится ли направление вращения рамки (см. рис. 124), если изменить полярность подключения источника тока к щёткам?
44. Каков принцип действия электродвигателя?

СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

45. Сделайте чертёж и изобразите на нём тени и полутени от мяча, освещённого двумя источниками света S_1 и S_2 .
46. Чтобы проверить прямолинейность оструганной рейки, смотрят вдоль её кромки. Какое свойство светового луча используется при этом?
47. В солнечный день длина тени на земле от ели высотой 1,8 м равна 90 см, а берёзы — 10 м. Какова высота берёзы?
48. Тень от штанги футбольных ворот утром и вечером длиннее, чем днём. Меняется ли в течение дня длина тени от перекладины ворот?
49. Постройте изображение стрелки AB в плоском зеркале, пользуясь законом отражения света. Какое это будет изображение?
50. Как изменится расстояние от предмета до его изображения, если предмет удалить от зеркала на 1 м?

51. Девочка стоит перед плоским зеркалом на расстоянии 0,5 м от него. Чему будет равно расстояние между ней и её изображением в зеркале, если девочка отступит на 1 м дальше от зеркала?
52. Как представляется точка, находящаяся над поверхностью воды, для глаза, смотрящего из воды, — приближённой к поверхности или удалённой? Ответ поясните чертежом.
53. Может ли угол преломления быть равен углу падения?
54. Рассеивающая тонкая линза даёт изображение предмета. Как изменится изображение, если половину линзы закрыть непрозрачным экраном?
55. У какой линзы оптическая сила равна нулю?
56. Укажите дальнейший ход луча света после прохождения собирающей линзы (рис. 173).

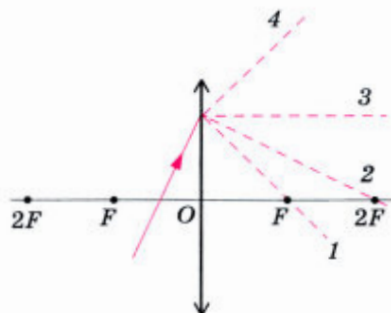


Рис. 173

57. Как следует расположить две собирающие линзы, чтобы параллельный пучок света после прохождения через обе линзы остался параллельным?
58. Выполняя гимнастику для глаз, человек переводит взгляд с удалённого предмета на метку на оконном стекле. Как при этом меняются фокусное расстояние и оптическая сила хрусталика глаза человека?
59. Чему равно фокусное расстояние линзы, оптическая сила которой +2,5 дптр?
60. Какая линза имеет большее фокусное расстояние: оптическая сила которой +1,5 или -3 дптр?

ОТВЕТЫ

К упражнениям

- Упр. 1. 1. а) 2 °С; б) 2 К. 2. а) 27 °С; -53 °С; 0 °С; 400 °С; б) 400 К; 246 К; 309,6 К. 3. а) 273 К; 10 °С; б) 290 К; 27 °С; в) 0 К; 0 °С.
- Упр. 7. 2. $Q_{\text{воды}} > Q_{\text{меди}}$. 4. У медной гири температура изменится больше. 5. 3 — вода; 2 — керосин; 1 — подсолнечное масло. 6. 1 — вода; 2 — алюминий.
- Упр. 8. 1. 63 кДж. 2. Уменьшилась на 588 кДж. 3. 0,5 кг. 4. ≈ 53 кДж. 5. 5 л. 6. а) $625,8 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$; б) $658,7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$.
- Упр. 9. 3. $7 \cdot 10^7$ Дж. 4. $4,6 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$; керосин или бензин. 6*. $\approx 0,025$ г. 7*. $\approx 2,7 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.
- Упр. 10. 1. Уменьшится на 50 Дж. 2. 1 кДж. 3. 32 Дж.
- Упр. 14. 3. Вода замёрзнет. 4. Для плавления алюминия потребуется в 4,6 раз больше энергии. 5. На 11,8 кДж. 6. 9,72 кДж. 7*. а) 1020 кДж; б) 1224 кДж.
- Упр. 17. 7. $\approx 68\%$. 8. а) 66%; б) 100%; в) 91%.
- Упр. 18. 2. 2,09 МДж. 6*. ≈ 50 кг. 7*. 31 кг.
- Упр. 19. 5,7 г.
- Упр. 20. 1. 25%; 8750 Дж. 2. ≈ 1100 Дж. 3. $\approx 17,6$ кДж.
- Упр. 23. 2. $-2q$. 3. $1,44 \cdot 10^{-2}$ Кл; $8,2 \cdot 10^{-14}$ кг. 4. $2,5 \cdot 10^{10}$; $2,275 \cdot 10^{-20}$ кг. 5. $\approx +8,3 \cdot 10^{-7}$ Кл. 6. $\approx 1,46 \cdot 10^{11}$.
- Упр. 28. 2. 5 А. 3. 4,8 А. 4. 10 с. 6. 1 А. 7. 1 мКл; $6,25 \cdot 10^{15}$.
- Упр. 29. 1. Напряжение на втором проводнике в 3,75 раза больше. 3. 12 В. 5. Напряжение на первом участке цепи в 6 раз больше.
- Упр. 30. 1. 0,3 А. 2. 220 Ом. 3. 12 В; сила тока увеличится в 4 раза. 4. 4 Ом. 5. $\approx 5,5$ А.

