

ИЗДАТЕЛЬСТВО
РАНОК

$$c_{\text{тела}} = \frac{c_{\text{воды}} m_{\text{воды}} (t - t_1)}{m_{\text{тела}} (t_{\text{тела}} - t)}$$



Интернет-
поддержка

$$Q = cm\Delta t$$

ФИЗИКА

8

Под редакцией В. Г. Барьяхтара, С. А. Довгого

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$

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

КЛАСС

$$Q_2^- + \dots + Q_n^- = Q_1^+ + Q_2^+ + \dots + Q_n^+$$



$$c = \frac{Q}{m\Delta t}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

ФИЗИКА

8

КЛАСС

Учебник для 8 класса
общеобразовательных
учебных заведений
с обучением на русском языке

Под редакцией В. Г. Барьяхтара, С. А. Довгого

Рекомендовано
Министерством образования и науки Украины

Харьков
Издательство «Ранок»
2016

УДК [37.016:53](075.3)
ББК 22.3я721
Ф 50

Рекомендовано Министерством образования и науки Украины
(приказ Министерства образования и науки Украины от 10.05.2016 г. № 491)

Издано за счет государственных средств. Продажа запрещена

Учебник создан авторским коллективом в составе:
В. Г. Барьяхтар, Ф. Я. Божинова, С. А. Довгий, Е. А. Кирюхина

Эксперты, осуществившие экспертизу данного учебника в ходе проведения конкурсного отбора проектов учебников для учащихся 8 класса общеобразовательных учебных заведений и давшие заключение о целесообразности присвоения учебнику грифа «Рекомендовано Министерством образования и науки Украины»:

Е. С. Лозинская, учитель физики Верхнемайданской ООШ I–II ступеней Надвornянского районного совета Ивано-Франковской области, учитель-методист;
А. И. Павленко, профессор Запорожского областного института последипломного педагогического образования, доктор педагогических наук, профессор;
В. М. Ятвецкий, старший преподаватель кафедры естественно-математических дисциплин и информационных технологий Одесского областного института усовершенствования учителей, учитель-методист

Рецензенты:

И. М. Гельфгат, учитель физики коммунального учреждения «Харьковский физико-математический лицей № 27», учитель-методист, заслуженный учитель Украины, кандидат физико-математических наук;
Г. П. Кобель, доцент кафедры экспериментальной физики и информационно-измерительных технологий Восточноевропейского национального университета имени Леси Украинки, кандидат педагогических наук

Авторы и издательство выражают искреннюю благодарность:
Н. М. Кирюхину, президенту Союза научных и инженерных объединений Украины, кандидату физико-математических наук;

И. Ю. Ненашеву, учителю физики коммунального учреждения «Харьковский физико-математический лицей № 27», учителю-методисту, заслуженному учителю Украины;

И. В. Хован, учителю физики УВК «Доминанта», кандидату педагогических наук, за ценные замечания и конструктивные советы;

И. С. Чернецкому, заведующему отделом создания учебно-тематических систем знаний Национального центра «Малая академия наук Украины», кандидату педагогических наук, за создание видеороликов демонстрационных и фронтальных экспериментов

Методический аппарат учебника успешно прошел экспериментальную проверку в Национальном центре «Малая академия наук Украины»

Переведено по изданию: Фізика : підруч. для 8 кл. загальноосвіт. навч. закл. / [В. Г. Бар'яхтар, Ф. Я. Божинова, С. О. Довгий, О. О. Кірюхіна] ; за ред. В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого. — Х. : Вид-во «Ранок», 2016. — 240 с. : іл., фот.
Перевод с украинского Р. А. Трифонова

Ф 50 Физика : учебник для 8 кл. общеобразоват. учеб. заведений с обучением на рус. яз. : [пер. с укр.] / [В. Г. Барьяхтар, С. А. Довгий, Ф. Я. Божинова, Е. А. Кирюхина] ; под ред. В. Г. Барьяхтара, С. А. Довгого. — Харьков : Изд-во «Ранок», 2016. — 240 с. : ил., фот.

ISBN 978-617-09-2943-3

УДК [37.016:53](075.3)
ББК 22.3я721

ISBN 978-617-09-2943-3 (рус.)
ISBN 978-617-09-2855-9 (укр.)

© Барьяхтар В. Г., Божинова Ф. Я., Довгий С. А., Кирюхина Е. А., 2016
© Хорошенко В. Д., Зюзюкин В. В., иллюстрации, 2016
© Хлыстун В. В., фотографии, 2016
© ООО Издательство «Ранок», 2016

Дорогие друзья!

В этом учебном году вы продолжите свое путешествие в мир физики. Как и раньше, вы будете наблюдать явления природы, проводить настоящие научные эксперименты и на каждом уроке делать собственные открытия.

Ни одно настоящее путешествие не бывает легким, зато вы узнаете много нового и удивительного об окружающем мире. А учебник, который вы держите в руках, станет для вас надежным помощником.

Будьте внимательны и настойчивы, изучая каждый параграф, и тогда вы сможете понять суть изложенного материала и применить полученные знания в повседневной жизни.

Обратите внимание на то, что параграфы заканчиваются рубриками: *«Подводим итоги»*, *«Контрольные вопросы»*, *«Упражнение»*. Для чего они нужны и как с ними лучше работать?

В рубрике *«Подводим итоги»* представлены сведения об основных понятиях и явлениях, о которых шла речь в параграфе, а значит, вы сможете еще раз обратить внимание на главное.

«Контрольные вопросы» помогут выяснить, поняли ли вы изученный материал. Если вы сможете ответить на все вопросы, то все в порядке, а если нет, снова обратитесь к тексту параграфа.

Рубрика *«Упражнение»* сделает ваше путешествие в удивительный мир физики еще интереснее, ведь вы сможете применить полученные знания на практике. Задания этой рубрики дифференцированы по уровням сложности — от достаточно простых, требующих только внимательности, до творческих, при выполнении которых следует проявить сообразительность и настойчивость. Номер каждого задания имеет свой цвет (в порядке повышения сложности: синий, зеленый, оранжевый, красный, фиолетовый).

Некоторые задания служат для повторения материала, уже изучавшегося в курсах природоведения, математики или на предыдущих уроках физики.

Справочные данные, необходимые для выполнения заданий, вы найдете в *Приложении* в конце учебника.

Немало интересного вас ожидает на электронном образовательном ресурсе «Интерактивное обучение» (interactive.ranok.com.ua). Это видеоролики, показывающие в действии тот или иной физический опыт или процесс; информация, которая поможет вам при выполнении заданий; тренировочные тестовые задания с компьютерной проверкой.

Физика — наука прежде всего экспериментальная, поэтому в учебнике представлены *экспериментальные задания* и *лабораторные работы*. Обязательно выполняйте их — и вы будете лучше понимать физику и любить ее. Советуем выполнять и *задания «со звездочкой»*, благодаря которым вы научитесь представлять результаты экспериментов так, как это делают настоящие ученые. Справиться с этими заданиями вам поможет материал, приведенный в конце *Приложения*.

Материалы, предложенные в конце каждого раздела в рубриках «*Подводим итоги раздела*» и «*Задания для самопроверки*», помогут систематизировать полученные знания и будут полезны при повторении изученного и подготовке к контрольным работам.

При работе над учебными проектами советуем внимательно ознакомиться с некоторыми советами по их созданию и презентации, приведенными в материале «*Этапы работы над учебными проектами*».

Для тех, кто хочет больше узнать о развитии физической науки и техники в Украине и мире, найдется много интересного и полезного в рубриках «*Физика и техника в Украине*» и «*Энциклопедическая страница*».

Обратите внимание на то, что в учебнике использованы обозначения, которые помогут вам ориентироваться в материале:



Подводим итоги



Задание на повторение



Контрольные вопросы



Экспериментальное задание



Упражнение



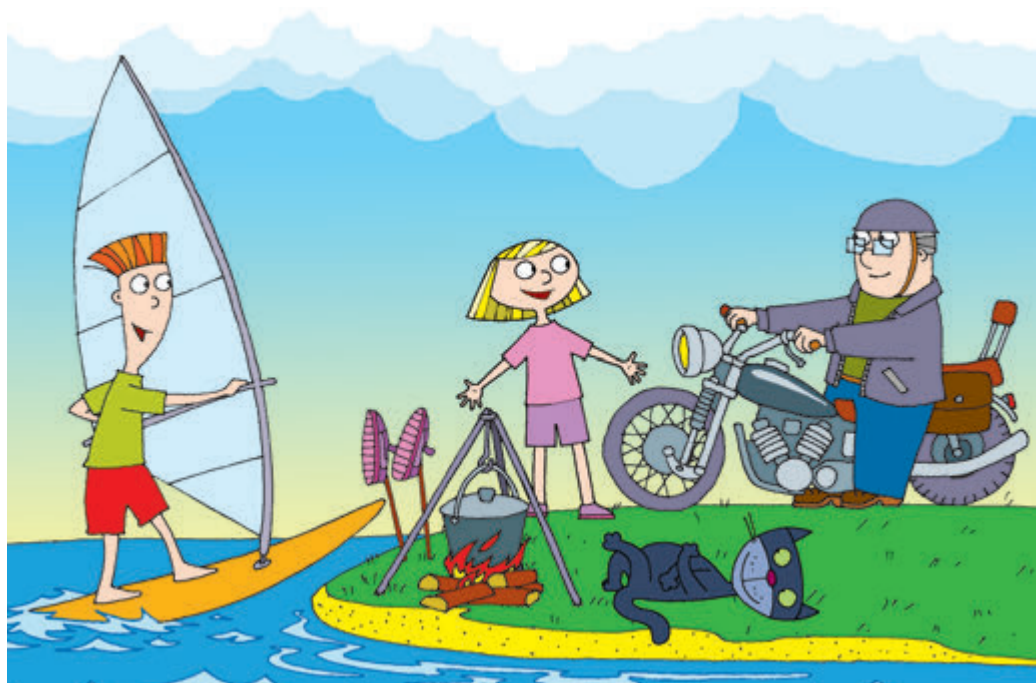
Интернет-поддержка

Удачи вам и интересного путешествия в мир физики!

РАЗДЕЛ I

ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

- Вы много раз наблюдали действие ветра, а теперь сможете объяснить, почему он возникает
- Вы неоднократно кипятили воду и знаете температуру кипящей воды, а теперь узнаете, как заставить воду закипеть при комнатной температуре
- Вы всегда надеваете зимой теплые вещи, а теперь выясните, всегда ли их надевают, чтобы защититься от холода
- Вы слышали о существовании наноматериалов, а теперь узнаете об их свойствах и перспективах применения
- Вы знаете, что большинство автомобилей имеет двигатель внутреннего сгорания, а теперь сможете объяснить, как этот двигатель работает и как увеличить его КПД



ЧАСТЬ 1. ТЕМПЕРАТУРА. ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ. ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

§ 1. ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕЛ. ТЕМПЕРАТУРА И ЕЕ ИЗМЕРЕНИЕ

i

Всем с детства знакомы слова: горячее, теплое, холодное. «Осторожно, чашка горячая, обожжешься», — предостерегали нас взрослые. Мы не понимали, что значит «горячая», прикасались к чашке — и обжигались. «Снег холодный, не снимай рукавички, пальцы замерзнут», — уговаривала бабушка. Нам очень хотелось узнать, а как это — «холодный», мы снимали рукавички и вскоре понимали значение этого слова. «Придется побыть в постели. Температура высокая», — настаивал врач...

А что такое температура с точки зрения физики?

1 Знакомимся с понятием «температура»

Первые представления о температуре человек приобрел с помощью осязания. Характеризуя, например, тепловое состояние очень холодного тела, можно сказать о нем «ледяное», то есть сравнить свои ощущения от прикосновения к этому телу с ощущениями, возникающими при прикосновении ко льду.

Определяя, *насколько нагреты* те или иные тела, мы сравниваем их температуры. Когда говорят: «Сегодня на улице теплее, чем вчера», — это означает, что температура воздуха на улице сегодня выше, чем была вчера; фраза «Снег на ощупь холодный» означает, что температура снега ниже температуры руки. Таким образом, на интуитивном уровне мы определяем

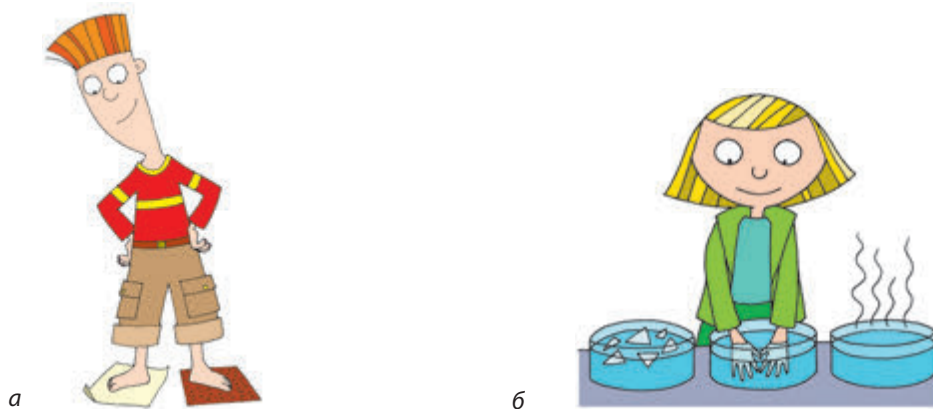


Рис. 1.1. Опыты, подтверждающие субъективность наших ощущений: *а* — гладкая бумага кажется холоднее шершавого коврика; *б* — если погрузить левую руку в теплую воду, правую — в холодную, а через некоторое время обе руки поместить в сосуд с водой комнатной температуры, то возникнет странное ощущение: одну и ту же воду левая рука воспримет как холодную, а правая — как теплую

температуру тела как физическую величину, характеризующую степень нагретости тела.

Однако, определяя степень нагретости тел на ощупь (прикосновением), можно дать лишь приблизительную оценку их температуры. К тому же не всегда можно прикоснуться к телу и оценить, насколько оно горячее или холодное. Более того, ощущения могут нас обманывать. Действительно, при одной и той же комнатной температуре металлические предметы кажутся холоднее деревянных или пластмассовых, а шершавые — теплее гладких (рис. 1.1, а). И даже одно тело в один и тот же момент может иметь на ощупь разную степень нагретости (рис. 1.1, б).

2 Вводим понятие теплового равновесия

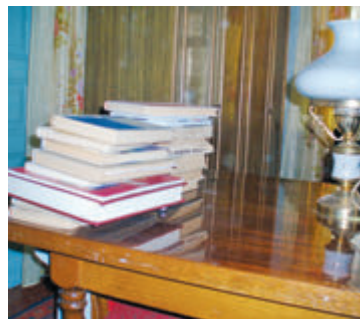
Опыты показывают: если более нагретое тело контактирует с менее нагретым, то более нагретое тело всегда охлаждается, а менее нагретое — нагревается. К тому же могут изменяться и другие свойства тел: тела могут увеличиться или уменьшиться в объеме, начать лучше или хуже проводить электрический ток, могут перейти в другое агрегатное состояние, начать излучать свет другого цвета и т. д. А вот *одинаково нагретые тела, контактируя друг с другом, не изменяют свои свойства*. В этом случае говорят, что *тела находятся в состоянии теплового равновесия* (рис. 1.2).

Температура — это физическая величина, характеризующая состояние теплового равновесия системы тел.

3 Выясняем физический смысл температуры

Из курса физики 7 класса вы знаете, что температура тела тесно связана со скоростью хаотического движения его частиц (атомов, молекул, ионов). Это движение так и называют — *тепловое*.

Частицы тела всегда движутся, следовательно, всегда *обладают кинетической энергией*. Чем быстрее движутся частицы, тем выше температура тела.



а



б



в

Рис. 1.2. Одинаково горячие или одинаково холодные тела находятся в состоянии теплового равновесия:

а — книги находятся в состоянии теплового равновесия со столом; б — дерево находится в состоянии теплового равновесия с воздухом; в — игрушки находятся в состоянии теплового равновесия с водой

Скорость движения отдельных частиц (а значит, их кинетическая энергия) постоянно изменяется. Однако в состоянии теплового равновесия во всех телах системы средняя кинетическая энергия частиц (то есть кинетическая энергия, приходящаяся в среднем на одну частицу) одинакова. Поэтому с точки зрения молекулярно-кинетической теории можно дать следующее определение температуры:

Температура — мера средней кинетической энергии хаотичного движения частиц, из которых состоит тело.

Итак, существует объективный фактор для определения температуры тела — средняя кинетическая энергия его частиц. Этот фактор не зависит от наших ощущений, но он никак не поможет измерить температуру.

? Как вы считаете, почему невозможно непосредственно измерить среднюю кинетическую энергию движения частиц, из которых состоит тело?

4 Измеряем температуру

Приборы для измерения температуры называют **термометрами**.

Действие термометров основано на том, что с изменением температуры тела изменяются некоторые свойства этого тела (рис. 1.3).

Рассмотрим, например, *жидкостный термометр*, действие которого основано на расширении жидкости при нагревании (подробнее об этом вы узнаете из § 2). Простейший жидкостный термометр состоит из резервуара, наполненного жидкостью (чаще спиртом или ртутью), длинной тонкой трубки, в которую выступает столбик этой жидкости, и шкалы (рис. 1.4). Высота столбика жидкости является мерой температуры: чем выше температура тела, тем выше столбик жидкости в термометре.

Чтобы по высоте столбика жидкости можно было определять температуру, следует построить шкалу, прежде всего обозначив на ней так называемые *реперные точки*. Такие точки должны быть связаны с какими-то физическими процессами, которые происходят при неизменной температуре

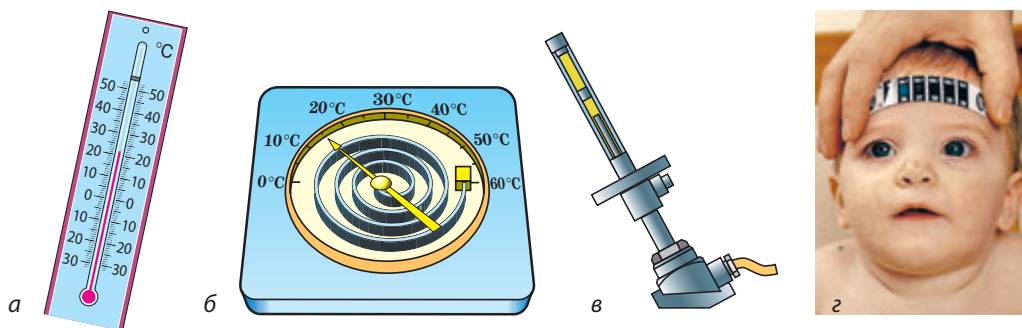


Рис. 1.3. Разные виды термометров: а — жидкостный (мерой температуры является высота столбика жидкости); б — металлический (биметаллическая пластина, соединенная со стрелкой термометра, выгибается в результате нагревания); в — термометр сопротивления (с изменением температуры изменяется сопротивление рабочей части термометра); з — жидкостно-кристаллический (при изменении температуры изменяется цвет соответствующего участка термометра)

и которые легко воссоздать. Так, для построения наиболее распространенной шкалы Цельсия в качестве реперных точек берут:

0 °С — температуру таяния чистого льда при нормальном атмосферном давлении. Для этого резервуар будущего термометра опускают в тающий лед и, дождавшись, когда столбик жидкости прекратит движение, напротив поверхности жидкости в столбике ставят отметку 0 °С (рис. 1.5, а);

100 °С — температуру кипения воды при нормальном атмосферном давлении. Резервуар будущего термометра погружают в кипящую воду и положение столбика жидкости обозначают как 100 °С (рис. 1.5, б).

Разделив расстояние между отметками 0 и 100 °С на сто равных частей, получим термометр, проградуированный по шкале Цельсия, и единицу температуры по этой шкале — градус Цельсия (°С).

1 °С равен одной сотой части изменения температуры воды при ее нагревании от температуры плавления до температуры кипения при нормальном атмосферном давлении.

Температуру, измеренную по шкале Цельсия, обозначают символом t :

$$[t] = 1^\circ\text{С}.$$

Единица температуры в СИ — кельвин (К).

Температура, измеренная по шкале Цельсия (t), связана с температурой, измеренной по шкале Кельвина (T), соотношением:

$$t = T - 273.$$

Обратите внимание: термометр всегда показывает свою собственную температуру, поэтому, измеряя температуру тела, следует дождаться состояния теплового равновесия между телом и термометром.



Почему для измерения температуры врач советует держать термометр несколько минут?



Подводим итоги

Состояние теплового равновесия — это такое состояние контактирующих тел, при котором физические свойства этих тел остаются неизменными сколь угодно долго. Физическую

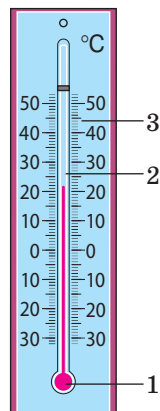


Рис. 1.4. Устройство жидкостного термометра: 1 — резервуар с жидкостью; 2 — трубка; 3 — шкала

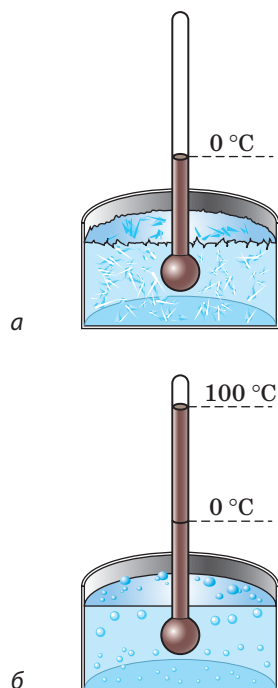


Рис. 1.5. Построение температурной шкалы Цельсия: а — температуре таяния льда приписывают значение 0 °С; б — температуре кипения воды — значение 100 °С

величину, характеризующую состояние теплового равновесия, называют температурой. Температура — это мера средней кинетической энергии движения частиц, из которых состоит тело. Приборы для измерения температуры называют термометрами. Действие термометров основано на том, что при изменении температуры изменяются и некоторые свойства тел.