- Упр. 31. **1.** 1,1 Ом. **2.** Второй проводник имеет большее в 6 раз сопротивление. **3.** Сопротивление второго проводника меньше в 5 раз. **4.** Проводник из вольфрама имеет в 3,2 раза большее сопротивление. **5.** Уменьшилось в 4 раза. **6.** $\approx 327,3$ м. **7.** 25,5 мОм.
- Упр. 32. **1.** Сила тока уменьшится в 7 раз. **2.** 0,272 Ом. **3.** 192 В. **4.** 4,25 В.
5. 5,1 мм². **6.** $1,1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$; нихром.
- Упр. 33. 2,25 А.
- Упр. 34. **1.** 2 А; 20 В; 60 В. **2.** 7. **3.** 1400 Ом. **5***. 50 м.
- Упр. 35. **1.** 3 А; 2 А; 1 А. **3.** 0,12 А. **4.** В 2 раза.
- Упр. 36. **1.** 14,4 кДж. **2.** 500 мВт. **3.** $\approx 1,19$ МДж. **4.** $\approx 0,55$ А; ≈ 400 Ом.
5. 5,76 МДж. **6.** 60,5 Ом. **7***. а) $\approx 15,4$ Вт; б) 65 Вт.
- Упр. 37. **1.** Увеличится в 4 раза. **2.** 360 кДж. **3.** 6 кДж; 12 кДж. **4.** 480 Дж.
5*. 130 г.
- Упр. 38. **1.** 10^{-9} Ф. **2.** $9,9 \cdot 10^{-8}$ Кл. **3.** 0,06 Дж. **4.** $3 \cdot 10^{-6}$ Кл; 10 кВ.
- Упр. 40. **1.** 4,4 м. **3.** Сопротивление первой лампы в 3 раза больше.
4. 2,25 кВт.
- Упр. 46. **1.** 30°. **2.** Увеличится на 30°.
- Упр. 47. **4.** Увеличится на 1 м.
- Упр. 49. **2.** 20 дптр; 5 дптр; 0,5 дптр. **3.** Вторая.
- Упр. 50. **2.** 2) Действительное, равное по размеру предмету, перевёрнутое.
4. Изображение станет менее ярким.

К задачам для повторения

- 7.** $4,048 \cdot 10^4$ Дж. **8.** а) 756 кДж; б) $1,26 \cdot 10^7$ Дж. **9.** $500 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$. **10.** 800 г.
- 11.** 72 °С. **14.** ≈ 5 г. **15.** $408 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$. **17.** $\approx 1,1 \cdot 10^7$ Дж. **18.** $\approx 89,3$ кг.
- 19.** а) 8 °С; 3 °С; б) 24 °С; 19 °С; в) 6 °С; 1 °С. **20.** Керосин. **25.** 160 Ом.
26. 3; 4. **27.** 10^{-8} Ом · м. **28.** 0,17 Ом. **29.** $\approx 84,7$ м. **30.** 200. **31.** Ярче горит
лампочка сопротивлением 400 Ом. **32.** Ярче горит лампочка сопротивле-
нием 100 Ом. **33.** 2640 Дж. **34.** 720 кДж. **35.** 1,08 МДж. **36.** 100 с. **37.** 242 Ом.
38. $\approx 62\%$. **39.** 800 с. **47.** 20 м. **50.** Расстояние увеличится на 2 м. **51.** 3 м.
59. 40 см.

ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

- Агрегатное состояние 41
- Аккомодация 222
- Аккумулятор 115
- Аморфное состояние 42
- Ампер А. 130
- Ампер (единица силы тока) 130
- Амперметр 130
- Аномалия магнитная 190
- Атом 104

Б

- Близорукость 222
- Бури магнитные 190

В

- Ватт (единица мощности) 158
- Взаимодействие магнитов 175
 - проводников с током 129
 - тел, имеющих электрические заряды 95
- Влажность воздуха абсолютная 68
 - — относительная 68
- Вольт (единица напряжения) 133
- Вольт А. 133
- Вольтметр 135

Г

- Гальванометр 126
- Генератор электрического тока 117
- Гигрометр 69
 - волосной 70

- Гигрометр конденсационный 69
- Глаз 220

Д

- Дальнозоркость 222
- Двигатель внутреннего сгорания 82
 - тепловой 81
 - электрический 187
- Движение тепловое 5
- Действие тока тепловое 123
 - — магнитное 124
 - — химическое 124
- Делимость электрического заряда 103
- Дискретность заряда 103
- Джоуль Дж. 161
- Джоуль (единица работы) 158
- Дизель Р. 82
- Диоптрия 214
- Диэлектрик 98

З

- Заземление 110
- Закон Джоуля—Ленца 161
 - Ома для участка цепи 138
 - отражения света 201
 - преломления света 208
 - сохранения энергии 40
 - сохранения электрического заряда 108
- Замыкание короткое 170
- Заряд электрический 94
 - — отрицательный 94
 - — положительный 94
 - ядра 106

Затмение лунное 198
— солнечное 198

И

Излучение 22
Ион 105
Иоффе А. Ф. 103
Испарение 56
Источник света 193
— — естественный 193
— — искусственный 193
— — люминесцентный 194
— — тепловой 194
— — точечный 195
— электрического тока 114

К

Кипение 63
Количество теплоты 26
Конвекция 20
Конденсатор 163
— плоский 164
Конденсация 57
Коэффициент полезного действия
теплового двигателя 89
Кристаллизация (отвердевание) 46
Кристаллическое состояние 42
Кулон (единица электрического
заряда) 94
Кулон Ш. 94

Л

Лампа накаливания 168
— энергосберегающая
(люминесцентная) 194
Ленц Э. Х. 161
Линза 212
— рассеивающая 214
— собирающая 213
Лодыгин А. Н. 168
Луч отражённый 201
— падающий 201
Луч преломлённый 207
— световой 195

М

Магнитное поле 178
— — Земли 189
— — катушки с током 183
— — постоянного магнита 182
— — прямого тока 181
Магнитные линии магнитного
поля 180
Магнит постоянный 174
Мандельштам Л. И. 121
Милликен Р. 103
Мнимое изображение 203
Мощность электрического тока 158

Н

Направление электрического тока 114
Напряжение электрическое 133
Напряжённость электрического
поля 100
Нейтрон 105

О

Обратимость световых лучей 202
Ом Г. 137
Ом (единица сопротивления) 137
Оптическая ось линзы 212
— сила линзы 214
Относительный показатель
преломления 208

П

Папалекси Н. Д. 121
Пар насыщенный 58
— ненасыщенный 58
Парообразование 56
Плавление 45
Плоское зеркало 202
Полное внутреннее отражение 209
Полупроводник 98
Полутень 197
Предохранитель плавкий 171
Преломление света 207

Проводник 98
Протон 105
Психрометр 70

Р

Работа электрического тока 157
Реостат 147

С

Сила магнитная 178
— электрическая 100
Сила тока 128
Соединение проводников
параллельное 153
— — последовательное 149
Сопротивление удельное 142
— электрическое 137
Статическое электричество 109
Счётчик электрической энергии 158

Т

Температура 4
— кипения 64
— кристаллизации 46
— плавления 45
Тень 196
Теплопередача 13
Теплопроводность 15
Термос 24
Термоэлемент 115
Ток электрический 113
Точка росы 69
Турбина паровая 86