Контрольные вопросы

1. Почему не всегда можно оценить температуру тела на ощупь? 2. Что такое тепловое равновесие? 3. Приведите два определения температуры.
4. Почему хаотичное движение частиц тела называют тепловым движением? 5. Приведите примеры различных термометров. 6. Опишите принцип действия жидкостного термометра. 7. Назовите реперные точки шкалы Цельсия. 8. Температуру какого тела всегда показывает термометр?



Упражнение № 1

1. Приведите примеры тел, находящихся в состоянии теплового равновесия. Поясните свой ответ.
2. Вспомните устройство и принцип действия жидкостного термометра и объясните, что больше расширяется при нагревании — стекло или жидкость?
3. Почему размеры термометра должны быть небольшими по сравнению с размерами тела, температуру которого измеряют?
4. Воспользуйтесь дополнительными источниками информации и узнайте об истории создания термометров и разных температурных шкал (Фаренгейта, Реомюра и т. д.). Подготовьте краткое сообщение.
5. Определите цену деления шкал и показания термометров на рис. 1.3, а, б.



Экспериментальное задание

Проведите опыт с теплой и холодной водой, описанный в пункте 1 § 1. Опишите последовательность своих действий, сделайте вывод.

Физика и техника в Украине



Физико-технический институт низких температур им. Б. И. Веркина НАН Украины (Харьков) был основан в 1960 г. для изучения физических явлений при низких температурах. Эти исследования были чрезвычайно важны для освоения космического пространства.

Задания, поставленные перед учеными, предусматривали исследование тепловых свойств газов, жидкостей и твердых тел в условиях космоса. Опыта таких исследований в мире не было, поэтому пришлось начинать с методов измерения температуры, теплопроводности, изучения особенностей конвекции и излучения. Во всех направлениях сотрудники института достигли выдающихся научных результатов. Об этом свидетельствуют и многочисленные научные премии, в том числе международные.

В 1991 г. институту было присвоено имя его основателя и первого директора — академика *Бориса Иеремиевича Веркина* (1919–1990). Сейчас институт возглавляет академик НАН Украины *Сергей Леонидович Гнатченко*.



§ 2. ЗАВИСИМОСТЬ РАЗМЕРОВ ФИЗИЧЕСКИХ ТЕЛ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Если вы достаточно наблюдательны, то, возможно, обращали внимание вот на что. Летом электрические провода провисают намного сильнее, чем зимой, то есть летом они становятся длиннее. Если в бутылку налить до краев холодной воды и поставить ее открытой в теплое место, то через некоторое время часть воды из бутылки выльется. Воздушный шарик, вынесенный из комнаты на мороз, уменьшается в объеме. Попробуем разобраться, почему так происходит.

1 Убеждаемся в тепловом расширении твердых тел, жидкостей и газов

Несложные опыты и многочисленные наблюдения убеждают: *как правило, твердые тела, жидкости и газы при нагревании расширяются, а при охлаждении — сжимаются.*

Тепловое расширение газов можно наблюдать с помощью колбы, заполненной воздухом. Плотнo закупорим горлышко колбы и в пробку вставим стеклянную трубку. Опустим трубку в сосуд с водой. Возьмем за колбу рукой и таким образом нагреем ее. В результате воздух в колбе расширится и будет выходить в виде пузырьков из трубки под водой (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Нагреваясь, воздух в колбе расширяется, и некоторая его часть выходит из колбы — у отверстия трубки образуются пузырьки воздуха

Для наблюдения *теплового расширения жидкостей* напомним колбу подкрашенной водой и закупорим ее так, чтобы часть жидкости попала в стеклянную трубку, размещенную в пробке (рис. 2.2, а). Зафиксируем, на каком уровне расположена жидкость в трубке, и опустим колбу в сосуд с горячей водой. Сначала уровень воды в трубке немного

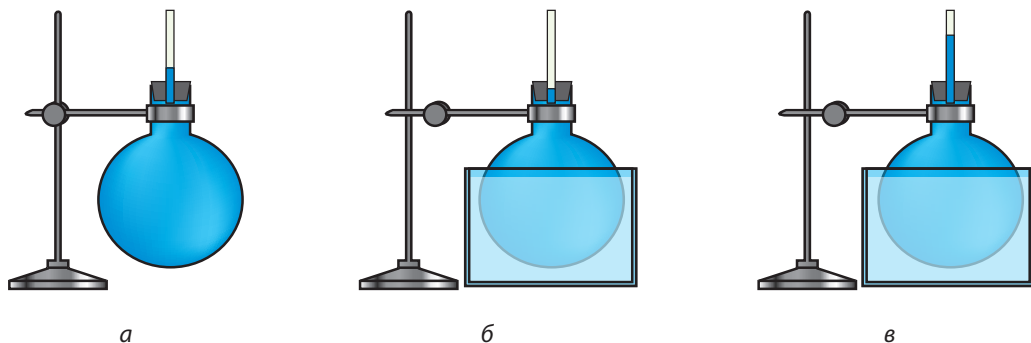


Рис. 2.2. Опыт, демонстрирующий, что при нагревании жидкость расширяется. Закупоренную колбу с жидкостью в трубке (а) поместили в сосуд с горячей водой. Уровень жидкости в трубке сначала немного снизился (б), а спустя некоторое время значительно повысился (в)

снизится (рис. 2.2, б), и это объясняется тем, что сначала нагревается и расширяется колба, а уже потом, нагреваясь, расширяется вода. Спустя некоторое время убедимся, что по мере нагревания колбы и воды в ней уровень жидкости в трубке заметно повышается (рис. 2.2, в). Таким образом, жидкости, как и газы, при нагревании расширяются.

Тепловое расширение твердых тел можно продемонстрировать с помощью устройства, которое изобрел голландский физик *Вильгельм Якоб Гравезанд* (1688–1742). Устройство представляет собой небольшой медный шар, легко проходящий сквозь пригнанное к нему кольцо. Если нагреть шар в пламени спиртовки, он не пройдет сквозь кольцо (рис. 2.3, а). После охлаждения шар снова легко пройдет сквозь кольцо (рис. 2.3, б).

? Как вы считаете, пройдет ли шар сквозь кольцо, если нагреть кольцо, а не шар?

2 Выясняем причину теплового расширения

Почему же увеличивается объем тел при нагревании, ведь количество частиц (молекул, атомов, ионов) в теле с увеличением температуры не изменяется?

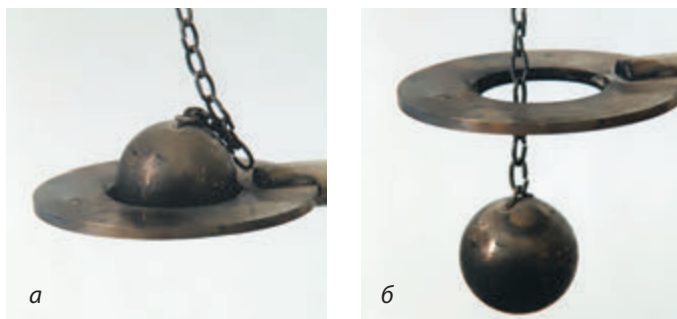
Тепловое расширение тел молекулярно-кинетическая теория объясняет так. С повышением температуры увеличивается энергия частиц, из которых состоит тело. Среднее расстояние между частицами тоже увеличивается, и, соответственно, увеличивается объем тела. И наоборот, со снижением температуры тела энергия его частиц уменьшается, промежутки между частицами уменьшаются и, соответственно, уменьшается объем тела.

3 Характеризуем тепловое расширение тел

При нагревании на одну и ту же температуру не все тела расширяются одинаково. Опытным путем было установлено, что *твердые тела и жидкости расширяются намного меньше, чем газы*.

Тепловое расширение тела зависит от вещества, из которого состоит тело. Возьмем алюминиевую трубку и измерим ее длину. Затем нагреем трубку, пропуская сквозь нее горячую воду. Через некоторое время убедимся, что длина трубки немного увеличилась. Заменив алюминиевую трубку стеклянной такой же длины, увидим, что при одинаковом

Рис. 2.3. Устройство Гравезанда, с помощью которого иллюстрируют тепловое расширение твердых тел: а — в нагретом состоянии шар не проходит сквозь кольцо; б — после охлаждения шар сквозь кольцо проходит



увеличении температуры стеклянная трубка удлиняется намного меньше, чем алюминиевая.

Следует отметить, что *есть вещества, объем которых на определенном интервале температур при нагревании уменьшается, а при охлаждении — увеличивается*. К таким веществам относятся вода, чугун и некоторые другие.

Например, вода при охлаждении до $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (точнее до $3,98\text{ }^{\circ}\text{C}$) сжимается, как и большинство веществ. Но начиная с температуры $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ и до замерзания ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$) вода расширяется. Благодаря такой особенности воды реки, моря и океаны не промерзают до дна даже в сильные морозы. Ведь именно при температуре $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ вода имеет наибольшую плотность и поэтому опускается на дно водоема. При температуре же $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ плотность воды меньше, поэтому такая вода остается на поверхности и замерзает — превращается в лед (рис. 2.4). Так как плотность льда меньше плотности воды, лед располагается на поверхности воды и надежно защищает водоем от глубокого промерзания. Эти свойства воды имеют важное значение для жизни водорослей, рыб и других живых организмов в водоемах.

? Подумайте, как выглядели бы водоемы, если бы вода, как и большинство веществ, при охлаждении всегда уменьшалась бы в объеме, а плотность льда была бы больше плотности воды.

4

Знакомимся с тепловым расширением в природе и технике

Способность тел изменять свои размеры при изменении температуры играет очень важную роль в природе. Об особенностях теплового расширения воды вы уже знаете. Рассмотрим другие примеры.

Поверхность Земли прогревается неравномерно, в результате вблизи нее неравномерно прогревается и расширяется воздух — возникают ветры, которые, в свою очередь, влияют на изменение погоды и климат. Неравномерное прогревание воды в морях и океанах — одна из причин возникновения течений, тоже существенно влияющих на климат. Резкие колебания температуры в горных районах вызывают неравномерное расширение и сжатие горных пород — возникают трещины, приводящие к постепенному разрушению гор, а следовательно, к изменению рельефа.

Явление теплового расширения часто используется в технике и быту. Так, для автоматического выключения и включения электрических устройств применяют биметаллические

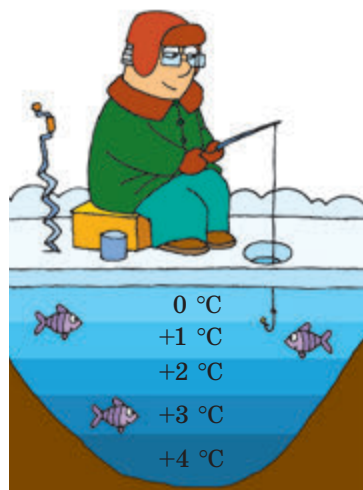


Рис. 2.4. Распределение температур в глубоком водоеме зимой. Самая высокая температура воды — на дне водоема, самая низкая ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$) — непосредственно под слоем льда

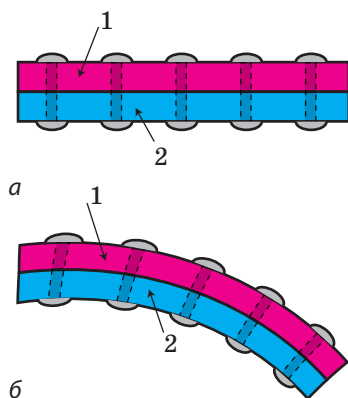


Рис. 2.5. Для автоматического отключения нагревательных устройств (например, чайника) используют биметаллические пластины (а). При увеличении температуры металлическая полоса 1 расширяется намного больше, чем полоса 2, изготовленная из другого металла, поэтому пластина выгибается (б) и размыкает электрическую цепь



Рис. 2.6. Чтобы мост не выгибался во время жары и не разрушался в мороз, его делают из отдельных секций, соединенных специальными сочленениями (ряды зубцов смыкаются в жару и расходятся в мороз)

пластины. Действие таких пластин основано на том, что при нагревании разные металлы расширяются по-разному (рис. 2.5). Тепловое расширение воздуха помогает равномерно прогреть квартиру, охладить продукты в холодильнике, проветрить помещение (почему и как это происходит, вы узнаете из § 6).

Тепловое расширение следует принимать во внимание при строительстве мостов (рис. 2.6) и линий электропередачи, прокладке отопительных труб, укладке железнодорожных рельсов, изготовлении железобетонных конструкций и во многих других случаях.



Подводим итоги

Как правило, твердые тела, жидкости и газы при нагревании расширяются, а при охлаждении сжимаются. Твердые тела и жидкости расширяются намного меньше, чем газы. Изменение размеров тела вследствие изменения температуры зависит от вещества, из которого состоит данное тело.

Причина теплового расширения заключается в том, что с увеличением температуры увеличивается скорость движения частиц вещества (атомов, молекул, ионов) и в результате увеличивается среднее расстояние между частицами.

Явление теплового расширения учитывают и используют в технике и быту. Оно играет очень важную роль в природе.



Контрольные вопросы

1. Приведите примеры, подтверждающие, что твердые тела, жидкости и газы расширяются при нагревании.
2. Опишите опыты, демонстрирующие тепловое расширение газов, жидкостей, твердых тел.
3. В чем причина увеличения объема тел при нагревании?
4. От чего (кроме температуры) зависит изменение размеров тел при их нагревании или охлаждении?
5. Каковы особенности теплового расширения воды?
6. Приведите примеры применения теплового расширения в технике, быту.



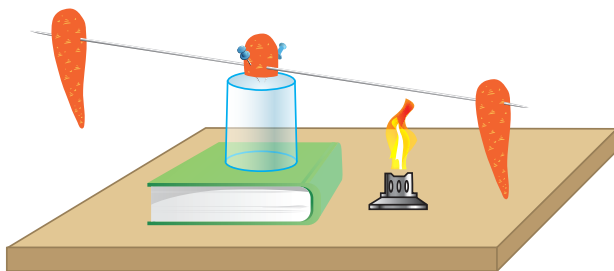
Упражнение № 2

1. Выберите *все* правильные окончания предложения.
Когда тело охлаждается, то уменьшается...
а) скорость движения его частиц в) количество его частиц
б) расстояние между его частицами г) размеры его частиц
2. Как изменится объем воздушного шарика, если его перенести из холодного помещения в теплое? Поясните свой ответ.
3. Вспомните опыт с медным шаром, который после нагревания не проходит сквозь кольцо (см. рис. 2.3). Как изменяются при нагревании объем, масса, плотность шара; средняя скорость движения его частиц?
4. Представьте, что резервуар жидкостного термометра вместо спирта или ртути заполнен водой. Почему такой термометр неудобен?
5. Почему на точных измерительных приборах указывают температуру?
6. Что может произойти, если налить в стакан кипяток? Поясните свой ответ с точки зрения теплового расширения тел.
7. Металлический шарик падает на пол с некоторой высоты. Какие преобразования механической энергии происходят во время падения шарика? Куда «исчезает» механическая энергия шарика после удара о пол?



Экспериментальные задания

1. «Тепловые весы». Изготовьте «весы», реагирующие на изменение температуры (см. рисунок).



Для этого:

- 1) возьмите стальную спицу и пропустите ее через обрезок моркови;
 - 2) с обеих сторон спицы воткните в обрезок две булавки, а на каждый конец спицы насадите небольшую морковку так, чтобы большая часть корнеплода была расположена внизу;
 - 3) установите булавки острыми концами на дно стакана и, передвигая морковки, уравновесьте «весы».
- Поставьте под одним из плечей «весов» зажженную свечу — через некоторое время это плечо опустится; уберите свечу — плечо вернется в первоначальное положение. Объясните наблюдаемое явление.
2. Как при помощи дощечки, молотка и двух гвоздиков продемонстрировать, что размер монеты в 5 копеек в результате нагревания увеличивается? Выполните соответствующий опыт, используя пинцет (щипцы или пассатижи). Объясните наблюдаемое явление.



Видеоопыт. Посмотрите видеоролик, объясните наблюдаемое явление.

§ 3. ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ

В выпусках новостей, когда речь идет о космических исследованиях, вы наверняка слышали фразу типа: «Спутник вошел в атмосферу Земли и прекратил свое существование». Но ведь понятно, что спутник имел огромную механическую энергию: кинетическую, поскольку он двигался, и потенциальную, поскольку находился высоко над поверхностью Земли. Куда же исчезла колоссальная энергия спутника? Физики объясняют, что она передалась частицам (молекулам, атомам, ионам) воздуха и частицам спутника, то есть перешла в энергию внутри веществ. Эту энергию называют внутренней. О том, что такое внутренняя энергия, и пойдет речь ниже.

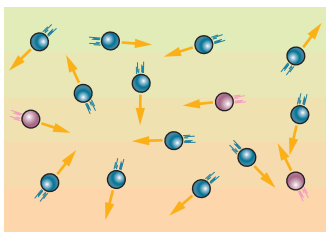


Рис. 3.1. Каждая частица вещества находится в состоянии непрерывного хаотичного движения, благодаря чему обладает кинетической энергией



Рис. 3.2. Суммарная кинетическая энергия частиц воздуха, например, в большом шкафу около 0,4 МДж. Этой энергии достаточно, чтобы всех учащихся вашего класса поднять на высоту 25 м

1 Знакомимся с понятием внутренней энергии

Мы уже обращали внимание на то, что благодаря тепловому движению *каждая частица вещества всегда обладает кинетической энергией* (рис. 3.1).

Значение кинетической энергии отдельной частицы небольшое, так как очень мала масса частицы. В то же время количество частиц в единице объема вещества огромно, и поэтому их суммарная кинетическая энергия достаточно велика (рис. 3.2).

Кроме кинетической энергии *частицы вещества обладают потенциальной энергией*, поскольку (вспомните молекулярно-кинетическую теорию) взаимодействуют друг с другом — притягиваются и отталкиваются.

Сумму кинетических энергий теплового движения частиц, из которых состоит тело, и потенциальных энергий их взаимодействия называют **внутренней энергией тела**.

Единица внутренней энергии в СИ — джоуль (Дж).



Вспомните другие физические величины, единица которых в СИ — джоуль.

2 Выясняем, когда изменяется внутренняя энергия тела

Мерой средней кинетической энергии движения частиц, из которых состоит тело, является температура. С изменением температуры изменяется суммарная кинетическая энергия всех частиц, а следовательно, изменяется внутренняя энергия тела.

Кроме того, с изменением температуры тело расширяется или сжимается. При этом изменяется расстояние между частицами вещества и, как следствие, изменяется потенциальная энергия их взаимодействия. Это тоже, в свою очередь, обуславливает изменение внутренней энергии тела.

Итак, *внутренняя энергия тела изменяется с изменением его температуры: при увеличении температуры внутренняя энергия тела увеличивается, а при уменьшении температуры внутренняя энергия тела уменьшается.*

Внутренняя энергия изменяется и с изменением агрегатного состояния вещества. В этом случае изменяется взаимное расположение частиц вещества, а значит, изменяется потенциальная энергия их взаимодействия (рис. 3.3). Так, при плавлении вещества его внутренняя энергия увеличивается, а при кристаллизации — уменьшается (рис. 3.4). Подробнее об этом вы узнаете в конце раздела I «Тепловые явления».

3 Различаем внутреннюю и механическую энергии

При изучении механики говорилось о том, что сумму кинетической и потенциальной энергий системы тел называют полной механической энергией этой системы. Кто-то, возможно, скажет: «Получается, что внутренняя энергия и механическая энергия — одно и то же!» Однако это не так.

В чем-то похожие по формальным признакам, эти понятия отличаются по своей сути — их даже изучают в разных разделах физики. Со временем вы узнаете об этом подробнее, а сейчас отметим только некоторые отличия.

Когда рассматривают механическую энергию, речь идет об одном или нескольких телах. А вот когда рассматривают внутреннюю энергию, то речь идет о движении и взаимодействии очень большого количества частиц (10^{23} или более). Понятно, что в случае с внутренней энергией нельзя отследить индивидуальные характеристики каждой частицы, поэтому физики используют только *средние характеристики* (о средней кинетической энергии вы уже знаете).

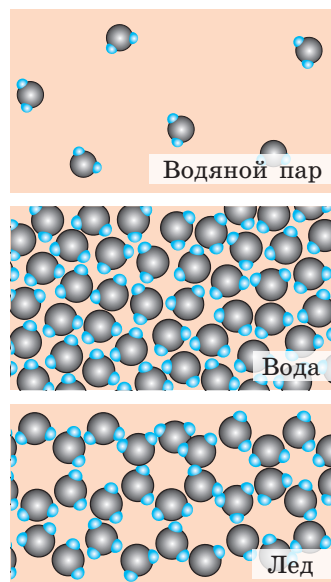


Рис. 3.3. В разных агрегатных состояниях взаимное расположение молекул воды разное, поэтому отличается и потенциальная энергия взаимодействия молекул



Рис. 3.4. При одинаковой температуре внутренняя энергия льда меньше внутренней энергии такой же массы воды

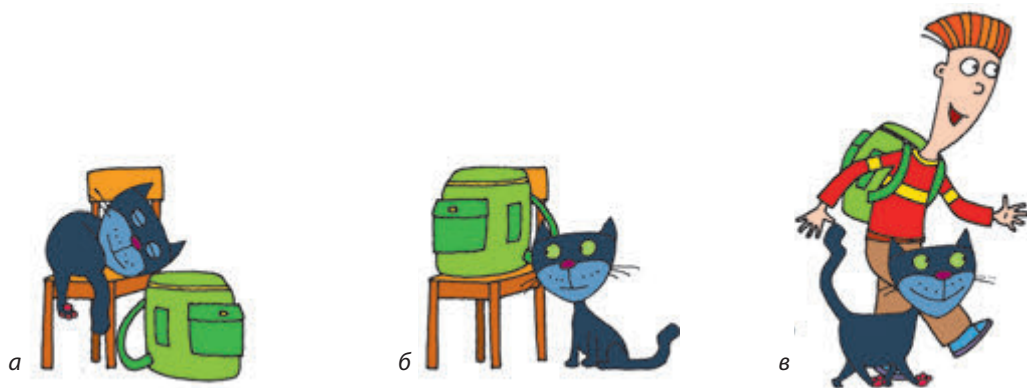


Рис. 3.5. Механическая энергия рюкзака, который лежит на полу (а), стоит на стуле (б) или движется вместе с мальчиком (в), разная, а внутренняя энергия — одинаковая

Механическая энергия зависит от движения и расположения физического тела относительно других тел или частей тела относительно друг друга. А вот внутренняя энергия определяется характером движения и взаимодействия только частиц тела. Так, механическая энергия рюкзака, который лежит на полу, стоит на стуле или «путешествует» вместе с вами по школьному коридору, разная, а вот его внутренняя энергия при неизменной температуре будет одинаковой (рис. 3.5).