У

Уатт Дж. 81
Угол падения 201
— отражения 201
— преломления 207

Удельная теплоёмкость 28
— теплота парообразования 75
Удельная теплота плавления 52
— — сгорания 36

Ф

Фарад (единица электроёмкости) 164
Фокус линзы 213
Фокусное расстояние линзы 213
Фотоэлемент 115

Ц

Цепь электрическая 118

Ч

Частное затмение 198

Э

Эдисон Т. 168
Электризация тел 94
Электрическое поле 100
Электрод 116
Электроёмкость 164
Электромагнит 185
Электрометр 97
Электрон 103
— свободный 120
Электроскоп 97
Элемент гальванический 115
Энергия внутренняя 8
— кинетическая 8
— конденсатора 166
— потенциальная 8
Эрстед Х. 177

Я

Ядро атома 104
Якоби Б. С. 188
Якорь двигателя 188

ОГЛАВЛЕНИЕ

ГЛАВА 1 ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 1	Тепловое движение. Температура	3
§ 2	Внутренняя энергия	8
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Из истории учения о теплоте	11
§ 3	Способы изменения внутренней энергии тела	11
§ 4	Теплопроводность	14
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Приспособление животных к различным температурным условиям	18
§ 5	Конвекция	20
§ 6	Излучение	22
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Загрязнение атмосферы	25
§ 7	Количество теплоты. Единицы количества теплоты	26
§ 8	Удельная теплоёмкость	28
§ 9	Расчёт количества теплоты, необходимого для нагревания тела или выделяемого им при охлаждении	31
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Калория — единица количества теплоты	35
§ 10	Энергия топлива. Удельная теплота сгорания	35
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Виды горючего топлива	38
§ 11	Закон сохранения и превращения энергии в механических и тепловых процессах	39
§ 12	Агрегатные состояния вещества	41
§ 13	Плавление и отвердевание кристаллических тел	45
§ 14	График плавления и отвердевания кристаллических тел	47
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	От чего зависит температура плавления	50
	Как происходит кристаллизация	51

§ 15	Удельная теплота плавления	51
§ 16	Испарение. Насыщенный и ненасыщенный пар	55
§ 17	Поглощение энергии при испарении жидкости. Выделение энергии при конденсации пара	59
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Испарение в жизни растений	61
§ 18	Кипение	63
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Примеры использования кипения	66
§ 19	Влажность воздуха. Способы определения влажности воздуха	67
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Круговорот воды в биосфере	73
	Загрязнение пресных вод	74
§ 20	Удельная теплота парообразования и конденсации	74
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Водяной пар в атмосфере	79
§ 21	Работа газа и пара при расширении	80
§ 22	Двигатель внутреннего сгорания	82
§ 23	Паровая турбина	86
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Из истории тепловых двигателей	87
§ 24	КПД теплового двигателя	88
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Загрязнение окружающей среды	90
	Меры по борьбе с загрязнением окружающей среды	91
	ИТОГИ ГЛАВЫ	91

ГЛАВА 2 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 25	Электризация тел при соприкосновении. Взаимодействие заряженных тел	93
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Солнечный камень	95
§ 26	Электроскоп. Проводники и непроводники электричества	96
§ 27	Электрическое поле	99
§ 28	Делимость электрического заряда. Электрон	102
§ 29	Строение атома	104
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	О структуре атома	107
§ 30	Объяснение электрических явлений. Закон сохранения электрического заряда	107
§ 31	Статическое электричество, его учёт и использование в быту и технике	109

§ 32	Электрический ток. Источники электрического тока	113
§ 33	Электрическая цепь и её составные части	118
§ 34	Электрический ток в металлах	120
§ 35	Действия электрического тока	122
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Аккумуляторы	127
§ 36	Сила тока. Измерение силы тока	128
§ 37	Электрическое напряжение. Измерение напряжения	132
§ 38	Электрическое сопротивление проводника. Закон Ома для участка цепи	136
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Почему электрический ток опасен для человека?	140
§ 39	Расчёт сопротивления проводника. Удельное сопротивление	141
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Из истории учения об электричестве	144
§ 40	Примеры на расчёт сопротивления проводника, силы тока и напряжения	145
§ 41	Реостаты	147
§ 42	Последовательное соединение проводников	149
§ 43	Параллельное соединение проводников	153
§ 44	Работа и мощность электрического тока	157
§ 45	Нагревание проводников электрическим током. Закон Джоуля—Ленца	160
§ 46	Конденсатор. Электроёмкость конденсатора	162
§ 47	Лампа освещения. Электрические нагревательные приборы.	167
§ 48	Короткое замыкание. Предохранители	170
	ИТОГИ ГЛАВЫ	172