Подводим итоги

Любое физическое тело имеет внутреннюю энергию. Внутренняя энергия тела — это сумма кинетических энергий всех частиц, из которых состоит тело, и потенциальных энергий их взаимодействия.

Внутренняя энергия тела изменяется при изменении агрегатного состояния вещества, из которого состоит тело, а также при изменении температуры тела.



Контрольные вопросы

1. Почему частицы вещества имеют потенциальную энергию? всегда имеют кинетическую энергию?
2. Что называют внутренней энергией тела?
3. От чего зависит внутренняя энергия тела?
4. Пока лед плавится, его температура не изменяется. Изменяется ли при этом внутренняя энергия льда?
5. Может ли тело иметь внутреннюю энергию, но не иметь при этом механической энергии?



Упражнение № 3

1. Если поднять камень, то потенциальная энергия камня и, следовательно, каждой его частицы увеличится. Означает ли это, что внутренняя энергия камня тоже увеличится? Поясните свой ответ.
2. Мяч брошен вверх. Как во время движения мяча изменяется его внутренняя энергия? механическая энергия? Сопротивлением воздуха пренебречь.

3. Как изменяются внутренняя и механическая энергии бутылки с водой в вашем рюкзаке, когда вы в морозную погоду заходите с улицы в теплый дом? поднимаетесь на второй этаж здания? ускоряете свое движение по школьному коридору?
4. Металлический шарик подвесили на веревке и нагрели. Как изменилась внутренняя энергия шарика? механическая энергия шарика?
5. Установите соответствие между механической энергией и формулой для ее определения.



- 1 Кинетическая энергия
- 2 Потенциальная энергия поднятого тела
- 3 Полная механическая энергия

- А mgh
- Б Fl
- В $E_k + E_p$
- Г $mv^2/2$

§ 4. СПОСОБЫ ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ

Вспомните, как вы с одноклассниками возвращаетесь в школу после игры в снежки. Кто-то энергично трет руки, кто-то прикладывает их к теплой батарее. Для чего вы это делаете? Конечно, чтобы согреть озябшие руки. А чем отличается способ нагревания рук в результате трения от способа их нагревания в результате контакта с телом, имеющим более высокую температуру?

1 Знакомимся с процессом теплопередачи и понятием количества теплоты

Если выключить из розетки горячий утюг, через некоторое время он остынет (рис. 4.1); погруженная в горячий чай холодная ложка обязательно нагреется. В каждом из этих случаев изменяется температура тел, а это значит, что изменяется их внутренняя энергия. При этом над телами не выполняют работу и сами тела тоже никакой работы не выполняют. В таких случаях говорят о передаче тепла.

Процесс изменения внутренней энергии тела без выполнения работы называют **теплопередачей (теплообменом)**.

Для количественной характеристики теплопередачи используют понятие *количества теплоты*.

Количество теплоты — это физическая величина, равная энергии, которую тело получает или отдает при теплопередаче.

Количество теплоты обозначают символом Q . Единица количества теплоты в СИ — **джоуль (Дж)***:

$$[Q] = 1 \text{ Дж.}$$

* Для измерения количества теплоты изначально применяли такую единицу, как *калория* (от лат. *calor* — тепло). Сейчас эту единицу часто используют для определения энергии, выделяющейся в результате усвоения пищи: 1 кал = 4,2 Дж.



Рис. 4.1. Отключенный горячий утюг остывает — передает некоторое количество теплоты окружающей среде. Этот процесс происходит до тех пор, пока не установится тепловое равновесие



Рис. 4.2. Бенджамин Томпсон (граф Румфорд) (1753–1814), английский физик, в конце XVIII в. впервые экспериментально доказал, что теплота — это энергия, которую можно получить за счет выполнения работы

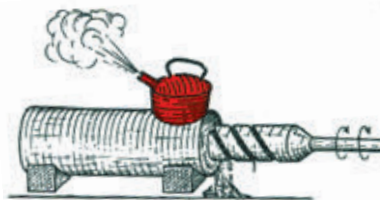


Рис. 4.3. Схема эксперимента Румфорда: вода в котле, поставленном на заготовку пушечного ствола, закипает в результате сверления ствола

Количество теплоты, как и механическая работа, может быть положительным и отрицательным. Когда тело получает энергию, количество полученной им теплоты считают положительным; когда тело отдает энергию, количество отданной им теплоты считают отрицательным.

Опыты показывают: *теплопередача возможна только при наличии разницы температур, причем произвольно тепло может передаваться только от тела с большей температурой к телу с меньшей температурой.*

Чем больше разница температур, тем быстрее при прочих равных условиях осуществляется передача тепла. Теплообмен будет продолжаться, пока температуры тел не станут одинаковыми, то есть до тех пор, пока между телами не установится *тепловое равновесие*.

2 Изменяем внутреннюю энергию, выполняя работу

Многочисленные наблюдения и эксперименты убеждают: *даже при отсутствии теплообмена внутренняя энергия тела может увеличиваться, если над телом совершается работа.* Первым это доказал английский физик Бенджамин Томпсон (рис. 4.2, 4.3).

Так, работа сил трения шин автомобиля о дорожное покрытие приводит к увеличению внутренней энергии шин и покрытия дороги — при движении шины и покрытие нагреваются. Точно так же, если интенсивно тереть ладони друг о друга, их внутренняя энергия увеличивается (рис. 4.4).

Описанное явление наблюдается и в технике. Например, при обработке металлических деталей из-за работы сил трения заметно возрастает температура как самого инструмента (сверла, резца и т. п.), так и обрабатываемой детали.



Рассмотрите рис. 4.3 и объясните, почему закипает вода в котле.

А как изменяется внутренняя энергия тела, если оно само выполняет работу? Проведем опыт.

Возьмем толстостенный стеклянный сосуд и нальем в него немного воды. Из-за испарения в сосуде образуется водяной пар. Закупорим сосуд и через пробку пропустим трубку. Соединив трубку с насосом, начнем накачивать в сосуд воздух.

Через некоторое время пробка вылетит, при этом в сосуде появится туман — мелкие капельки воды, образовавшиеся из водяного пара (рис. 4.5). Известно, что появление тумана происходит при снижении температуры. Получается, что температура воздуха в сосуде снизилась, соответственно уменьшилась внутренняя энергия воздуха.

Итак, воздух выполнил механическую работу (вытолкнул пробку) за счет собственной внутренней энергии. *Если тело само выполняет работу, то его внутренняя энергия уменьшается.*



Рис. 4.4. Если интенсивно потереть ладони, они разогреваются — их внутренняя энергия увеличивается в результате выполнения работы



Подводим итоги

Есть два способа изменить внутреннюю энергию тела: совершение работы и теплопередача.

Теплопередача — это процесс изменения внутренней энергии тела без выполнения работы. Энергия в процессе теплопередачи произвольно может передаваться только от тела с большей температурой к телу с меньшей температурой.

Количество теплоты — это физическая величина, равная энергии, которую тело получает или отдает при теплопередаче. Количество теплоты обозначают символом Q и измеряют в джоулях (Дж).

Если при отсутствии теплообмена над телом совершается работа, его внутренняя энергия увеличивается, если же тело само совершает работу, его внутренняя энергия уменьшается.



Рис. 4.5. Опыт, подтверждающий, что при выполнении воздухом работы его внутренняя энергия уменьшается. Доказательство — появление тумана



Контрольные вопросы

1. Какими способами можно изменить внутреннюю энергию тела? **2.** Что называют теплопередачей? **3.** Приведите примеры теплопередачи. **4.** Дайте определение количества теплоты. **5.** Назовите единицу количества теплоты. **6.** Приведите примеры изменения внутренней энергии тела в результате совершения работы. **7.** Как изменяется внутренняя энергия тела в случае, когда оно совершает работу, и в случае, когда над ним совершают работу, при условии что теплообмен с окружающими телами отсутствует?



Упражнение № 4

1. Руки можно согреть с помощью трения или в результате взаимодействия с телом, имеющим более высокую температуру. Чем отличаются эти способы?
2. Приведите два способа зажигания спички: а) выполнением работы; б) теплопередачей.
3. Почему военные, десантирующиеся из вертолетов по канатам, надевают перчатки?
4. Истинно ли утверждение, что при теплопередаче энергия всегда передается от тела с большей внутренней энергией к телу с меньшей внутренней энергией? Обоснуйте свой ответ.
5. Приведите примеры изменения внутренней энергии тела, когда одновременно совершается работа и происходит теплопередача. Может ли в таких случаях внутренняя энергия тела остаться неизменной?
6. Вспомните и запишите основные положения молекулярно-кинетической теории строения вещества.



Экспериментальное задание

«Водяной коктейль». Налейте в сосуд небольшое количество воды комнатной температуры. Измерьте температуру воды. Миксером перемешивайте воду около 1 мин и снова измерьте температуру воды. Сделайте вывод.

§ 5. ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

Зачем жители жарких районов Центральной Азии летом носят ватные халаты? Как сделать, чтобы мороженое в летнюю жару быстро не растаяло, если поблизости нет холодильника? В какой обуви быстрее замерзнут ноги — в той, которая плотно прилегает к ноге, или в просторной? После изучения данного параграфа вы сможете правильно ответить на все эти вопросы.

1

Знакомимся с механизмом теплопроводности

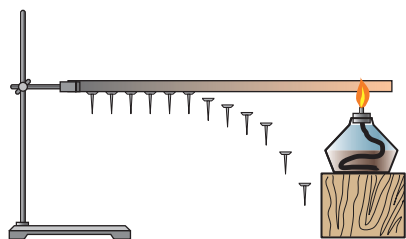


Рис. 5.1. Опыт, демонстрирующий теплопроводность металлов

Проведем опыт. Зажав в лапке штатива медный стержень, прикрепим к нему воском несколько канцелярских кнопок. Начнем нагревать свободный конец стержня в пламени спиртовки. Спустя некоторое время кнопки по очереди будут падать на стол (рис. 5.1).

Для объяснения этого явления воспользуемся знанием молекулярно-кинетической теории. Частицы в металлах все время движутся: ионы колеблются вокруг положений равновесия; движение свободных электронов напоминает движение молекул газа.

Когда конец стержня помещают в пламя спиртовки, скорость движения частиц металла, находящегося непосредственно в пламени, увеличивается. Эти частицы взаимодействуют с соседними и «раскачивают» их. В результате повышается температура следующей части стержня и так далее. Образно говоря, вдоль стержня идет «поток» тепла, который последовательно разогревает металл. Тепло от металла передается воску, воск размягчается, и кнопки одна за другой отпадают от стержня.

Обратите внимание: во время процесса само вещество (медь) не перемещается от одного конца стержня к другому.

Теплопроводность — это вид теплопередачи, который обусловлен хаотичным движением и взаимодействием частиц вещества и не сопровождается перемещением этого вещества.

2

Убеждаемся, что разные вещества по-разному проводят тепло

Вы, наверное, замечали, что одни вещества проводят тепло лучше, чем другие. Так, если поместить в стакан с горячим чаем две чайные ложки — стальную и медную, то медная нагреется намного быстрее. Это значит, что медь лучше проводит тепло, чем сталь.

Опыты показали, что лучшие проводники тепла — металлы. Древесина, стекло, многие виды пластмасс проводят тепло значительно хуже, именно поэтому мы можем, например, держать зажженную спичку до тех пор, пока пламя не дойдет до пальцев (рис. 5.2, а).

Плохо проводят тепло и жидкости (за исключением расплавленных металлов). Проведем опыт. На дно пробирки с холодной водой положим кусочек льда, а чтобы лед не всплыл, прижмем его грузиком. Нагревая на спиртовке верхний слой воды, через некоторое время увидим, что вода у поверхности кипит, а лед внизу пробирки еще не растаял (рис. 5.2, б).

Еще хуже, чем жидкости, проводят тепло газы. И это легко объясняется. Расстояние между молекулами в газах намного больше, чем в жидкостях и твердых телах. Поэтому столкновение частиц и, соответственно, передача энергии от одной частицы к другой происходят реже.

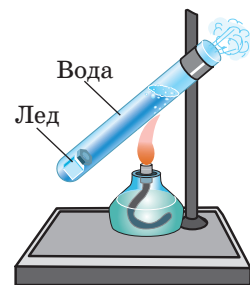
Стекловолокно, вата, мех очень плохо проводят тепло: во-первых, между их волокнами находится воздух, во-вторых, эти волокна плохо проводят тепло сами по себе.



Рассмотрите рис. 5.3, 5.4. Объясните, почему отдельные детали кухонной утвари изготовлены из разных материалов. Почему дома строят из древесины или кирпича? Почему подкладки курток заполняют пухом?



а



б

Рис. 5.2. Опыты, иллюстрирующие низкую теплопроводность древесины (а) и воды (б)



Рис. 5.3. Если нужно быстро передать тепло, используют вещества с высокой теплопроводностью



Рис. 5.4. Чтобы уменьшить охлаждение тел (или их нагревание), используют вещества с низкой теплопроводностью

3 Наблюдаем теплопроводность в природе, в жизни человека

Вы хорошо знаете, что домашние животные весной и осенью линяют. Весной мех животных становится короче и менее густым, осенью же, наоборот, — отрастает и становится гуще. Шерсть, мех, пух плохо проводят тепло и надежно защищают животных от охлаждения.

Животные, которые обитают или охотятся в холодных морях (тюлени, моржи и др.), имеют под кожей толстую жировую прослойку — благодаря слабой теплопроводности она позволяет долгое время находиться в воде без значительного переохлаждения.

Многие насекомые зимой закапываются глубоко в землю — ее хорошие теплоизоляционные свойства помогают насекомым выжить даже в сильные морозы. Некоторые растения пустыни покрыты мелкими ворсинками: неподвижный воздух между ними препятствует теплообмену с окружающей средой.

Человек часто использует те или иные вещества, учитывая их теплопроводность. Вещества с хорошей теплопроводностью применяются там, где нужно быстро передать тепло от одного тела к другому. Например, кастрюли, сковородки, батареи отопления и т. п. изготавливают из металлов. А вот там, где нужно избежать нагревания или охлаждения тел, используют вещества, которые плохо проводят тепло. Например, деревянная ручка джевы позволяет налить кофе, не пользуясь прихваткой, а в водопроводных трубах, проложенных глубоко под землей, вода не замерзает даже в сильные морозы и т. д.



Подводим итоги

Теплопроводность — это вид теплопередачи, который обусловлен хаотичным движением и взаимодействием частиц вещества и не сопровождается перемещением этого вещества.

Вещество в разных агрегатных состояниях, а также различные вещества по-разному проводят тепло, то есть имеют разную теплопроводность. Лучшие проводники тепла — металлы, худшие — газы. Человек широко использует способность веществ по-разному проводить тепло.



Контрольные вопросы

1. Что называют теплопроводностью? **2.** Опишите опыт, демонстрирующий, что металлы хорошо проводят тепло. **3.** Как происходит передача энергии при теплопроводности? **4.** В каком состоянии вещество хуже проводит тепло — в твердом, жидком или газообразном? **5.** Почему животные не замерзают даже в достаточно сильный холод? **6.** Какие материалы хорошо проводят тепло? Где их применяют? **7.** Какие материалы плохо проводят тепло? Где их применяют?



Упражнение № 5

- 1.** Почему с точки зрения физики выражение «шуба греет» неверно?
- 2.** Почему двойные рамы в окнах способствуют лучшей теплоизоляции?
- 3.** Почему под соломой снег долго не тает?
- 4.** Почему в бесснежные зимы озимые страдают от морозов?
- 5.** При комнатной температуре металлические предметы на ощупь кажутся холоднее, чем деревянные. Почему? При каком условии металлические предметы будут казаться на ощупь теплее деревянных? одинаковыми с ними по температуре?
- 6.** Воздушный шар расположен на некоторой высоте. Как будет вести себя шар, если температуру воздуха внутри шара увеличить? уменьшить?



Экспериментальное задание

«Греем лед». Возьмите два кусочка льда, каждый положите в отдельный полиэтиленовый пакет. Один пакет тщательно оберните ватой или махровым полотенцем. Положите пакеты на тарелки и поставьте в шкаф. Через час разверните пакеты. Объясните результат.

Физика и техника в Украине



Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины (Киев) считается одним из крупнейших научно-технических материаловедческих центров Европы.

Инициатор создания (1961 г.) и первый директор института — *Валентин Николаевич Бакуль* (1908–1978). В 1977–2014 гг. институт возглавлял академик НАН Украины *Николай Васильевич Новиков*; в настоящее время он является его почетным директором.

В институте разрабатываются технологии получения и использования сверхтвердых материалов. Под руководством Н. В. Новикова созданы новые направления современного материаловедения: синтез крупных сверхпрочных кристаллов алмаза разного цвета, получение алмазных и алмазоподобных пленок и покрытий с особыми свойствами, высокотемпературная керамика, компьютерное материаловедение. Разработки института применяются в машиностроении, строительной индустрии, добыче и обработке природного камня, геолого-разведочном бурении, электронике, оптике, медицине и т. д.

С 1995 г. институт — ведущая организация научно-технологического алмазного концерна АЛКОН, продукция которого пользуется спросом как в Украине, так и во многих странах мира.

С 2014 г. институт возглавляет член-корреспондент НАН Украины *Владимир Зиновьевич Туркевич*.

§ 6. КОНВЕКЦИЯ

Представьте жаркий летний полдень, берег моря. Вода на поверхности теплая, а ее нижние слои — прохладные. От воды веет легкий ветерок. А почему возникает этот ветерок, ведь чуть дальше от берега деревья даже не шелохнутся? И почему нагрелся только верхний слой воды, ведь солнце печет уже достаточно долго? Попробуем ответить на эти и ряд других вопросов.

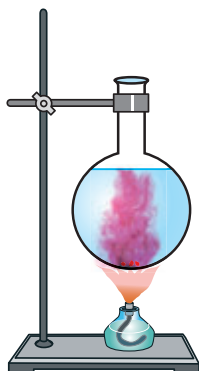


Рис. 6.1. Опыт, демонстрирующий конвекцию в жидкости. Окрашенные теплые струйки воды поднимаются, а холодные — опускаются



Рис. 6.2. Восходящие потоки горячего воздуха, действуя на легкую металлическую вертушку, заставляют ее вращаться

1 Наблюдаем конвекцию в жидкостях и газах

Вы уже знаете, что газы и жидкости плохо проводят тепло. А почему же нагревается воздух в комнате от радиаторов водяного отопления? Почему нагревается вода в кастрюле, поставленной на включенную плиту? Почему охлаждается напиток, если в него положить кубик льда? Чтобы ответить на эти вопросы, обратимся к опытам.

Наполним круглодонную колбу на три четверти водой и закрепим ее в лапке штатива. Стеклопалочкой положим на дно колбы несколько крупинок акварельной краски и станем нагревать колбу снизу. Через некоторое время со дна колбы начнут подниматься окрашенные струйки воды. Достигнув верхних слоев воды, струйки станут опускаться вдоль более холодных боковых стенок колбы (рис. 6.1); далее процесс повторится. В результате произойдет естественное перемешивание нагретых и ненагретых частей жидкости.

Аналогичный процесс возможен и в газах. Чтобы в этом убедиться, достаточно подержать ладонь над горячей электроплитой или включенной электрической лампой. Восходящие потоки горячего воздуха даже могут вращать легкую вертушку (рис. 6.2).

В приведенных случаях наблюдаем еще один вид теплопередачи — *конвекцию*.

Конвекция — это вид теплопередачи, при котором энергия переносится потоками жидкости или газа.

Обратите внимание: *конвекция не может происходить в твердых телах*, поскольку в них не могут возникнуть потоки вещества.

2 Знакомимся с механизмом конвекции

Выясним причины возникновения *естественной конвекции*. Для этого мысленно выделим небольшой объем жидкости в сосуде, размещенном над горелкой.

Вы знаете: на любое тело, находящееся внутри жидкости (или газа), действуют сила тяжести и архимедова сила. Те же силы действуют на любой небольшой объем самой жидкости (рис. 6.3). Известно, что при повышении температуры жидкость расширяется, ее плотность уменьшается и архимедова сила, действующая на выделенный объем жидкости, становится больше, чем сила тяжести. В результате нагретая жидкость (имеющая меньшую плотность) всплывает, а холодная жидкость (имеющая большую плотность) опускается.

Аналогичные соображения справедливы и для газов.

Часто естественное перемешивание жидкости или газа невозможно или недостаточно. В таком случае прибегают к искусственному перемешиванию — *принудительной конвекции* (рис. 6.4). Принудительное перемешивание воздуха осуществляют, например, в космическом корабле (в условиях невесомости, где не действует архимедова сила).

3 Наблюдаем конвекцию в природе и используем ее в быту

Естественная конвекция имеет очень большое значение в природе и широко применяется человеком.

Из курса географии вы знаете, что одним из факторов, влияющих на климат Земли, являются ветры. При этом одна из основных причин появления ветров на планете — конвекция (рис. 6.5).

Рассмотрим, например, как образуется *бриз* — ветер, возникающий у берега моря или большого озера. Днем суша прогревается быстрее, чем вода, поэтому температура воздуха над сушей выше, чем над поверхностью воды. Воздух над сушей расширяется, его плотность уменьшается, и он поднимается

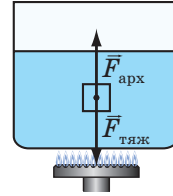


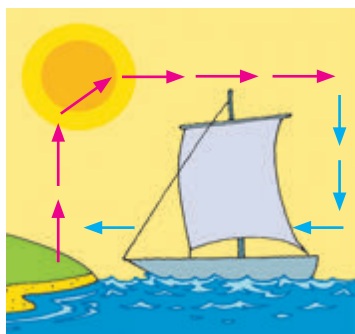
Рис. 6.3. На любой небольшой объем жидкости, расположенный внутри жидкости, действуют сила тяжести и выталкивающая (архимедова) сила



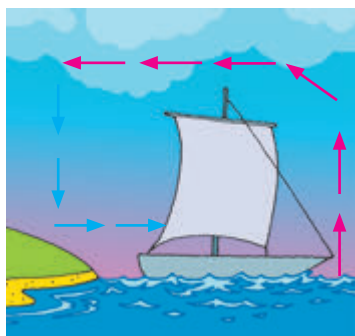
Рис. 6.4. Вода в сосуде нагревается благодаря естественной конвекции. Для более равномерного прогрева, например, густой каши хозяйка прибегает к принудительной конвекции — перемешивает кашу ложкой



Рис. 6.5. Сильные ветры — это мощные конвекционные потоки (И. К. Айвазовский «Девятый вал»)



а



б

Рис. 6.6. Образование бризов — дневных и ночных — объясняется конвекцией: а — дневной (морской) бриз; б — ночной (береговой) бриз

вверх. В результате давление над сушей падает и холодный воздух от водоема начинает низом перемещаться к суше — возникает *дневной (морской) бриз* (рис. 6.6, а).

? Попробуйте объяснить, как образуется ночной (береговой) бриз (рис. 6.6, б). (*Подсказка:* суша остывает быстрее воды.)

Из-за неравномерного нагревания воды возникают постоянные течения в морях и океанах. Океанские течения, как и ветры, играют важную роль в формировании климата на нашей планете.

С конвекцией мы имеем дело не только в природе, но и в повседневной жизни. Так, благодаря конвекции происходят обогрев (рис. 6.7) и охлаждение помещений, нагревается борщ в кастрюле. Создание тяги — тоже проявление конвекции (рис. 6.8). Воздух в печи нагревается и расширяется, его плотность уменьшается, и теплый воздух движется вверх, в трубу. В результате давление воздуха вокруг дров и в трубе падает и становится меньше, чем давление в комнате; благодаря этому обогащенный кислородом холодный воздух поступает к дровам.



Подводим итоги

Конвекция — это вид теплопередачи, при котором энергия переносится потоками жидкости или газа. В твердых веществах этот вид теплопередачи невозможен. Различают естественную и принудительную конвекции.

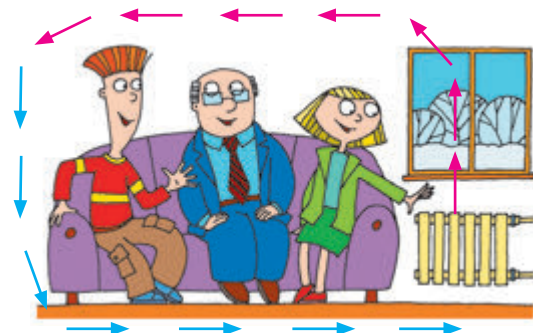


Рис. 6.7. Небольшой тепловой радиатор благодаря конвекции обогревает все помещение

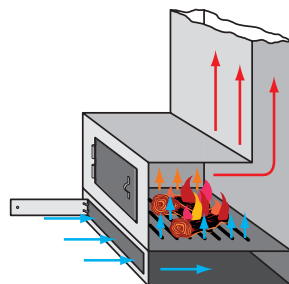


Рис. 6.8. Создание тяги: обогащенный кислородом холодный воздух попадает в печь благодаря конвекции

Естественную конвекцию можно объяснить наличием архимедовой силы и явлением теплового расширения. Теплые слои жидкости или газа движутся вверх (они имеют меньшую плотность), а холодные (большей плотности) — опускаются.



Контрольные вопросы

1. Опишите опыт, доказывающий, что при нагревании теплые потоки жидкости поднимаются, а холодные — опускаются. **2.** Что такое конвекция? **3.** Чем отличается конвекция от теплопроводности? **4.** Назовите причины возникновения естественной конвекции. **5.** Возможна ли конвекция в веществах, находящихся в твердом состоянии? Поясните свой ответ. **6.** Что называют принудительной конвекцией? **7.** Приведите примеры проявления конвекции в природе и быту.



Упражнение № 6

1. Почему языки пламени стремятся вверх?
2. Почему летом вода на глубине реки холоднее, чем на поверхности?
3. Где лучше поместить сосуд с водой, чтобы быстрее нагреть воду: над нагревателем, под нагревателем или сбоку от него? Где лучше поместить баллон с водой, чтобы быстрее охладить в нем воду с помощью льда: на льду, подо льдом или рядом с ним? Ответы поясните.
4. Почему не падают облака?
5. Воспользуйтесь дополнительными источниками информации и узнайте, почему град обычно выпадает летом, в жаркий день.
6. Как вы знаете, наблюдение, гипотеза, эксперимент — основные этапы познания в физических исследованиях. Понаблюдайте за любым простым процессом, например за нагреванием воды или таянием льда. Предложите гипотезу о ходе этого процесса. Проведите соответствующий эксперимент. Подтвердил или опроверг эксперимент вашу гипотезу?



Экспериментальные задания

1. Зажгите свечу на подставке и исследуйте направление конвекционных потоков вдоль открытых дверей (см. рис. 1). Объясните результаты наблюдений.
2. Вырежьте из тонкой бумаги прямоугольник, согните его по серединным линиям и снова расправьте. Закрепите на ластике швейную иглу острием вверх и на острие положите подготовленный листок бумаги (см. рис. 2). Осторожно приблизьте раскрытую ладонь к листку — он начнет поворачиваться. Отведите ладонь — листок остановится. Вам остается показать фокус друзьям и объяснить это явление. (Подсказка: температура ладони не везде одинакова.)



Рис. 1

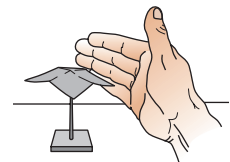


Рис. 2



§ 7. ИЗЛУЧЕНИЕ

В основе нашей жизни лежит обмен энергией. Большей частью энергия попадает на Землю от Солнца (рис. 7.1). Такие источники тепловой энергии, как нефть, газ, уголь, «выросли» под солнечными лучами глубокой древности. Листья, распускающиеся весной под солнечным лучами, ветры и течения, возникающие вследствие разности температур прогретых Солнцем участков Земли, «используют» солнечную энергию сегодняшнего дня. Возникает вопрос: как энергия от Солнца попадает на Землю, ведь между этими космическими объектами практически нет молекул, то есть ни о теплопроводности, ни о конвекции не может быть и речи?



Рис. 7.1. Солнце каждую секунду излучает в окружающее пространство колоссальное количество энергии, некоторая часть которой попадает на Землю



Рис. 7.2. Наблюдения подтверждают, что, стоя возле открытого огня, мы получаем энергию, но не в результате конвекции

1

Знакомимся с излучением

Если стать у открытого огня (костра, печи и т. п.), можно ощутить, что лицо и другие участки тела нагреваются. Это значит, что от огня передается некоторое количество теплоты. А как передается это тепло? Чтобы получить ответ, вспомним основные этапы познания в физических исследованиях: наблюдение, гипотеза, эксперимент.

Мы *наблюдаем*, что языки пламени устремляются вверх (если это костер) или направляются в трубу (если это печь или камин), следовательно, туда же движется и теплый воздух. Отсюда первый вывод: когда мы стоим около огня, то получаем энергию не благодаря конвекции (рис. 7.2).

Выдвинем *гипотезу*: возможно, энергия передается благодаря теплопроводности.

Чтобы проверить эту гипотезу, проведем *эксперимент*: поместим у огня лист металла (рис. 7.3, а). Он надежно защитит от жара несмотря на то, что металл хорошо проводит

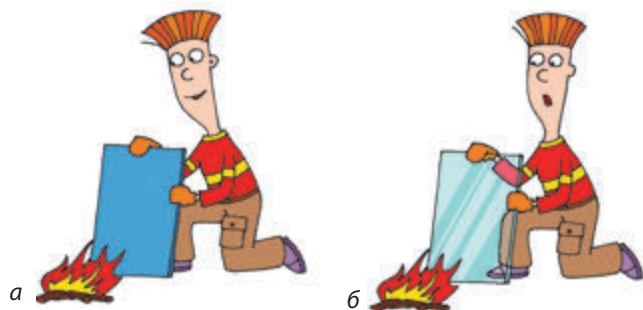


Рис. 7.3. Металл, который хорошо проводит тепло, лучше защищает от горячего пламени, чем стекло, являющееся плохим теплопроводником

тепло. А вот прозрачное стекло, хотя и является хорошим теплоизолятором, защищает от жара меньше, чем непрозрачный металл (рис. 7.3, б). Делаем второй вывод: тепло от открытого огня передается не только благодаря теплопроводности.

В данном случае мы имеем дело еще с одним видом теплопередачи — *излучением*.

Излучение — это вид теплопередачи, при котором энергия передается с помощью лучей (электромагнитных волн).

2 Выясняем некоторые особенности теплового излучения

Электромагнитные волны распространяются даже в вакууме, поэтому излучение отличается от других видов теплопередачи тем, что энергия может передаваться через пространство, в котором отсутствует вещество. Например, энергия от Солнца к Земле и другим планетам передается только благодаря излучению. Но неправильно считать, что излучение играет важную роль только в космосе. *Излучение — это универсальный вид теплопередачи, оно осуществляется между всеми телами.*

? Вспомните, в какой одежде — светлой или темной — вы лучше чувствуете себя в летнюю жару. Какую поверхность — светлую или темную — сильнее нагревают солнечные лучи? Предложите гипотезу о том, как от цвета тела зависит его способность поглощать тепловое излучение.

Чтобы проверить истинность вашей гипотезы, воспользуемся *теплоприемником* (рис. 7.4). Закрепим его в муфте штатива и соединим с жидкостным манометром. К черной поверхности теплоприемника поднесем горячий электрический утюг (рис. 7.5, а). Уровень жидкости в колене манометра, соединенном с теплоприемником, снизится. Это значит, что воздух в коробке нагрелся и расширился.

Повернем теплоприемник полированной поверхностью к утюгу — разница уровней

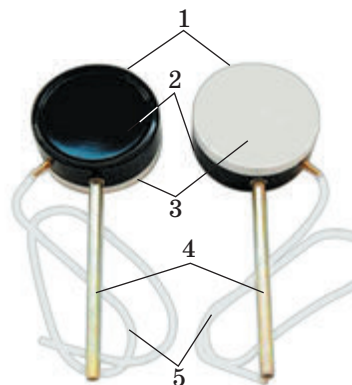


Рис. 7.4. Теплоприемник:
1 — пустая коробочка;
2 — черная поверхность;
3 — белая или светлая отполированная поверхность;
4 — ручка;
5 — трубка для соединения с жидкостным манометром

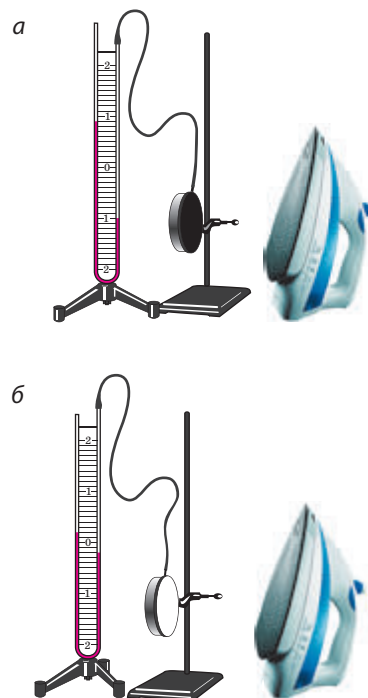


Рис. 7.5. Опыт, демонстрирующий, что способность тела поглощать тепло зависит от цвета поверхности тела

жидкости в коленях манометра будет намного меньше (рис. 7.5, б), то есть воздух в теплоприемнике нагреется слабее.

Тела с темной поверхностью лучше поглощают тепловое излучение, чем тела со светлой или полированной поверхностью.

Опытным путем также установлено, что *тела с темной поверхностью не только лучше поглощают тепло, но и активнее его излучают.*

Следует отметить, что все тела при любой температуре обмениваются энергией благодаря излучению. То есть *любое тело одновременно и излучает, и поглощает тепло*. Если температура тела больше температуры окружающих тел, то оно излучает энергии больше, чем поглощает. Если же тело холоднее окружающих тел, то поглощаемая им энергия будет больше излучаемой. Следовательно, *излучение, как и любой другой вид теплопередачи, в конце концов приводит к тепловому равновесию.*



Подводим итоги

Вид теплопередачи, при котором энергия передается с помощью электромагнитных волн, называют излучением.

Излучение — это универсальный вид теплопередачи, оно осуществляется между всеми телами (даже когда тела находятся в вакууме).

Энергия, которую излучает и поглощает тело, зависит от цвета его поверхности: лучше излучают и поглощают энергию тела с темной поверхностью; тела светлых и серебристых цветов, наоборот, излучают и поглощают энергию хуже.



Контрольные вопросы

1. Почему энергия от Солнца к Земле не может передаваться благодаря конвекции и теплопроводности? 2. Опишите опыт, подтверждающий, что энергия от костра может передаваться не только благодаря теплопроводности. 3. Что такое излучение? 4. Тела какого цвета лучше поглощают тепло? Опишите опыт, подтверждающий ваш ответ. 5. Существуют ли условия, при которых тело не излучает и не поглощает энергию? 6. Что происходит с температурой тела, когда оно излучает энергии больше, чем поглощает?



Упражнение № 7

1. Почему батареи отопления лучше покрывать темной краской?
2. Какой краской лучше покрывать фургоны рефрижераторов?
3. Почему весной загрязненный снег тает быстрее, чем чистый?
4. Зимой в неотапливаемом помещении, окна которого выходят на юг, довольно тепло. Когда такое может быть? Почему?
5. Для чего в термосах откачивают воздух между стенками колбы, а поверхность колбы делают зеркальной?
6. Атмосфера Земли прозрачна, поэтому солнечные лучи проходят сквозь атмосферу почти не нагревая ее. А благодаря чему нагревается атмосферный воздух и от чего зависит степень его нагретости?



7. Заполните таблицу*.

Физическая величина	Символ для обозначения	Единица в СИ
	m	
		°C
		кг/м ³
Количество теплоты		

§ 8. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ ВЕЩЕСТВА. КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ, КОТОРОЕ ПОГЛОЩАЕТ ВЕЩЕСТВО ПРИ НАГРЕВАНИИ ИЛИ ВЫДЕЛЯЕТ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ

На вопрос: «Что быстрее нагреется — 200 или 300 граммов жидкости?» — кто-то не задумываясь ответит, что двести: понятно ведь, что триста граммов будут нагреваться дольше. И этот ответ, возможно, будет правильным, а возможно — нет. Так что не торопитесь с выводами, выясним все по-порядку.

1

Выясняем, от чего зависит количество теплоты, необходимое для нагревания

Если в два одинаковых сосуда налить две жидкости массами 200 и 300 г и с помощью одинаковых нагревателей нагреть жидкости от 20 до 100 °C, жидкость какой массы нагреется быстрее?

Подумаем над этим вопросом. Во-первых, очевидно: если жидкость одна и та же, например вода, то для нагревания 300 г жидкости нужно больше времени, а значит, и большее количество теплоты, чем для нагревания 200 г. Это означает, что *количество теплоты, необходимое для нагревания вещества, зависит от массы этого вещества.*

Однако мы не знаем, о каких жидкостях идет речь, и потому не можем однозначно ответить, какая из них нагреется быстрее. Ведь *количество теплоты, которое необходимо передать веществу для определенного изменения его температуры, зависит от того, какое это вещество.* Убедимся в этом с помощью опыта.

Возьмем 200 г воды и 200 г растительного масла и нагреем обе жидкости от 20 до 100 °C, измерив время нагревания. Заметим, что масло нагреется быстрее, а следовательно, получит меньшее количество теплоты, чем вода (рис. 8.1).



Подумайте, одинаковое ли количество теплоты получит вещество некоторой массы при его нагревании от 20 до 100 °C и при его нагревании от 20 до 40 °C. Если не одинаковое, то в каком случае большее? Во сколько раз большее?

* Надеемся, вы помните, что в таких заданиях *таблицы, приведенные в учебнике, следует переносить в тетрадь.*

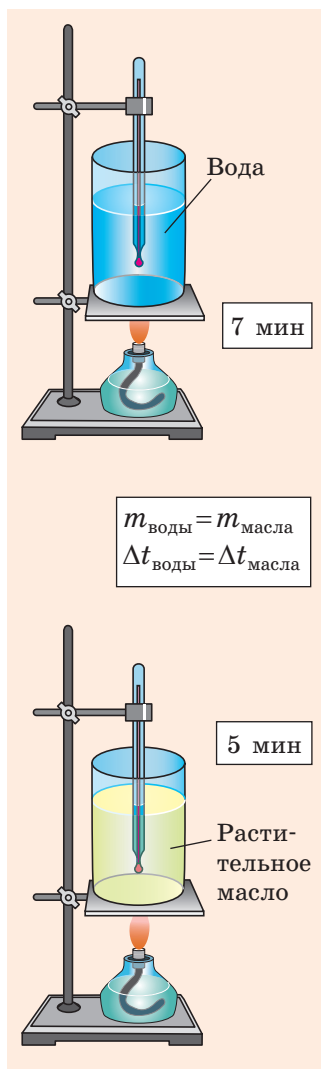


Рис. 8.1. Опыт по изучению зависимости количества теплоты, необходимого для нагревания вещества, от того, какое это вещество. Если нагревать разные вещества равной массы, то для одинакового изменения их температуры требуется разное время, то есть разное количество теплоты

Изменяя массу вещества, способы нагревания и охлаждения, учитывая тепловые потери, ученые доказали, что *количество теплоты, которое поглощает вещество при нагревании или выделяет при охлаждении:*

- *зависит от природы вещества;*
- *прямо пропорционально массе вещества;*
- *прямо пропорционально изменению температуры вещества.*

Данное утверждение записывают формулой:

$$Q = cm\Delta t,$$

где Q — количество теплоты; m — масса вещества; Δt — изменение температуры; c — коэффициент пропорциональности, который является характеристикой вещества и называется *удельной теплоемкостью вещества*.

2

Даём определение удельной теплоемкости вещества

Удельная теплоемкость вещества — это физическая величина, характеризующая вещество и численно равная количеству теплоты, которое необходимо передать веществу массой 1 кг, чтобы нагреть его на 1 °С.

Удельную теплоемкость обозначают символом c и определяют по формуле:

$$c = \frac{Q}{m\Delta t}$$

Из формулы для определения удельной теплоемкости получим ее единицу — **джоуль на килограмм-градус Цельсия***:

$$[c] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}.$$

Удельная теплоемкость показывает, на сколько джоулей изменяется внутренняя энергия вещества массой 1 кг при изменении температуры на 1 °С, если объем вещества остается неизменным.

* В СИ удельная теплоемкость измеряется в джоулях на килограмм-кельвин; числовые значения удельной теплоемкости, представленные в $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$ и $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, одинаковы.

3 Сравниваем удельные теплоемкости разных веществ

Удельные теплоемкости разных веществ могут существенно отличаться. Так, удельная теплоемкость золота равна $130 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, и это означает, что при нагревании 1 кг золота на 1°C оно поглощает 130 Дж теплоты, а если 1 кг золота остынет на 1°C , то при этом выделится 130 Дж теплоты. Удельная теплоемкость растительного масла $1700 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, то есть при нагревании 1 кг масла на 1°C оно поглощает 1700 Дж теплоты, а при охлаждении 1 кг масла на 1°C выделяется 1700 Дж теплоты.

Удельная теплоемкость вещества в разных агрегатных состояниях различна. Так, удельная теплоемкость воды равна $4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, льда — $2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$; железа в твердом состоянии — $460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, расплавленного железа — $830 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$.

Значения удельных теплоемкостей веществ определяют опытным путем и заносят в таблицы (см. [табл. 1 Приложения](#) в конце учебника).

4 Учимся решать задачи

Задача. Во время сгорания дров кирпичная печь массой 2 т получила 88 МДж теплоты и нагрелась от 10 до 60°C . Определите удельную теплоемкость кирпича.

Анализ физической проблемы. Для решения задачи воспользуемся формулой, по которой определяют удельную теплоемкость вещества.

Дано:

$m = 2000 \text{ кг}$
 $t_1 = 10^\circ\text{C}$
 $t_2 = 60^\circ\text{C}$
 $Q = 88 \text{ МДж} =$
 $= 88\,000\,000 \text{ Дж}$

Найти:
 c — ?

Поиск математической модели, решение

Так как $c = \frac{Q}{m\Delta t}$, а $\Delta t = t_2 - t_1$, получим:

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}.$$

Проверим единицу, найдем значение искомой величины:

$$[c] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot (^\circ\text{C} - ^\circ\text{C})} = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}};$$

$$c = \frac{88\,000\,000}{2000(60 - 10)} = \frac{88\,000}{2 \cdot 50} = 880 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \right).$$

Анализ результата. Полученное значение удельной теплоемкости совпадает с табличным, следовательно, задача решена правильно.

Ответ: $c = 880 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$.



Подводим итоги

Экспериментально установлено, что количество теплоты, которое поглощает тело при нагревании или выделяет при охлаждении, прямо пропорционально массе этого тела, изменению его температуры и зависит от вещества, из которого это тело изготовлено (состоит): $Q = cm\Delta t$.