ГЛАВА 3 ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 49	Постоянные магниты	174
§ 50	Магнитное поле	177
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Из истории электромагнетизма	179
§ 51	Магнитное поле прямого тока и постоянных магнитов. Магнитные линии	180
§ 52	Магнитное поле катушки с током. Электромагниты и их применение	183
§ 53	Действие магнитного поля на проводник с током. Электрический двигатель	186
§ 54	Магнитное поле Земли	189
	ИТОГИ ГЛАВЫ	191

§ 55	Источники света. Распространение света	193
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Солнечные затмения	199
§ 56	Отражение света. Закон отражения света	200
§ 57	Плоское зеркало	202
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Получение изображений в нескольких зеркалах	205
§ 58	Преломление света. Закон преломления света	206
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Миражи	210
§ 59	Линзы. Оптическая сила линзы	212
§ 60	Изображения, даваемые линзой	216
§ 61	Глаз и зрение	220
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Оптические приборы	224
	ИТОГИ ГЛАВЫ	225
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ		227
	1. Изучение устройства калориметра	227
	2. Изучение процесса теплообмена	228
	3. Измерение удельной теплоёмкости вещества	229
	4. Измерение относительной влажности воздуха	230
	5. Сборка электрической цепи и измерение силы тока в её различных участках	231
	6. Измерение напряжения на различных участках последовательной электрической цепи	232
	7. Измерение сопротивления проводника. Изучение принципа действия реостата	233
	8. Изучение параллельного соединения проводников	235
	9. Измерение мощности и работы тока в электрической лампе	236
	10. Изучение свойств изображения в собирающей линзе. Измерение оптической силы линзы	237
ЗАДАЧИ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ		239
ОТВЕТЫ		247
ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ		249



Учебное издание

**Перышкин И. М.
Иванов А. И.**

ФИЗИКА

8 класс

Учебник

Центр физики и астрономии

Ответственный за выпуск *И. Г. Власова*

Ответственный редактор *А. О. Туликин*

Художественные редакторы *А. В. Шувалова, Ю. В. Христич*

Художественное оформление *А. В. Копалина*

Художники *О. А. Новотоцких, В. С. Давыдов, Ю. В. Христич*

Технический редактор *И. В. Грибкова*

Компьютерная вёрстка *Т. М. Дородных*

Корректор *Г. И. Мосякина*

Подписано в печать 10.12.2021. Формат 70×90/16.

Усл. печ. л. 19,55. Доп. тираж 25 000 экз. Заказ №51880ФС.

Акционерное общество «Издательство «Просвещение».

Российская Федерация,

127473, г. Москва, ул. Краснопролетарская, д. 16, стр. 3, этаж 4, помещение 1.

Адрес электронной почты «Горячей линии» — vopros@prosv.ru.

Отпечатано в ООО «ПИК ОФСЕТ»

660075, Россия, г. Красноярск, ул. Республики, д. 51, стр. 1

Тел.: (391) 202-61-53. E-mail: sales@pic-ofset.ru



Учебник имеет
электронную форму

**Завершённая предметная линия учебников по физике
для 7—9 классов И. М. Перышкина, Е. М. Гутник,
А. И. Иванова, М. А. Петровой:**

- Физика. 7 класс
- **Физика. 8 класс**
- Физика. 9 класс

**Учебно-методический комплект по физике для 8 класса
общеобразовательных организаций:**

- Рабочая программа (на сайте)
- **Учебник**
- Сборник вопросов и задач
- Дидактические материалы
- Методическое пособие для учителей (на сайте)

Официальный интернет-магазин
издательства «Просвещение»
shop.prosv.ru

ISBN 978-5-09-092688-1



9 785090 926881


ПРОСВЕЩЕНИЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО
www.prosv.ru