Удельной теплоемкостью вещества называют физическую величину, характеризующую данное вещество и равную количеству теплоты, которое необходимо передать этому веществу массой 1 кг, чтобы нагреть его на 1 °C.

Удельную теплоемкость вещества обозначают символом c и измеряют в джоулях на килограмм-градус Цельсия $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}\right)$. Удельную теплоемкость можно вычислить по формуле $c = \frac{Q}{m\Delta t}$ или найти в соответствующей таблице.



Контрольные вопросы

1. От чего зависит количество теплоты, необходимое для нагревания тела? 2. По какой формуле вычисляют количество теплоты, переданное телу при нагревании или выделенное им при охлаждении? 3. Каков физический смысл удельной теплоемкости вещества? 4. Назовите единицу удельной теплоемкости вещества.



Упражнение № 8

1. Удельная теплоемкость серебра равна $250 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$. Что это означает?
2. Почему в системах охлаждения чаще всего используют воду?
3. Стальную ложку массой 40 г нагрели в кипятке (в воде при температуре 100 °C). Какое количество теплоты пошло на нагревание ложки, если ее температура увеличилась от 20 до 80 °C?
4. Чтобы нагреть деталь массой 250 г на 160 °C, ей было передано 20 кДж теплоты. Из какого материала изготовлена деталь?
5. Как известно, $c = \frac{Q}{m\Delta t}$. Можно ли сказать, что удельная теплоемкость зависит от массы вещества? от изменения температуры вещества? от количества переданной теплоты?
6. В алюминиевой кастрюле массой 500 г нагрели 1,5 кг воды от 20 °C до кипения. Какое количество теплоты передано кастрюле с водой?
7. На какую высоту можно поднять груз массой 2 т, если использовать всю энергию, которая освобождается при остывании 0,5 л воды от 100 до 0 °C?
8. Выберите на карте две местности, расположенные на одной широте: одна должна быть у моря, а другая — в глубине континента. Воспользовавшись дополнительными источниками информации, сопоставьте перепады температур (день — ночь, зима — лето) в этих местностях. Объясните полученные результаты.

§ 9. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС

Изучая механические явления, вы узнали о законе сохранения и превращения энергии. Этот фундаментальный закон справедлив для всех процессов, происходящих в природе, в том числе и для теплопередачи. Математическое выражение закона сохранения энергии для процесса теплопередачи — уравнение теплового баланса. Ознакомимся с этим уравнением и научимся применять его для решения задач.

1 Записываем уравнение теплового баланса

Представьте систему тел, которая не получает и не отдает энергию (такую систему называют *изолированной*), а уменьшение или увеличение внутренней энергии тел происходит только вследствие теплообмена между телами этой системы. В таком случае на основании закона сохранения энергии можно утверждать: сколько теплоты отдадут одни тела системы, столько же теплоты получают другие тела этой системы.

Обозначим Q^+ количество теплоты, полученное некими телами системы, а Q^- — модуль количества теплоты, отданного некими телами системы. Тогда закон сохранения энергии для процесса теплопередачи можно записать в виде уравнения, которое называют **уравнением теплового баланса**:

$$Q_1^- + Q_2^- + \dots + Q_n^- = Q_1^+ + Q_2^+ + \dots + Q_k^+,$$

где n — количество тел, отдающих энергию; k — количество тел, получающих энергию.

Формулируется оно так: *в изолированной системе тел, в которой внутренняя энергия тел изменяется только в результате теплопередачи, суммарное количество теплоты, отданное одними телами системы, равно суммарному количеству теплоты, полученному другими телами этой системы.*

Отметим, что в приведенной форме уравнения теплового баланса все слагаемые — модули количества теплоты, то есть положительные величины.

Уравнение теплового баланса применяют для решения ряда задач, с которыми мы часто имеем дело на практике (рис. 9.1).



Рис. 9.1. Некоторые примеры использования уравнения теплового баланса для решения практических задач: *а* — определение количества горячей воды, которое надо добавить в сосуд с холодной водой, чтобы получить теплую воду необходимой температуры; *б* — определение мощности нагревателя, необходимой для поддержания в помещении комфортной температуры

2 Учимся решать задачи

Решая задачи на составление уравнения теплового баланса, следует помнить: процесс теплообмена в конце концов приводит к установлению теплового равновесия, то есть *температуры всех тел системы становятся одинаковыми*.

Задача. В воду массой 400 г, взятую при температуре 20 °С, добавили 100 г горячей воды, имеющей температуру 70 °С. Какой станет температура воды? Считайте, что теплообмен с окружающей средой не происходит.

Анализ физической проблемы. В теплообмене принимают участие два тела. Отдает энергию горячая вода: ее температура уменьшается от 70 °С до искомой температуры t . Получает энергию холодная вода: ее температура увеличивается от 20 °С до t . По условию, теплообмен с окружающей средой отсутствует, поэтому для решения задачи можно воспользоваться уравнением теплового баланса.

Дано:

$$m_1 = 400 \text{ г} = 0,4 \text{ кг}$$

$$t_1 = 20 \text{ °С}$$

$$m_2 = 100 \text{ г} = 0,1 \text{ кг}$$

$$t_2 = 70 \text{ °С}$$

Найти:

t — ?

Поиск математической модели, решение

Количество теплоты, полученное холодной водой*:

$$Q_1 = cm_1(t - t_1). \quad (1)$$

Количество теплоты, отданное горячей водой:

$$Q_2 = cm_2(t_2 - t). \quad (2)$$

Согласно уравнению теплового баланса:

$$Q_1 = Q_2. \quad (3)$$

Подставив уравнения (1) и (2) в уравнение (3), получим:

$$cm_1(t - t_1) = cm_2(t_2 - t) \Rightarrow m_1(t - t_1) = m_2(t_2 - t).$$

Выполним преобразования:

$$m_1t - m_1t_1 = m_2t_2 - m_2t.$$

Отсюда:

$$m_1t + m_2t = m_2t_2 + m_1t_1 \Rightarrow t(m_1 + m_2) = m_2t_2 + m_1t_1.$$

Окончательно получаем: $t = \frac{m_2t_2 + m_1t_1}{m_1 + m_2}.$

Проверим единицу, найдем значение искомой величины:

$$[t] = \frac{\text{кг} \cdot \text{°С} + \text{кг} \cdot \text{°С}}{\text{кг} + \text{кг}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{°С}}{\text{кг}} = \text{°С}; \quad t = \frac{0,4 \cdot 20 + 0,1 \cdot 70}{0,4 + 0,1} = 30 \text{ (°С)}.$$

Анализ результата. Полученное значение конечной температуры воды (30 °С) вполне реально: оно больше 20 °С и меньше 70 °С.

Ответ: $t = 30 \text{ °С}.$

* Напоминаем: уравнение теплового баланса мы будем использовать в виде, в котором значения количеств теплоты взяты по модулю, то есть являются положительными. Поэтому здесь и далее, вычисляя количество теплоты, отданное или полученное телом, всегда будем вычитать из большей температуры меньшую.



Подводим итоги

Для любых процессов, происходящих в природе, выполняется закон сохранения и превращения энергии. Для изолированной системы, в которой внутренняя энергия тел изменяется только в результате теплообмена между телами этой системы, закон сохранения энергии можно сформулировать так: суммарное количество теплоты, отданное одними телами системы, равно суммарному количеству теплоты, полученному другими телами системы.

Математическим выражением закона сохранения энергии для процесса теплопередачи является уравнение теплового баланса:

$$Q_1^- + Q_2^- + \dots + Q_n^- = Q_1^+ + Q_2^+ + \dots + Q_k^+.$$



Контрольные вопросы

1. Какую систему тел называют изолированной? 2. Сформулируйте закон сохранения энергии, на основании которого составляют уравнение теплового баланса.



Упражнение № 9

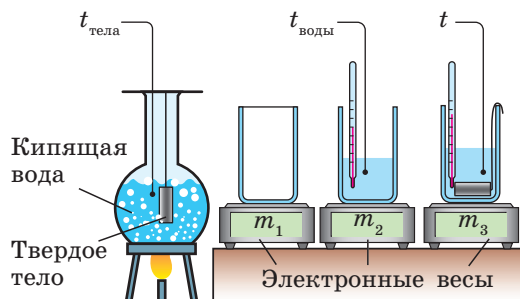
При решении задач теплообменом с окружающей средой пренебречь.

1. В ванну налили 80 л воды при температуре 10 °С. Сколько литров воды при температуре 100 °С нужно добавить в ванну, чтобы температура воды в ней стала 25 °С? Массой ванны пренебречь.
2. В кастрюлю налили 2 кг воды, имеющей температуру 40 °С, а затем добавили 4 кг воды, нагретой до температуры 85 °С. Определите температуру смеси. Массой кастрюли пренебречь.
3. Нагретый в печи стальной брусок массой 200 г опустили в воду массой 250 г при температуре 15 °С. Температура воды повысилась до 25 °С. Вычислите температуру в печи.
4. Латунный сосуд массой 200 г содержит 400 г воды при температуре 20 °С. В воду опустили 800 г серебра, имеющего температуру 69 °С. В результате вода нагрелась до температуры 25 °С. Определите удельную теплоемкость серебра.
5. Приведите примеры веществ, которые при температуре 20 °С находятся в твердом состоянии; жидком состоянии; газообразном состоянии.



Экспериментальное задание

Воспользовавшись рисунком, составьте план проведения эксперимента по определению удельной теплоемкости вещества, из которого изготовлено твердое тело. По возможности проведите эксперимент.





ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

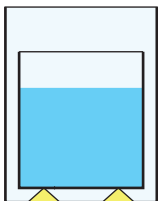


Тема. Изучение теплового баланса при смешивании воды разной температуры.

Цель: ознакомиться с устройством и принципом действия калориметра; определить количество теплоты, переданное горячей водой, и количество теплоты, полученное холодной водой, в результате смешивания воды разной температуры, сравнить результаты.

Оборудование: измерительный цилиндр, термометр, калориметр, стакан с холодной водой, стакан с горячей водой, бумажные салфетки, мешалка.

Теоретические сведения



Для многих опытов по изучению тепловых явлений применяют *калориметр* — устройство, которое состоит из двух сосудов, размещенных друг в друге и разделенных воздушной прослойкой (см. рисунок). Благодаря небольшому расстоянию между внутренним и внешним сосудами (что обеспечивает отсутствие конвекционных потоков) и из-за слабой теплопроводности воздуха теплообмен с окружающей средой в калориметре незначителен.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ



Подготовка к эксперименту

- Прежде чем приступить к измерениям:
 - внимательно прочитайте теоретические сведения, приведенные выше;
 - вспомните, что такое состояние теплового равновесия.
- Определите цену деления шкалы каждого измерительного прибора.



Эксперимент

Строго соблюдайте инструкцию по безопасности (см. форзац).

Результаты измерений сразу заносите в таблицу.

- Ознакомьтесь с устройством калориметра.
- Налейте в измерительный цилиндр 60–80 мл холодной воды. Определите ее объем (V_1) и измерьте температуру (t_1).
- Налейте в калориметр горячей воды ($1/3$ внутреннего сосуда калориметра) и измерьте ее температуру (t_2).
- Не вынимая термометр, перелейте в калориметр холодную воду из измерительного цилиндра и, осторожно перемешивая смесь мешалкой, следите за показаниями термометра. Как только изменение температуры станет незаметным, запишите температуру смеси (t).

- Осторожно извлеките термометр из воды, протрите салфеткой и положите в футляр.
- Перелейте всю воду из калориметра в измерительный цилиндр, измерьте общий объем V воды.

► Обработка результатов эксперимента

- Определите массу холодной воды: $m_1 = \rho_{\text{воды}} V_1$. По формуле $Q_1 = c_{\text{воды}} m_1 (t - t_1)$ вычислите количество теплоты Q_1 , полученное холодной водой.
- Определите объем V_2 и массу m_2 горячей воды: $V_2 = V - V_1$; $m_2 = \rho_{\text{воды}} V_2$. По формуле $Q_2 = c_{\text{воды}} m_2 (t_2 - t)$ вычислите количество теплоты Q_2 , переданное горячей водой.
- Закончите заполнение таблицы.

Температура воды, °C			Объем воды, мл			Масса воды, кг		Количество теплоты, Дж	
t_1	t_2	t	V_1	V	V_2	m_1	m_2	Q_1	Q_2

□ Анализ результатов эксперимента

Проанализируйте эксперимент и его результаты. Сформулируйте вывод, в котором:

- сравните количество теплоты, переданное горячей водой, и количество теплоты, полученное холодной водой;
- укажите причину возможного расхождения результатов.

* Задание «со звездочкой»

Оцените относительную погрешность эксперимента, воспользовавшись формулой:

$$\varepsilon = \left| 1 - \frac{Q_1}{Q_2} \right| \cdot 100 \% .$$

i

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2



Тема. Определение удельной теплоемкости вещества.

Цель: определить удельную теплоемкость вещества в твердом состоянии.

Оборудование: измерительный цилиндр, весы с разновесами, термометр, калориметр, металлическое тело с нитью, стакан с водой комнатной температуры, электрический чайник с кипящей водой (один на класс), бумажные салфетки, мешалка.

Теоретические сведения

Для определения удельной теплоемкости вещества в твердом состоянии можно воспользоваться следующим методом. Твердое тело нагревают в кипятке, а затем опускают в калориметр с холодной водой. Происходит теплообмен, в котором принимают участие четыре тела: отдает энергию твердое тело, получают энергию вода, калориметр, термометр. По сравнению с водой термометр и калориметр получают незначительное количество теплоты, поэтому можно считать, что количество теплоты, отданное твердым телом, равно количеству теплоты, полученному холодной водой: $Q_{\text{тела}} = Q_{\text{воды}}$. Следовательно, $c_{\text{тела}} m_{\text{тела}} (t_{\text{тела}} - t) = c_{\text{воды}} m_{\text{воды}} (t - t_{\text{воды}})$; отсюда:

$$c_{\text{тела}} = \frac{c_{\text{воды}} m_{\text{воды}} (t - t_{\text{воды}})}{m_{\text{тела}} (t_{\text{тела}} - t)},$$

где $c_{\text{тела}}$, $c_{\text{воды}}$ — удельные теплоемкости вещества, из которого состоит тело, и воды; $m_{\text{тела}}$, $m_{\text{воды}}$ — массы тела и воды; $t_{\text{тела}}$ и $t_{\text{воды}}$ — температуры тела и воды в начале опыта; t — температура тела и воды после установления теплового равновесия.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ



Подготовка к эксперименту

- Прежде чем приступить к измерению:
 - внимательно прочитайте теоретические сведения, представленные выше;
 - вспомните, что характеризует удельная теплоемкость вещества; какова единица удельной теплоемкости.
- Определите цену деления шкалы каждого измерительного прибора.



Эксперимент

Строго соблюдайте инструкцию по безопасности (см. форзац). Результаты измерений сразу заносите в таблицу.

- Налейте в измерительный цилиндр 100–150 мл воды. Измерьте объем воды ($V_{\text{воды}}$).
- Перелейте воду из измерительного цилиндра в калориметр. Измерьте начальную температуру воды в калориметре ($t_{\text{воды}}$).
- Извлеките термометр из воды и положите на салфетку. Подойдите с калориметром к учителю, который из чайника с кипящей водой достанет за нить металлическое тело и опустит его в ваш калориметр.
- Снова поместите термометр в калориметр и, слегка перемешивая воду мешалкой, следите за повышением температуры. Как только изменение температуры станет незаметным (то есть установится тепловое равновесие), запишите показание термометра — конечную температуру воды (t).
- Извлеките термометр из воды, осушите его бумажной салфеткой и положите в футляр.
- Извлеките металлическое тело из воды, осушите его бумажной салфеткой и взвесьте ($m_{\text{тела}}$).

Обработка результатов эксперимента

1. Определите массу воды в калориметре ($m_{\text{воды}} = \rho_{\text{воды}} V_{\text{воды}}$). Результат вычислений занесите в таблицу.
2. Подумайте и заполните столбики 5–7 таблицы.
3. Воспользовавшись формулой $c_{\text{тела}} = \frac{c_{\text{воды}} m_{\text{воды}} (t - t_1)}{m_{\text{тела}} (t_{\text{тела}} - t)}$, определите удельную теплоемкость металла, из которого изготовлено тело ($c_{\text{тела}}$).
4. Завершите заполнение таблицы.
5. Воспользовавшись таблицей удельных теплоемкостей некоторых веществ в твердом состоянии (см. табл. 1 Приложения), выясните, из какого вещества изготовлено тело.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Начальная температура воды $t_{\text{воды}}$, °C	Конечная температура воды t , °C	Объем воды $V_{\text{воды}}$, м ³	Масса воды $m_{\text{воды}}$, кг	Удельная теплоемкость воды $c_{\text{воды}}$, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Начальная температура тела $t_{\text{тела}}$, °C	Конечная температура тела t , °C	Масса тела $m_{\text{тела}}$, кг	Удельная теплоемкость $c_{\text{тела}}$, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$

Анализ результатов эксперимента

Проанализируйте эксперимент и его результаты. Сформулируйте вывод, в котором укажите:

- а) какую величину вы измеряли;
- б) какой результат получили;
- в) какие факторы повлияли на точность полученного результата.

Творческое задание

Предложите способ определения удельной теплоемкости жидкости. Запишите план эксперимента.

Задание «со звездочкой»

Оцените относительную погрешность проведенного в ходе лабораторной работы эксперимента, воспользовавшись формулой:

$$\varepsilon = \left| 1 - \frac{c_{\text{изм}}}{c_{\text{табл}}} \right| \cdot 100 \%,$$

где $c_{\text{изм}}$ — полученное во время эксперимента значение удельной теплоемкости вещества, из которого изготовлено тело; $c_{\text{табл}}$ — табличное значение удельной теплоемкости этого вещества.

ЧАСТЬ 2. ИЗМЕНЕНИЕ АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА. ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ



§ 10. АГРЕГАТНОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА. НАНОМАТЕРИАЛЫ



Приходилось ли вам бывать в морозный зимний день на берегу быстрой горной речки? Вокруг лежит снег, замерзли деревья, покрытые сияющим в солнечных лучах инеем, а вода в речке не замерзает. Очень чистая, прозрачная, она течет, разбиваясь об обледенелые камни. В чем отличие воды и льда? Почему появился иней? В параграфе вы обязательно найдете ответы на эти вопросы.

1

Наблюдаем разные агрегатные состояния вещества

Вы уже знаете, что лед (снег, иней) и вода — это разные *агрегатные состояния воды: твердое и жидкое*. Появление инея на деревьях объясняется так: в воздухе всегда есть водяной пар, который, охлаждаясь, кристаллизуется и оседает в виде инея. Водяной пар — это третье агрегатное состояние воды — *газообразное*.

Приведем еще пример. Вы, наверное, знаете об опасности разбить термометр с ртутью — густой жидкостью серебристого цвета; ртуть, испаряясь, образует очень ядовитый пар. А вот при температуре ниже $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ ртуть представляет собой твердый металл. То есть ртуть, как и вода, может находиться в твердом, жидком и газообразном состояниях.

Практически любое вещество в зависимости от физических условий может находиться в трех агрегатных состояниях — твердом, жидком, газообразном.

Существует еще одно агрегатное состояние вещества — **плазма** — частично или полностью ионизированный газ, то есть газ, который состоит из заряженных частиц (ионов и электронов), а также нейтральных атомов и молекул. Например, ртуть пребывает в плазменном состоянии во включенных ртутных лампах (так называемые лампы дневного света). Во Вселенной плазма является самым распространенным состоянием вещества (рис. 10.1).



Рис. 10.1. Вещество в недрах звезд находится в состоянии плазмы. Разреженной плазмой заполнено и межзвездное пространство

Водяной пар, вода, лед образованы *одинаковыми* молекулами, — молекулами воды. Почему же различаются физические свойства веществ, образованных одинаковыми молекулами, но находящихся в разных агрегатных состояниях? Причина в том, что молекулы по-разному движутся и взаимодействуют.

2 Объясняем физические свойства твердых тел

Тела, изображенные на [рис. 10.2](#), различаются цветом, формой и т. п., они состоят из разных веществ. Вместе с тем они имеют общие физические свойства, присущие всем твердым телам.

Твердые тела сохраняют объем и форму. Дело в том, что частицы (молекулы, атомы, ионы) твердых тел находятся в положениях равновесия. В этих положениях силы притяжения и силы отталкивания между частицами равны. При попытке увеличить или уменьшить расстояние между частицами (то есть увеличить или уменьшить размер тела) возникает соответственно межмолекулярное притяжение или отталкивание. Кроме того, частицы твердых тел практически не перемещаются — они только непрерывно колеблются.

В большинстве твердых веществ частицы расположены в четком порядке, то есть образуют *кристаллическую решетку*. Такие вещества называют **кристаллическими**. Примеры кристаллических веществ: алмаз, графит ([рис. 10.3](#)), лед, соль ([рис. 10.4](#)), металлы и т. д.

Порядок расположения частиц в кристаллической решетке определяет физические свойства вещества. Так, алмаз и графит состоят из одних и тех же атомов Карбона, но эти вещества сильно отличаются, поскольку в них по-разному расположены атомы (см. [рис. 10.3](#)).

Существует *группа твердых веществ* (стекло, воск, смола, янтарь и др.), частицы которых не образуют кристаллическую решетку и в целом расположены беспорядочно. Такие вещества называют **аморфными**.

При определенных условиях твердые тела плавятся, то есть переходят в жидкое состояние. *Каждое кристаллическое вещество плавится при определенной температуре.* В отличие от кристаллических, *аморфные вещества не имеют определенной температуры плавления* — они переходят в жидкое состояние, постепенно размягчаясь. Подробнее о плавлении твердых тел вы узнаете из § 11.



Рис. 10.2. Несмотря на множество отличий, все твердые тела сохраняют объем и форму

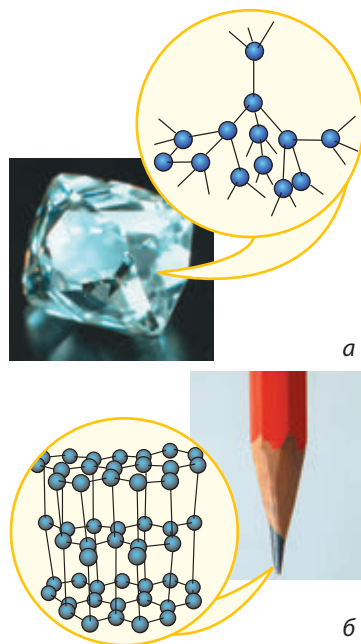


Рис. 10.3. Модели кристаллических решеток: *а* — алмаза, *б* — графита. Шариками изображены атомы Карбона. На самом деле атомы расположены плотно, а линий, соединяющих атомы, не существует (они проведены только для того, чтобы продемонстрировать характер пространственного расположения атомов)

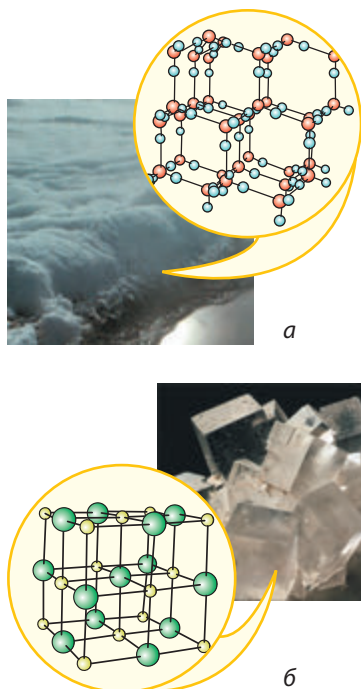


Рис. 10.4. Модели кристаллических решеток: *а* — льда (H_2O — молекула воды: красные шарики — атомы Оксигена, синие — атомы Гидрогена); *б* — поваренной соли (желтые шарики — ионы Натрия, зеленые — ионы Хлора)



Рис. 10.5. В жидком состоянии вещество сохраняет свой объем, но приобретает форму сосуда, в котором находится

3 Объясняем физические свойства жидкостей

*Жидкость изменяет свою форму, приобретая форму того сосуда, в котором находится; сохраняет объем (рис. 10.5); является практически несжимаемой**. Эти свойства жидкости можно объяснить так.

Как и в твердых телах, частицы в жидкостях расположены вплотную друг к другу (рис. 10.6). Такая плотная «упаковка» частиц является причиной не только сохранения объема жидкостей, но и того, что жидкости практически невозможно сжать.

? Вспомните о силах межмолекулярного притяжения и отталкивания и поясните последнее утверждение самостоятельно.

Каждая частица жидкости в течение некоторого времени (порядка 10^{-11} с) осуществляет движение, подобное колебательному, не удаляясь при этом от своих «соседей»; затем она вырывается из своего окружения и перескакивает в другое место, где попадает в новое окружение и снова некоторое время колеблется около своего положения равновесия. Перепрыгивания (переходы) молекул из одного равновесного состояния в другое происходят преимущественно в направлении внешней силы, поэтому *жидкость текуча* — под воздействием внешних сил она приобретает форму сосуда, в котором находится.

4 Объясняем физические свойства газов

Слово «газ» происходит от греческого «хаос» — беспорядок. В самом деле, для газообразного состояния вещества характерно полное отсутствие порядка во взаимном расположении и движении частиц.

Частицы газа расположены на расстояниях, которые в десятки и сотни раз превышают размеры самых частиц. На таких расстояниях частицы практически не взаимодействуют, поэтому они разлетаются и *газ занимает весь*

* Сжимаемость жидкостей зависит от давления и температуры.

предоставленный ему объем. Большими расстояниями между частицами объясняется и тот факт, что *газы легко сжимаются*.

Чтобы понять, как движутся молекулы и атомы газа, представим движение одной частицы. Вот она движется в некотором направлении, сталкивается с другой частицей, изменяет направление и скорость своего движения и летит дальше, до следующего столкновения (рис. 10.7). Чем больше частиц в данном объеме газа, тем чаще они сталкиваются. Например, каждая частица, входящая в состав воздуха в классной комнате, сталкивается с другими и изменяет скорость своего движения примерно пять миллиардов раз в секунду.

5 Узнаём о наноматериалах

«Пока мы должны пользоваться атомарными структурами, которые предлагает нам природа... Но в принципе физик мог бы создать любое вещество по заданной химической формуле», — заявил в 1959 г. в своей лекции «Там, внизу, полно места» американский физик *Ричард Фейнман* (рис. 10.8).

Фейнман предположил, что с помощью некоего «манипулятора» можно брать отдельные атомы и молекулы и, складывая их как кирпичики, создавать новые материалы. Так ученый заложил будущие основы и обозначил основные направления развития *нанотехнологий*. Это и сверхплотная запись информации, и разработка миниатюрных компьютеров, и создание хирургических инструментов, выполняющих операции непосредственно в организме человека. Фейнман говорил: «Было бы интересно для хирургии, если бы вы могли проглотить хирурга. Вы введете механического хирурга в кровеносные сосуды, он пройдет к сердцу и «осмотрится» там...»

В то время идеи Фейнмана казались фантастикой. Но уже в 1981 г. был создан сканирующий туннельный микроскоп, появилась возможность манипулировать веществом на атомарном уровне и получать материалы с уникальными свойствами — **наноматериалы**.

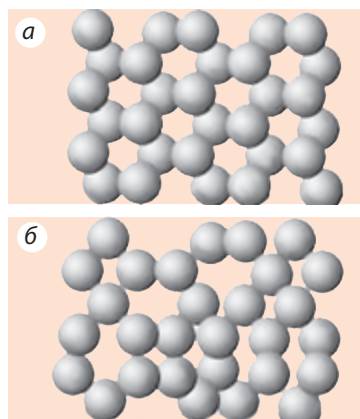


Рис. 10.6. Характер расположения частиц: а — в твердых кристаллических веществах; б — в жидкостях и аморфных веществах (частицы в целом расположены хаотично, однако в малом объеме вещества сохраняется некоторая взаимная ориентация соседних частиц — существует ближний порядок)

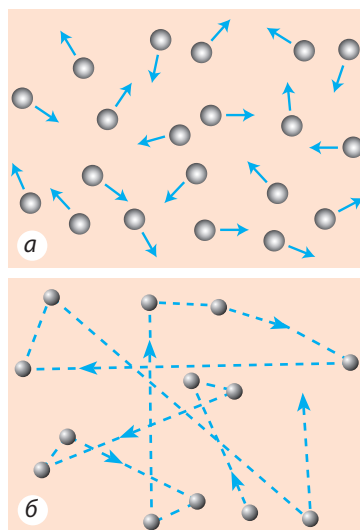


Рис. 10.7. Движение и расположение частиц газа: а — направление движения частиц; б — приблизительная траектория движения частицы



Рис. 10.8. Ричард Филлипс Фейнман (1918–1988) — выдающийся американский физик, лауреат Нобелевской премии по физике, один из основателей квантовой электродинамики

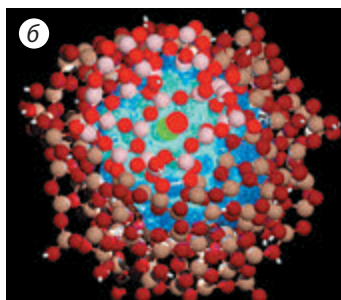
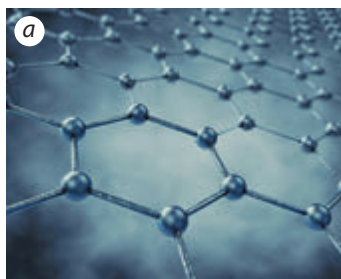


Рис. 10.9. Некоторые нанообъекты: а — графен — слой атомов Карбона толщиной всего 0,18 нм и горизонтальными размерами около 10 мкм; б — наночастица — частица, размеры которой в каждом направлении не превышают 100 нм

Согласно толковым словарям, материалы — это предметы, вещества, идущие на изготовление различных изделий; сырье. Префикс *нано-* (в переводе с греческого «гном, карлик») используется для записи дольных единиц СИ и означает «одна миллиардная». Соответственно объект, хотя бы один из линейных размеров которого не превышает 100 нанометров (100 нм), называют *нанообъектом* (рис. 10.9). Следовательно, **наноматериалы** — это предметы, вещества, другое сырье, которые искусственно созданы с использованием нанообъектов и предназначены для изготовления различных изделий.

6 Узнаём о свойствах наноматериалов и перспективах их применения

Свойства наноматериалов и обычных веществ очень сильно отличаются, даже если те и другие состоят из одних и тех же атомов. Поэтому наноматериалы можно рассматривать как особое состояние вещества.

В отличие от обычных объектов, состоящих из огромного количества частиц (атомов, молекул, ионов), нанообъекты могут состоять всего лишь из нескольких десятков частиц. Именно поэтому они имеют *малые размеры*. Это позволяет разместить на небольшой площади колоссальное количество нанообъектов, что очень важно, например, для нанoeлектроники и записи информации. Нанообъекты могут внедряться в любые участки тела человека или части машины, поэтому их, например, можно использовать в медицине для доставки лекарства в определенные части организма (рис. 10.10).

Кроме того, у нанообъектов велика доля атомов, размещенных на поверхности. Благодаря этому в несколько раз ускоряется взаимодействие нанообъекта и среды, в которую он помещен. Поэтому наноматериалы — хорошие катализаторы (они позволяют в миллионы раз ускорить химические реакции). Так, наночастицы титан диоксида могут раскладывать воду на водород и кислород под действием обычного солнечного света, нанопористые вещества

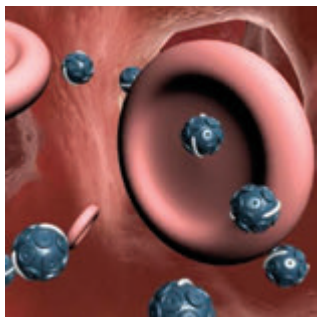


Рис. 10.10. Нанокапсулы — микроконтейнеры, защищающие лекарства при их транспортировке к большей части организма

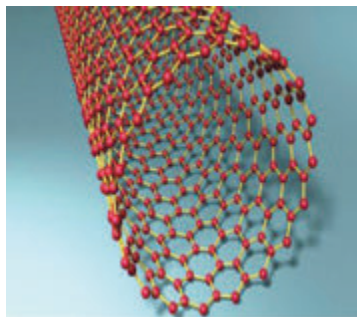


Рис. 10.11. Нанотрубка — протяженная цилиндрическая структура диаметром от одного до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких микрометров

поглощают примеси и токсины, а поверхность, покрытая гидрофобным нанопорошком, «не боится» воды и грязи — она просто отталкивает их.

Важная особенность нанообъектов — *отсутствие дефектов*, поэтому, например, нанотрубки (рис. 10.11) в десятки раз прочнее стали и примерно в четыре раза легче. Если бы удалось сделать такие трубки достаточно длинными и изготовить из них кабель, то он проводил бы электрический ток в сотни раз лучше, чем медный.

Понятно, что мы описали лишь небольшую часть перспектив применения наноматериалов. Сейчас нанонаука очень быстро развивается. По мнению многих экспертов, XXI век будет веком нанотехнологий.



Подводим итоги

Практически любое вещество в зависимости от физических условий может существовать в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком, газообразном. Когда вещество переходит из одного агрегатного состояния в другое, изменяются взаимное расположение частиц вещества (молекул, атомов, ионов) и характер их движения.

Существует четвертое агрегатное состояние — плазма. Плазма — это частично или полностью ионизированный газ.

В последнее время получают широкое применение наноматериалы. Свойства наноматериалов существенно отличаются от свойств обычных веществ; их можно рассматривать как особое состояние вещества.



Контрольные вопросы

1. Можно ли утверждать, что ртуть — всегда жидкость, а воздух — всегда газ?
2. Отличаются ли друг от друга молекулы водяного пара и льда?
3. В каком состоянии находится вещество в недрах звезд?
4. Почему твердые тела сохраняют объем и форму?
5. В чем сходство и в чем отличие кристаллических и аморфных веществ?
6. Как движутся и как расположены молекулы в жидкостях?
7. Почему газы занимают весь предоставленный объем?
8. Приведите примеры нанообъектов.
9. Какие свойства наноматериалов могут обеспечить их широкое применение?



Упражнение № 10

1. Выберите правильное окончание предложения.
Если перелить жидкость из одного сосуда в другой, жидкость...
а) изменит и форму, и объем в) сохранит объем, но изменит форму
б) сохранит и форму, и объем г) сохранит форму, но изменит объем
2. Вода испарилась, превратившись в пар. Изменились ли при этом: молекулы воды? расположение молекул и характер их движения?
3. Может ли газ заполнить банку наполовину?
4. Можно ли утверждать, что в закрытом сосуде, частично заполненном водой, над поверхностью жидкости воды нет?
5. В чайнике кипит вода. Действительно ли мы видим водяной пар, выходящий из носика?
6. Воспользовавшись дополнительными источниками информации, узнайте о нанороботах и областях их будущего применения. Подготовьте презентацию или короткое сообщение.
7. Из приведенных названий физических величин выберите те, которые являются характеристикой вещества: а) плотность; б) масса; в) объем; г) удельная теплоемкость; д) температура; е) скорость движения.



Экспериментальное задание

«Твердая жидкость». Аморфные тела называют очень вязкими жидкостями. Используя восковую свечу и, например, маркер, докажите, что воск, пусть очень медленно, но течет. Для этого положите маркер на подоконник, сверху на маркер (перпендикулярно ему) положите свечу и оставьте так на несколько дней. Объясните результаты эксперимента.

Физика и техника в Украине



Институт металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины (Киев). Современную жизнь невозможно представить без применения металлов. К сожалению, природа не создала «идеальный» металл. Некоторые (титан) имеют большую прочность, небольшую плотность, однако достаточно дорого стоят, другие (алюминий) имеют малое сопротивление и вместе с тем недостаточную прочность. Поэтому на протяжении веков ученые стараются улучшить свойства металлов, сохраняя их «хорошие» качества и уменьшая «плохие».

Квантовая физика XX в. предоставила возможность целенаправленно изменять свойства металлов. Процесс основан на изучении микроструктуры металлов с помощью разных методов.

Институт металлофизики, история которого начинается в 1945 г., располагает для этого одним из наибольших арсеналов современных приборов. Поэтому изобретение в конце XX в. наноматериалов ученые института встретили всесторонне вооруженными.

Научные разработки института направлены на изучение микроструктуры металлов при разных температурах, в условиях быстрого нагревания и охлаждения, радиационного и ультразвукового излучений. Созданы материалы с уникальными свойствами, которые используют в авиационной и автомобильной промышленности, космической технике, в изделиях медицинского назначения.

С 2011 г. институтом руководит академик НАН Украины *Орест Михайлович Ивасишин*.

§ 11. ПЛАВЛЕНИЕ И КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

Задумывались ли вы над тем, почему комочек снега тает в руке? Почему появляются ледяные сосульки и когда это происходит — в оттепель или, наоборот, в мороз? Как охладить немного снега без морозильной камеры? Почему кусочек свинца можно расплавить в стальной ложке, а кусочек стали в свинцовой — нельзя? Изучив материал данного параграфа, вы сможете ответить на эти вопросы.

1 Знакомимся с процессами плавления и кристаллизации

Если в теплую комнату внести немного снега, через некоторое время он растает, или, как говорят физики, расплавится.

Плавление — это процесс перехода вещества из твердого состояния в жидкое.

Проследим изменение температуры снега в процессе его таяния в теплой комнате (рис. 11.1). В начале опыта температура снега ниже 0°C , снег не тает, а его температура быстро увеличивается (рис. 11.1, а). Как только столбик термометра достигает отметки 0°C , температура перестает увеличиваться, а в сосуде появляется вода (снег начинает плавиться). Осторожно перемешаем воду с остатками снега и отметим, что температура смеси остается неизменной (рис. 11.1, б). И только после того как снег полностью расплавится, температура снова начнет расти (рис. 11.1, в).

Опыты показывают: *практически все кристаллические вещества начинают плавиться после достижения ими определенной температуры (собственной для каждого вещества); в процессе плавления температура вещества не изменяется.*

Температура плавления — это температура, при которой твердое кристаллическое вещество плавится, то есть переходит в жидкое состояние.

Итак, твердое вещество при достижении определенной температуры превращается в жидкость. Так же при определенных условиях отвердевают (кристаллизуются) жидкости. Например, если вынести воду на мороз или

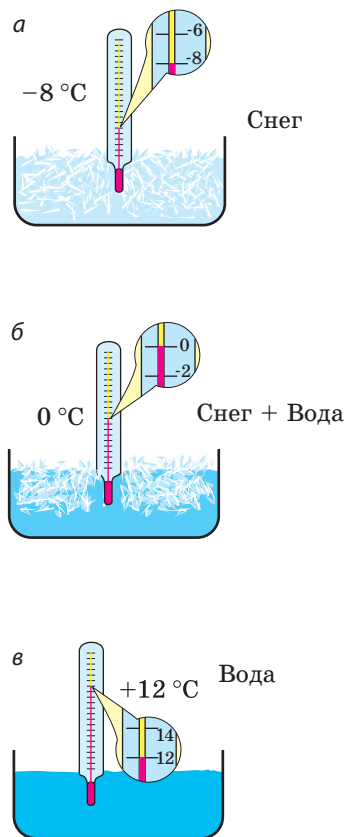


Рис. 11.1. Наблюдение процесса таяния снега:

а — при отрицательной температуре вода находится в твердом состоянии; б — при температуре 0°C снег начинает таять, во время таяния температура смеси неизменно равна 0°C ; в — при положительной температуре вода находится в жидком состоянии



Рис. 11.2. В морозильной камере вода кристаллизуется, превращаясь в лед

поставить сосуд с водой в морозильную камеру, то вода со временем кристаллизуется — превратится в лед (рис. 11.2).

Кристаллизация — это процесс перехода вещества из жидкого состояния в твердое кристаллическое.

Измеряя температуру веществ в процессе их охлаждения и последующей кристаллизации, приходим к выводам:

- 1) процесс кристаллизации начинается только после охлаждения жидкости до определенной для этой жидкости температуры;
- 2) в процессе кристаллизации температура вещества не изменяется;
- 3) температура кристаллизации вещества равна температуре его плавления.

Температуры плавления (кристаллизации) разных веществ довольно сильно отличаются. Так, температура плавления спирта равна $-115\text{ }^{\circ}\text{C}$, льда — $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; сталь плавится при температуре $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$, свинец — при $327\text{ }^{\circ}\text{C}$, а чтобы расплавить вольфрам, его нужно нагреть до огромной температуры $3387\text{ }^{\circ}\text{C}$.

? Надеемся, теперь вы легко сможете объяснить, почему кусок свинца можно расплавить в стальной ложке, а кусок стали в свинцовой ложке — нельзя.

Температура плавления (кристаллизации) — это характеристика вещества, ее определяют экспериментально и заносят в таблицы (см. табл. 2 Приложения). В таких таблицах нет аморфных веществ, ведь они, как вы уже знаете, не имеют определенной температуры плавления: нагреваясь, аморфные вещества постепенно размягчаются, а в ходе охлаждения постепенно затвердевают. Далее, изучая процессы плавления и кристаллизации, мы будем рассматривать только кристаллические вещества.

2 Строим график плавления и кристаллизации вещества

Для более детального изучения процессов плавления и кристаллизации рассмотрим график зависимости температуры кристаллического вещества (льда) от времени его нагревания и последующего охлаждения (рис. 11.3).

На момент начала наблюдения (точка А) температура льда равна $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. В результате работы нагревателя температура льда увеличивается (участок АВ). С точки зрения молекулярно-кинетической теории в данный интервал времени увеличивается кинетическая энергия колебательного движения молекул воды в узлах кристаллической решетки льда.

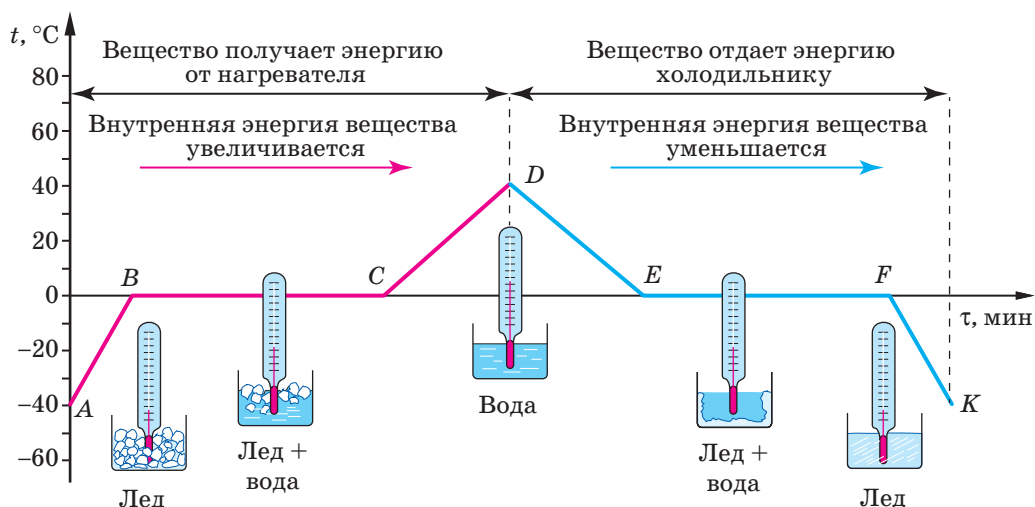


Рис. 11.3. График плавения льда и кристаллизации воды. График будет иметь такую симметричность, если количество теплоты, которую каждую минуту получает лед, а затем вода при работе нагревателя, будет равно количеству теплоты, которую каждую минуту отдает это же вещество во время работы холодильника

После достижения температуры $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ лед начинает плавиться, а его температура не изменяется несмотря на то, что нагреватель продолжает работать и передавать льду некоторое количество теплоты (участок BC). Вся энергия, поступающая от нагревателя, идет на разрушение кристаллической решетки льда. В данный интервал времени внутренняя энергия льда продолжает увеличиваться.

После того как весь лед расплавился и превратился в воду (точка C), температура воды начинает увеличиваться (участок CD), то есть начинает возрастать кинетическая энергия движения молекул.

В момент, когда температура достигла $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (точка D), нагреватель выключили. Воду поместили в холодильник, и ее температура начала снижаться (участок DE). Снижение температуры свидетельствует о том, что кинетическая энергия, а значит, скорость движения молекул уменьшаются.

При достижении температуры кристаллизации $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (точка E), скорость движения молекул уменьшается настолько, что они уже не могут перепрыгивать с места на место. Молекулы постепенно занимают фиксированные положения (участок EF), и к моменту завершения кристаллизации они уже все колеблются в узлах кристаллической решетки. Вода переходит в состояние с меньшей внутренней энергией — полностью превращается в лед (точка F).

Во время дальнейшей работы холодильника замерзшая вода (лед) остывает, а кинетическая энергия колебательного движения молекул уменьшается (участок FK).

3

Убеждаемся, что процессы плавления и кристаллизации невозможны без передачи энергии

Если поместить снег в холодильную камеру, температура в которой неизменна и равна $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, выяснится следующее.

Как и в опыте с таянием снега в теплой комнате (см. рис. 11.1), температура снега будет сначала увеличиваться (правда, медленнее). Ведь температура в камере выше температуры снега, поэтому более теплый воздух в камере отдает энергию более холодному снегу. Увеличение температуры снега будет продолжаться до тех пор, пока его температура не достигнет $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. И тут начинается самое интересное. Температура снега достигла температуры плавления, а снег не тает. Почему?

Вспомните: опыт, представленный на рис. 11.1, проводился в теплой комнате (то есть при температуре выше $0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Следовательно, в течение всего времени наблюдения происходил теплообмен между воздухом в комнате и снегом. При этом все время снег *получал* энергию, в частности и тогда, когда его температура оставалась неизменной. И снег таял. А вот в опыте с холодильной камерой температура плавления снега и температура воздуха в холодильной камере одинаковы, поэтому теплообмен не происходит. Снег *не получает энергию*, следовательно, и *не тает*.

Если в холодильную камеру, температура в которой $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, поместить теплую воду, то понятно, что вода будет охлаждаться (теплая вода будет отдавать энергию воздуху в камере). Однако после достижения температуры $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ вода не будет кристаллизоваться, поскольку теперь, чтобы перейти в состояние с меньшей внутренней энергией, ей нужно отдать окружающей среде некоторое количество теплоты, а в случае теплового равновесия теплообмен не происходит.



Подводим итоги

Тепловой процесс перехода вещества из твердого состояния в жидкое называют плавлением. В процессе плавления температура кристаллического вещества не изменяется.

При одинаковой температуре внутренняя энергия вещества в жидком состоянии больше внутренней энергии этого вещества в твердом состоянии.

Чтобы перевести вещество из твердого состояния в жидкое, необходимо выполнение двух условий: во-первых, нужно нагреть вещество до температуры плавления; во-вторых, вещество должно получать энергию и во время плавления.

Тепловой процесс перехода вещества из жидкого состояния в твердое кристаллическое называют кристаллизацией. Температура кристаллизации вещества равна температуре его плавления.

Чтобы вещество перевести из жидкого состояния в кристаллическое, должны быть выполнены два условия: во-первых, жидкость нужно охладить до температуры кристаллизации; во-вторых, вещество должно отдавать энергию и во время кристаллизации.



Контрольные вопросы

1. Какой процесс называют плавлением? 2. Как изменяется температура вещества в процессе плавления? 3. Какой процесс называют кристаллизацией? 4. Сравните температуры плавления (кристаллизации) разных веществ. 5. Будет ли таять лед в холодильнике, температура в котором равна $0\text{ }^{\circ}\text{C}$? А будет ли кристаллизоваться при такой температуре вода? 6. Опишите процессы, происходящие при плавлении льда и кристаллизации воды.



Упражнение № 11

1. Почему нить накала электрической лампы изготавливают из вольфрама?
2. На рис. 1 приведен график плавления и кристаллизации некоторого вещества. Какому состоянию вещества соответствуют точки A, B, C и D графика?
3. На рис. 2 представлены графики плавления некоторых веществ. Какое вещество имеет большую температуру плавления? Какое вещество в начале опыта имело более высокую температуру? Воспользовавшись табл. 2 Приложения, определите, о каких веществах идет речь.

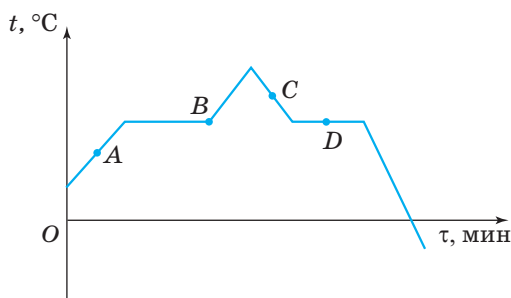


Рис. 1

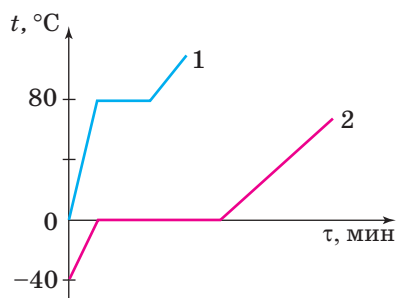


Рис. 2

4. В ведре с водой плавают куски льда. Будет ли таять лед? Будет ли вода замерзать? От чего это зависит?
5. Воспользуйтесь дополнительными источниками информации и узнайте, когда и почему появляются сосульки.
6. Какие из приведенных физических величин являются характеристикой тела?
а) масса; б) жесткость; в) объем; г) плотность; д) кинетическая энергия; е) удельная теплоемкость.



Экспериментальное задание

«Морозная соль». Смешайте 100 г снега, взятого при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, и 30 г поваренной соли (1 столовая ложка с горкой). Снег начнет быстро таять и охлаждаться. Если в такой раствор опустить кусочек картофеля, то он заморозится. Объясните почему. (Подсказка: температура кристаллизации водного раствора соли ниже, чем температура кристаллизации воды, и зависит от концентрации раствора.)

§ 12. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕНИЯ

На фото изображены кристаллические вещества (сталь и лед) одинаковой массы, находящиеся при температуре, близкой к температуре плавления. Чтобы расплавить эти вещества, им следует передать некоторое количество теплоты. А одинаковое ли количество теплоты необходимо передать льду и стали, чтобы перевести их в жидкое состояние? Выясним.



1

Вводим понятие удельной теплоты плавления вещества

Вы знаете, что при переходе из твердого состояния в жидкое вещество поглощает некоторое количество теплоты и внутренняя энергия вещества увеличивается. Переход же вещества из жидкого состояния в твердое сопровождается выделением теплоты и уменьшением его внутренней энергии.

Изучение процессов плавления и кристаллизации показало, что *количество теплоты, необходимое для плавления определенной массы вещества, равно количеству теплоты, которое выделяется при кристаллизации этого вещества (рис. 12.1).*

Возникает вопрос: одинаковое ли количество теплоты необходимо для плавления разных веществ равной массы? Логично предположить, что не одинаковое, ведь силы взаимодействия между частицами у разных веществ — разные, поэтому понятно, что для разрушения их кристаллических решеток требуется разное количество энергии. И это действительно так. Например, чтобы расплавить 1 кг льда, ему следует передать в 13 раз больше теплоты, чем нужно для плавления 1 кг свинца.

Физическую величину, показывающую, сколько теплоты поглощает 1 кг твердого кристаллического вещества при переходе в жидкость, называют *удельной теплотой плавления*.

Удельная теплота плавления — физическая величина, характеризующая данное вещество и равная количеству теплоты, которую необходимо передать 1 кг этого вещества, взятому в твердом кристаллическом состоянии, чтобы при температуре плавления полностью перевести его в жидкость.

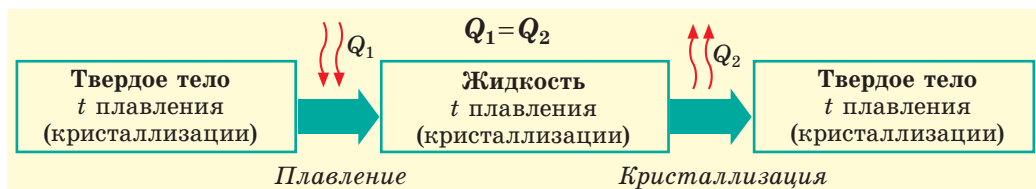


Рис. 12.1. Во время плавления вещество поглощает такое же количество теплоты, какое выделяет при кристаллизации: $Q_1 = Q_2$

Удельную теплоту плавления обозначают символом λ («лямбда») и вычисляют по формуле:

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

где Q — количество теплоты, необходимое для плавления вещества массой m .

Из формулы для определения удельной теплоты плавления получаем ее единицу в СИ — **джоуль на килограмм**:

$$[\lambda] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Удельная теплота плавления показывает, на сколько при температуре плавления внутренняя энергия 1 кг вещества в жидком состоянии больше, чем внутренняя энергия 1 кг этого вещества в твердом состоянии. В этом состоит физический смысл удельной теплоты плавления.

Например, удельная теплота плавления льда равна 332 килоджоуля на килограмм $\left(\lambda = 332 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}\right)$. Это означает: чтобы расплавить 1 кг льда, находящегося при температуре плавления (0°C), следует передать ему 332 килоджоуля теплоты. Такое же количество теплоты (332 кДж) выделится и при кристаллизации 1 кг воды. То есть при температуре 0°C внутренняя энергия 1 кг воды больше внутренней энергии 1 кг льда на 332 кДж.



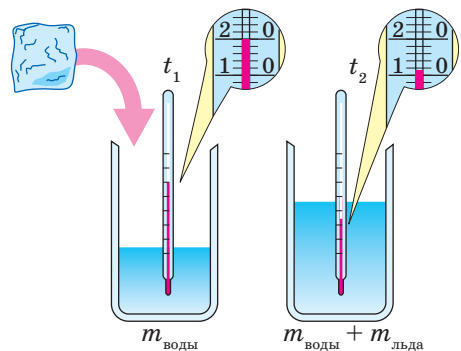
Что означает утверждение: «Удельная теплота плавления стали равна 84 кДж/кг»?

Удельную теплоту плавления определяют опытным путем и заносят в таблицы (см. табл. 3 Приложения).

Определить удельную теплоту плавления тугоплавких веществ (веществ, имеющих высокую температуру плавления) достаточно сложно. А вот удельную теплоту плавления легкоплавких веществ, например льда, вы можете определить даже самостоятельно (рис. 12.2).

Рис. 12.2. Опыт по определению удельной теплоты плавления льда. В калориметр, содержащий известную массу воды $m_{\text{воды}}$ при температуре t_1 , погружают лед при температуре плавления ($t_{\text{пл}} = 0^\circ\text{C}$). Вода будет отдавать тепло и охлаждаться: $Q_{\text{воды}} = c_{\text{воды}} m_{\text{воды}} (t_1 - t_2)$; лед, получая тепло, будет плавиться, а полученная в результате плавления вода — нагреваться: $Q_{\text{льда}} = \lambda m_{\text{льда}} + c_{\text{воды}} m_{\text{льда}} (t_2 - t_{\text{пл}})$. Измерив температуру t_2 и массу m воды после плавления льда и вычислив массу льда ($m_{\text{льда}} = m - m_{\text{воды}}$), определяют удельную теплоту плавления льда:

$$\lambda = \frac{c_{\text{воды}} m_{\text{воды}} (t_1 - t_2) - c_{\text{воды}} m_{\text{льда}} (t_2 - t_{\text{пл}})}{m_{\text{льда}}}$$



2 Вычисляем количество теплоты, необходимое для плавления вещества или выделяющееся при его кристаллизации

Чтобы вычислить количество теплоты, необходимое для плавления кристаллического вещества, взятого при температуре плавления, нужно удельную теплоту плавления этого вещества умножить на его массу:

$$Q = \lambda m,$$

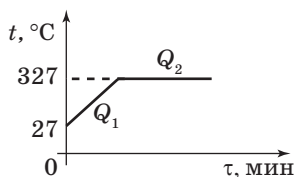
где Q — количество теплоты, которое поглощает твердое кристаллическое вещество; λ — удельная теплота плавления; m — масса вещества. (Действительно, по определению удельной теплоты плавления: $\lambda = \frac{Q}{m}$, отсюда $Q = \lambda m$.)

Понятно, что количество теплоты, выделяющееся при кристаллизации, рассчитывают по этой же формуле.

3 Учимся решать задачи

Задача. Какое количество теплоты необходимо, чтобы расплавить 5 кг свинца, взятого при температуре 27 °С?

Анализ физической проблемы. Чтобы расплавить свинец, его сначала нужно нагреть до температуры плавления. Найдем в табл. 2 Приложения температуру t_2 плавления свинца и построим схематический график процесса.



Искомое количество теплоты Q будет равно сумме количества теплоты Q_1 , необходимого для нагревания свинца до температуры плавления, и количества теплоты Q_2 , необходимого для плавления. Удельную теплоемкость c и удельную теплоту плавления λ свинца найдем соответственно в табл. 1 и 3 Приложения.

Дано:

$$m = 5 \text{ кг}$$

$$t_1 = 27 \text{ °С}$$

$$t_2 = 327 \text{ °С}$$

$$c = 140 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$$

$$\lambda = 25 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$= 25\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Найти:

Q — ?

Поиск математической модели, решение

$$Q = Q_1 + Q_2; \quad (1)$$

$$Q_1 = cm(t_2 - t_1) \text{ — нагревание}; \quad (2)$$

$$Q_2 = \lambda m \text{ — плавление}. \quad (3)$$

Подставив формулы (2) и (3) в формулу (1), окончательно получим:

$$Q = cm(t_2 - t_1) + \lambda m.$$

Проверим единицу, найдем значение искомой величины:

$$[Q] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}} \cdot \text{кг} \cdot \text{°С} + \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot \text{кг} = \text{Дж} + \text{Дж} = \text{Дж};$$

$$Q = 140 \cdot 5 \cdot (327 - 27) + 25\,000 \cdot 5 = 335\,000 \text{ (Дж)}.$$

Ответ: $Q = 335 \text{ кДж}$.



Подводим итоги

Физическая величина, характеризующая данное вещество и равная количеству теплоты, которое необходимо передать 1 кг этого вещества в твердом кристаллическом состоянии, чтобы при температуре плавления полностью перевести его в жидкость, называется удельной теплотой плавления.

Удельную теплоту плавления обозначают символом λ и вычисляют по формуле $\lambda = \frac{Q}{m}$; ее единица в СИ — джоуль на килограмм $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Количество теплоты, необходимое для плавления вещества, взятого при температуре плавления, равно количеству теплоты, выделяющемуся при кристаллизации этого вещества. Данное количество теплоты вычисляют по формуле $Q = \lambda m$.



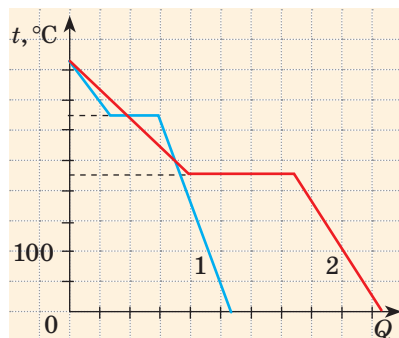
Контрольные вопросы

1. От чего зависит количество теплоты, выделяющееся при кристаллизации вещества? 2. Что называют удельной теплотой плавления вещества? 3. Каков физический смысл удельной теплоты плавления? 4. Как вычислить количество теплоты, необходимое для плавления вещества или выделяющееся при его кристаллизации?



Упражнение № 12

1. Какое количество теплоты необходимо, чтобы расплавить 500 г меди, взятой при температуре плавления?
2. Какое тело имеет большую внутреннюю энергию и на сколько: алюминиевый брусок массой 1 кг, взятый при температуре плавления, или 1 кг расплавленного алюминия при той же температуре?
3. Какое количество теплоты выделится при кристаллизации и последующем охлаждении 100 кг стали, если начальная температура стали 1400 °С, конечная — 0 °С.
4. Определите количество теплоты, которое нужно передать льду массой 25 г, взятому при температуре -15 °С, чтобы перевести его в воду при температуре 10 °С.
5. В горячую воду положили лед, масса которого равна массе воды. После того как весь лед растаял, температура воды снизилась до 0 °С. Определите начальную температуру воды, если начальная температура льда 0 °С?
6. На рисунке изображены графики зависимости температуры от количества теплоты, выделяемой в процессе кристаллизации, для двух веществ одинаковой массы. У какого вещества выше температура плавления? больше удельная теплота плавления? больше удельная теплоемкость в жидком состоянии?



7. Свинцовый шар, двигавшийся со скоростью 300 м/с, ударился о металлическую пластину и остановился. Какая часть свинца расплавилась, если считать, что свинец полностью поглотил энергию, которая выделилась при ударе? Начальная температура шара 27 °С.



8. В сосуд, на дне которого намерз лед, налили воды. Изменится ли уровень воды в сосуде после того, как весь лед растает? Если изменится, то как?



Экспериментальное задание

Воспользуйтесь рис. 12.2 и запишите план проведения эксперимента по определению удельной теплоты плавления льда. Какое оборудование нужно для эксперимента? По возможности проведите этот эксперимент.

Подсказка: если лед, который уже начал таять, тщательно промокнуть салфеткой, он почти не будет содержать жидкости, а его температура будет равна 0 °С.



§ 13. ИСПАРЕНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ

Почему, выходя из реки в жаркий летний день, мы ощущаем прохладу? Куда исчезают лужи после дождя? Для чего в жару собака высовывает язык? Почему, если нужно остудить руки, мы на них дуем, а если хотим согреть — дышим? И таких вопросов можно поставить множество. В этом параграфе вы найдете ответы на некоторые из них.

1

Знакомимся с процессом испарения

Любое вещество может переходить из одного агрегатного состояния в другое. При определенных условиях твердое тело может превратиться в жидкость, жидкость может снова затвердеть или превратиться в газ.

Процесс перехода вещества из жидкого состояния в газообразное называют **парообразованием**.

Есть два способа парообразования: *испарение* и *кипение*. Знакомство с парообразованием начнем с процесса испарения.

Если разлить воду, то через некоторое время лужа исчезнет; вещи, намокшие под дождем, обязательно высохнут; даже масляный след, оставшийся на асфальте от неисправного автомобиля, со временем становится почти незаметным. Все эти явления можно объяснить испарением жидкости.

Испарение — это процесс парообразования со свободной поверхности жидкости*.

* Процесс парообразования происходит и с поверхности твердых тел (вы, наверное, чувствовали запах нафталина, замечали, что во время сильных морозов куда-то исчезают замерзшие лужи и т. д.). Этот процесс называют *сублимацией*.

2 Объясняем процесс испарения и делаем выводы

Рассмотрим процесс испарения с точки зрения молекулярно-кинетической теории. Молекулы жидкости непрерывно движутся, постоянно изменяя как значение, так и направление скорости своего движения. Среди молекул поверхностного слоя жидкости всегда есть такие, которые «пытаются» покинуть ее. Молекулы, которые в определенный момент движутся медленно, не смогут преодолеть притяжение соседних молекул и останутся в жидкости. Но если вблизи поверхности окажется «быстрая» молекула, то ее кинетической энергии будет достаточно, чтобы преодолеть силы межмолекулярного притяжения и вылететь за пределы жидкости (рис. 13.1).

Ознакомившись с механизмом испарения, можно сделать несколько выводов.

Во-первых, тот факт, что в жидкости всегда есть молекулы, движущиеся сравнительно быстро, позволяет утверждать, что *испарение жидкости происходит при любой температуре*.

Во-вторых, поскольку в процессе испарения жидкость покидают самые быстрые молекулы, то средняя кинетическая энергия оставшихся молекул уменьшается. Поэтому, *если жидкость не получает энергии извне, она охлаждается*.

Кроме того, при испарении выполняется работа против сил межмолекулярного притяжения и против сил внешнего давления, поэтому *процесс испарения сопровождается поглощением энергии* (рис. 13.2).

3 Выясняем, от чего зависит скорость испарения

Чем выше температура жидкости, тем быстрее жидкость испаряется: с увеличением температуры жидкости увеличивается число «быстрых» молекул, поэтому все больше молекул могут преодолеть силы межмолекулярного притяжения и вылететь за пределы жидкости.

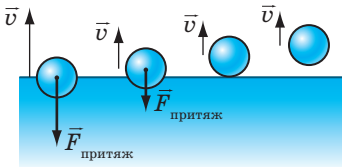


Рис. 13.1. Молекула, вылетающая из жидкости, должна преодолеть силы межмолекулярного притяжения, которые тянут ее обратно в жидкость



Рис. 13.2. После купания на теле человека остаются капельки жидкости. Испаряясь, жидкость поглощает энергию, и человек ощущает прохладу даже в жаркий день



Рис. 13.3. К вопросу в §13



Рис. 13.4. С увеличением площади свободной поверхности жидкости (чай перелит из чашки в блюдце) скорость испарения увеличивается. А так как при испарении чай теряет энергию, он быстрее остывает (Б. М. Кустодиев «Купчиха за чаем»)



Рис. 13.5. Демонстрация зависимости скорости испарения от рода жидкости. Через минуту фигурка, нарисованная спиртом, полностью исчезнет; фигурка, нарисованная водой, останется частично; испарение растительного масла будет почти незаметным

? Чтобы высушить вещи, мы иногда кладем их на горячую батарею (рис. 13.3) или гладим. Почему в таких случаях вещи высыхают сравнительно быстро?

Обратим внимание еще на один момент. Стараясь быстро высушить одежду, мы не положим ее на батарею комом, а расправим, так как из опыта знаем, что смятая одежда высыхает намного медленнее. Почему? Потому что *скорость испарения зависит от площади свободной поверхности жидкости*: чем больше площадь поверхности жидкости, тем больше на этой поверхности «быстрых» молекул и тем быстрее жидкость испаряется (рис. 13.4).

Нарисуем на стекле или классной доске три фигурки. Одну нарисуем салфеткой, смоченной в спирте, вторую — салфеткой, смоченной в воде, третью — салфеткой, смоченной в растительном масле (рис. 13.5). «Спиртовая» фигурка мгновенно испарится, «водяная» продержится немного дольше, а вот «масляная» будет радовать нас несколько дней. Дело в том, что у разных жидкостей силы притяжения между молекулами разные, а значит, *скорость испарения зависит от рода жидкости*. Очевидно, что медленнее испаряются те жидкости, молекулы которых сильнее взаимодействуют друг с другом.

Жизненный опыт также подсказывает, что *скорость испарения зависит от движения воздуха*. Действительно, чтобы быстрее высушить волосы, мы переключаем фен на более мощный режим (рис. 13.6); чтобы охладить обожженную руку, дуем на нее; белье, вывешенное на ветру, сохнет быстрее, чем в безветренном месте. Такую зависимость тоже легко объяснить с точки зрения движения и взаимодействия молекул. Около поверхности жидкости всегда существует «облако» молекул, вылетевших из нее (рис. 13.7). Эти молекулы хаотично движутся, сталкиваются друг с другом и с молекулами других газов, входящих в состав воздуха. В результате молекула жидкости может так близко подлететь

к ее поверхности, что будет «захвачена» силами межмолекулярного взаимодействия и возвращена в жидкость. А если есть ветер, то он относит молекулы, вылетевшие из жидкости, и не дает им возможности вернуться.

Если бы молекулы, покидая жидкость, совсем не возвращались в нее, то скорость испарения была бы огромной. Например, при комнатной температуре полный стакан воды испарился бы за 4 минуты, ведь при этих условиях с 1 см^2 воды каждую секунду вылетает 10^{21} молекул.



Рис. 13.6. Скорость испарения зависит от движения воздуха

4 Знакомимся с процессом конденсации

Молекулы постоянно вылетают из жидкости, и некоторые из них возвращаются. Таким образом, наряду с испарением, в ходе которого жидкость преобразуется в пар, существует обратный процесс, при котором вещество из газообразного состояния переходит в жидкое.

Процесс перехода вещества из газообразного состояния в жидкое называют **конденсацией**.

Процесс конденсации (от латин. *condensatio* — сгущение, уплотнение) воды в природе мы наблюдаем каждый день. Так, летним утром на листьях растений мы видим прозрачные капельки росы (рис. 13.8, а). Это сконденсировавшийся водяной пар, который днем вследствие испарения скапливается в воздухе, а ночью, охлаждаясь, конденсируется.

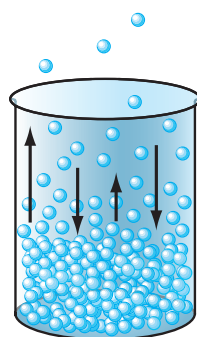


Рис. 13.7. Многие молекулы, покинувшие жидкость, могут вернуться в нее вследствие теплового движения

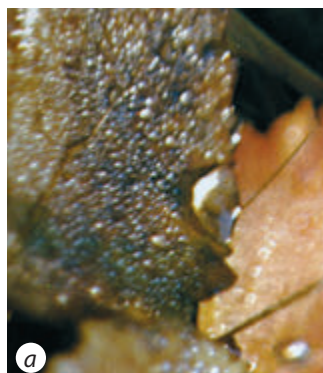


Рис. 13.8. Проявление конденсации в природе: выпадение росы (а); образование облаков (б); появление тумана (в)

Когда влажный воздух поднимается в высокие слои атмосферы, то, охлаждаясь, он образует *облака* (рис. 13.8, б). Облака состоят из мелких капелек воды, образовавшихся вследствие конденсации водяного пара. Из таких же мелких капелек воды состоит и *туман*, который образуется в результате охлаждения влажного воздуха у поверхности Земли (рис. 13.8, в). Поскольку *процесс конденсации сопровождается выделением энергии*, образование тумана сдерживает снижение температуры воздуха.



Подводим итоги

Тепловой процесс перехода вещества из жидкого состояния в газообразное называют парообразованием. Процесс парообразования со свободной поверхности жидкости называют испарением.

Испарение происходит при любой температуре, и оно тем интенсивнее, чем выше температура жидкости. Скорость испарения увеличивается также с увеличением площади свободной поверхности жидкости и вследствие движения воздуха вблизи этой поверхности. Кроме того, интенсивность испарения зависит от рода жидкости.

Тепловой процесс перехода вещества из газообразного состояния в жидкое называют конденсацией.

Испарение происходит с поглощением энергии. Конденсация, наоборот, сопровождается выделением энергии.



Контрольные вопросы

1. Что такое парообразование? 2. Какие способы парообразования вы знаете? 3. Что такое испарение? 4. От каких факторов и почему зависит скорость испарения? Приведите примеры. 5. Что такое конденсация? Приведите примеры конденсации в природе.



Упражнение № 13

1. Когда лужи после дождя высыхают быстрее — в теплую или прохладную погоду? Почему?
2. Почему после смачивания руки спиртом ощущение холода сильнее, чем после смачивания водой?
3. Оставаясь продолжительное время в мокрой одежде или обуви, можно простудиться. Почему?
4. Для чего в жару собака высовывает язык?
5. Находясь на улице в морозный день, вы можете наблюдать «пар», идущий изо рта. Что вы видите на самом деле?
6. Весной, когда интенсивно тает снег, над полями иногда образуется туман. После его рассеяния можно заметить, что количество снега значительно уменьшилось. В народе говорят: «Весенний туман снег съедает». Объясните это утверждение с точки зрения физики.

7. Более 4500 лет тому назад египтяне использовали кувшины, в которых вода оставалась прохладной даже в жаркий день. В средние века охлаждающие кувшины (алькарацца) были распространены у народов Юга. В конце XX в. похожее изобретение сделал житель Нигерии Мохаммед Ба Абба. Его «холодильник» называют «pot-in-pot» («горшок в горшке»), он работает без электричества и позволяет дополнительное время сохранять продукты (см. рисунок). Воспользуйтесь дополнительными источниками информации и узнайте об охлаждающих сосудах больше. Подготовьте сообщение.



Экспериментальное задание

Возьмите хорошо увлажненную и отжатую хлопчатобумажную салфетку, положите ее на блюдце, а блюдце поставьте в морозильную камеру. Убедитесь, что через некоторое время салфетка затвердеет, а через несколько дней высохнет. Воспользуйтесь дополнительными источниками информации и подготовьте отчет об испарении твердых тел.

Физика и техника в Украине



Михаил Петрович Авенариус (1835–1895) в течение 1865–1891 гг. работал в Киевском университете. Ученый стал основателем и руководителем киевской школы физиков-экспериментаторов — первой физической школы в Украине.

Основные научные работы М. П. Авенариуса касаются термоэлектрических явлений и молекулярной физики. Ученый предложил и обосновал одну из основных формул термоэлектричества (*закон Авенариуса*). В области молекулярной физики М. П. Авенариус изучал жидкое и газообразное состояния веществ при изменении температуры и давления. В течение 1873–1877 гг. М. П. Авенариус вместе со своими учениками измерил критические температуры многих веществ, вошедшие в физические справочники того времени. Ученый первым указал на то, что в критической точке удельная теплота испарения равна нулю; предложил оригинальную систему распределения переменных токов, был инициатором изучения солнечной радиации и атмосферного электричества.

Усовершенствованная Авенариусом система освещения демонстрировалась на Парижской электротехнической выставке в 1881 г., где получила серебряную медаль, а сам Михаил Петрович был награжден высшей наградой Французской Республики — орденом Почетного Легиона.



§ 14. КИПЕНИЕ. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПАРООБРАЗОВАНИЯ

До какой температуры можно нагреть воду? Есть ли смысл увеличивать мощность нагревателя, чтобы ускорить приготовление еды? Как закипятить воду с помощью снега? На все эти вопросы вы сможете ответить после изучения данного параграфа.

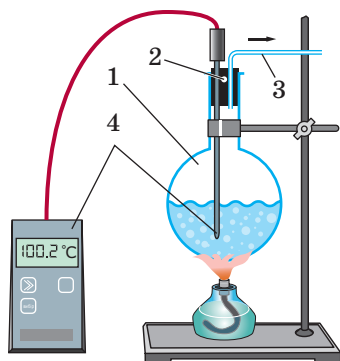


Рис. 14.1. Устройство для наблюдения и изучения процесса кипения жидкости: 1 — стеклянная колба; 2 — резиновая пробка с отверстиями; 3 — трубка для отвода водяного пара; 4 — термометр

1 Знакомимся с процессом кипения

Проведем эксперимент. Закрепим колбу с водой в лапке штатива. Плотнo закупорим колбу пробкой с двумя отверстиями. В одно отверстие поместим трубку для выхода пара, во второе — термометр (рис. 14.1). Начнем нагревать воду в колбе.

Через некоторое время дно и стенки колбы покроются *пузырьками* (рис. 14.2, а), образованными водяным паром и растворенными в воде газами*. Дело в том, что с увеличением температуры растворимость газов уменьшается, и «лишний» газ выделяется внутрь пузырьков. С увеличением температуры давление газов в пузырьках повышается, и как только оно превысит внешнее давление, пузырьки начинают расти.

После достижения каждым пузырьком определенного объема *архимедова сила* отрывает пузырек от дна сосуда и он поднимается (рис. 14.2, б). На местах оторвавшихся пузырьков остается небольшое количество газа — *зародыши новых пузырьков*.

Верхние слои воды некоторое время холоднее нижних, поэтому в верхних слоях водяной пар в пузырьках конденсируется и пузырьки резко уменьшаются в объеме — схлопываются. Процесс сопровождается шумом и образованием многочисленных мелких пузырьков. Вода становится мутной — говорят, что она «кипит белым ключом».

Когда вся жидкость прогреется (температуры верхних и нижних слоев сравняются), пузырьки, поднимаясь, уже не будут уменьшаться в объеме, а наоборот, будут увеличиваться, *ведь внутри пузырьков активно*

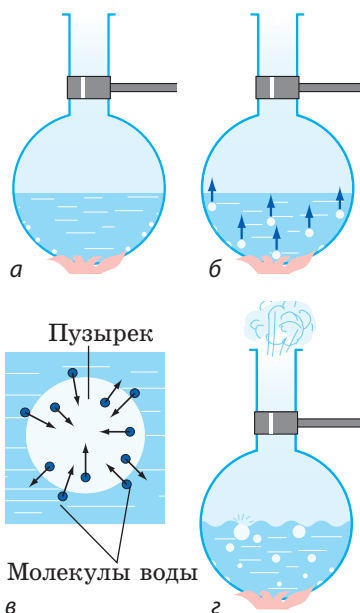


Рис. 14.2. Наблюдение процесса закипания воды

* На самом деле микропузырьки газа в жидкости есть всегда, но заметными они становятся только при достаточно высокой температуре.

испаряется вода (рис. 14.2, в). Достигая поверхности воды, пузырьки лопаются и выбрасывают наружу значительное количество водяного пара (рис. 14.2, г). Вода при этом бурлит и клокочет — мы говорим, что она закипела. Термометр в этот момент показывает $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Кипение — это процесс парообразования, происходящий во всем объеме жидкости и сопровождающийся образованием и ростом пузырьков пара.

2 Выясняем, от чего зависит температура кипения

Продолжим эксперимент (см. пункт 1). Будем нагревать уже кипящую воду и наблюдать за показаниями термометра. Увидим, что столбик термометра застыл на отметке $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Следовательно, во время кипения температура жидкости не изменяется.

Температуру, при которой жидкость кипит, называют **температурой кипения**.

❓ Почему после закипания жидкости во время приготовления еды (рис. 14.3) целесообразно уменьшить мощность нагревателя?

Выясним, от чего зависит температура кипения жидкости. Для начала уменьшим выход пара из колбы, крепко зажав трубку, отводящую пар (рис. 14.4). Пар будет собираться над поверхностью воды, давление над жидкостью увеличится, кипение на некоторое время прекратится, а температура жидкости начнет повышаться. Следовательно, с увеличением внешнего давления температура кипения жидкости возрастает (рис. 14.5).

Если в колбу налить теплую воду и насосом начать откачивать из колбы воздух, спустя некоторое время на внутренней поверхности колбы появятся пузырьки газа. Если продолжать откачивать воздух, вода закипит, но уже при температуре ниже $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 14.6). С уменьшением внешнего давления температура кипения жидкости снижается.



Рис. 14.3. К вопросу в § 14

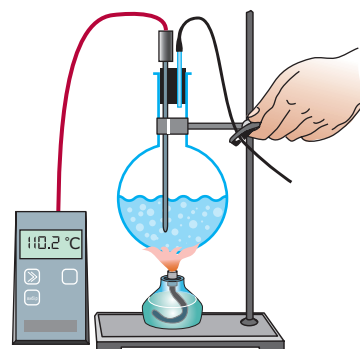


Рис. 14.4. Если зажать трубку для отведения пара, давление в колбе увеличивается, и это приводит к повышению температуры кипения жидкости



Рис. 14.5. Кастрюля-скороварка: благодаря клапанам и герметичной крышке поддерживается высокое давление в пространстве над жидкостью, поэтому температура кипения воды в такой кастрюле около $120\text{ }^{\circ}\text{C}$

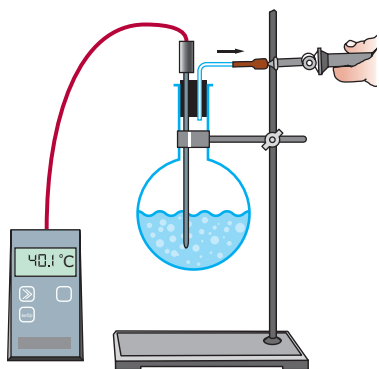


Рис. 14.6. Наблюдение снижения температуры кипения воды при уменьшении внешнего давления

Наблюдая кипение других жидкостей, например спирта, масла, эфира, можно заметить, что при одинаковом давлении они кипят при разных температурах, которые отличаются от температуры кипения воды. То есть *температура кипения зависит от рода жидкости*. О температуре кипения некоторых жидкостей при нормальном атмосферном давлении вы можете узнать из табл. 4 Приложения.

Температура кипения зависит также от наличия в жидкости растворенного газа. Если долго кипятить воду и таким образом удалить растворенный в ней газ, то повторно при нормальном давлении эту воду можно нагреть до температуры, превышающей 100 °С. Такую воду называют *перегретой**.

3 Вводим понятие удельной теплоты парообразования

Кипение — это переход жидкости в пар, и этот процесс идет с поглощением энергии. Поэтому *для поддержания кипения к жидкости необходимо подводить тепло*. Эта энергия идет на разрыв межмолекулярных связей и парообразование.

Опыты показывают: *количество теплоты, необходимое для перевода жидкости в пар, зависит от рода жидкости*.

Удельная теплота парообразования — это физическая величина, характеризующая данное вещество и равная количеству теплоты, которую необходимо передать жидкости массой 1 кг, чтобы при неизменной температуре перевести ее в пар.

Удельную теплоту парообразования обозначают символом r^{**} и вычисляют по формуле:

$$r = \frac{Q}{m},$$

где Q — количество теплоты, полученное жидкостью; m — масса образовавшегося пара.

Из формулы для определения удельной теплоты парообразования получаем единицу этой величины в СИ — **джоуль на килограмм**:

$$[r] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Удельную теплоту парообразования определяют опытным путем (рис. 14.7) и заносят в таблицы (см. табл. 5 Приложения).

* Аналогично при отсутствии центров кристаллизации можно получить *переохлажденную воду*, температура которой меньше 0 °С.

** Для обозначения удельной теплоты парообразования используют также символ L .

4 Вычисляем количество теплоты, необходимое для парообразования или выделяющееся при конденсации

Чтобы вычислить количество теплоты, необходимое для превращения жидкости в пар при неизменной температуре, нужно удельную теплоту парообразования данной жидкости умножить на ее массу:

$$Q = rm,$$

где Q — количество теплоты, полученное жидкостью; r — удельная теплота парообразования; m — масса жидкости (то есть масса образовавшегося пара). (Действительно, по определению удельной теплоты парообразова-

ния: $r = \frac{Q}{m}$, откуда $Q = rm$.)

Если перед трубкой для отведения пара поместить холодный предмет, то пар будет конденсироваться на нем (рис. 14.8). Точные измерения показывают, что при конденсации пара выделяется такое же количество теплоты, какое было затрачено на образование этого пара.

5 Учимся решать задачи

Задача 1. Какое количество теплоты необходимо для того, чтобы довести до кипения и полностью испарить 3 кг воды, взятой при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Анализ физической проблемы. Построим схематический график зависимости температуры воды от времени нагревания (рис. 14.9).

В первый момент температура воды (t_0) была $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ — точка O на графике. В ходе нагревания температура воды будет увеличиваться прямо пропорционально количеству полученной теплоты Q_1 , а значит, и времени нагревания (участок OA).

Достигнув температуры кипения, то есть $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, вода закипит, и ее температура не будет изменяться до тех пор, пока вода полностью не испарится (участок AB графика).

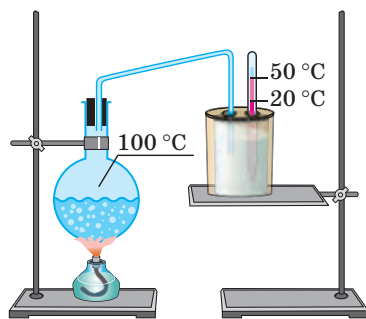


Рис. 14.7. Опыт по определению удельной теплоты парообразования воды (см. задачу 2 в пункте 5 § 14)

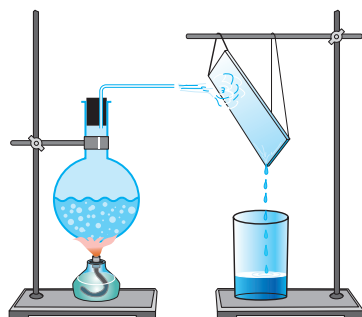


Рис. 14.8. Опыт, демонстрирующий конденсацию пара

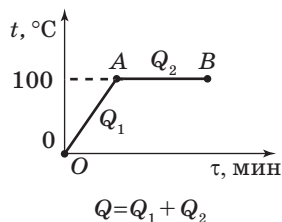


Рис. 14.9. К задаче 1 в § 14

Вода при этом получает некоторое количество теплоты Q_2 . Удельную теплоемкость c воды и удельную теплоту парообразования r найдем соответственно в табл. 1 и 5 Приложения.

Дано: $m = 3 \text{ кг}$ $t_0 = 0^\circ\text{C}$ $t = 100^\circ\text{C}$ $c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ $r = 2,3 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}} =$ $= 2,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	<i>Поиск математической модели, решение</i> $Q_1 = cm(t - t_0) \text{ — нагревание воды;} \quad (1)$ $Q_2 = rm \text{ — парообразование;} \quad (2)$ $Q = Q_1 + Q_2 \text{ — общее количество теплоты.} \quad (3)$ Подставив формулы (1) и (2) в формулу (3), получим: $Q = cm(t - t_0) + rm.$ Проверим единицу, найдем значение искомой величины: $[Q] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot \text{кг} \cdot ^\circ\text{C} + \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot \text{кг} = \text{Дж} + \text{Дж} = \text{Дж};$ $Q = 4200 \cdot 3 \cdot (100 - 0) + 2,3 \cdot 10^6 \cdot 3 = 8\,160\,000 \text{ (Дж).}$ Ответ: $Q = 8,16 \text{ МДж.}$
Найти: $Q \text{ — ?}$	

Задача 2. Во время опыта по определению удельной теплоты парообразования воды водяной пар, имеющий температуру 100°C , поступал в калориметр, в котором находилось 500 г воды при температуре 20°C (см. рис. 14.7). После окончания опыта температура воды в калориметре достигла 50°C , а ее масса увеличилась на 25 г . По данным опыта вычислите удельную теплоту парообразования воды. Считайте, что теплообмен воды с калориметром и окружающей средой отсутствует.

Дано: $t_1 = 100^\circ\text{C}$ $m_{\text{воды}} = 500 \text{ г} =$ $= 0,5 \text{ кг}$ $t_2 = 20^\circ\text{C}$ $t = 50^\circ\text{C}$ $m_{\text{пара}} = 25 \text{ г} =$ $= 0,025 \text{ кг}$ $c_{\text{воды}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	<i>Анализ физической проблемы, поиск математической модели, решение.</i> Во время опыта происходит теплообмен между водой в калориметре и паром. <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <i>Отдает энергию</i> водяной пар • сначала конденсируется: $Q_1 = rm_{\text{пара}};$ • полученная вода охлаждается: $Q_2 = c_{\text{воды}} m_{\text{пара}} (t_1 - t).$ </td><td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <i>Получает энергию</i> вода в калориметре • нагревается: $Q_3 = c_{\text{воды}} m_{\text{воды}} (t - t_2).$ </td></tr> </table> По условию теплообмен с окружающей средой отсутствует, поэтому: $Q_1 + Q_2 = Q_3,$ или $rm_{\text{пара}} + c_{\text{воды}} m_{\text{пара}} (t_1 - t) = c_{\text{воды}} m_{\text{воды}} (t - t_2).$	<i>Отдает энергию</i> водяной пар • сначала конденсируется: $Q_1 = rm_{\text{пара}};$ • полученная вода охлаждается: $Q_2 = c_{\text{воды}} m_{\text{пара}} (t_1 - t).$	<i>Получает энергию</i> вода в калориметре • нагревается: $Q_3 = c_{\text{воды}} m_{\text{воды}} (t - t_2).$
<i>Отдает энергию</i> водяной пар • сначала конденсируется: $Q_1 = rm_{\text{пара}};$ • полученная вода охлаждается: $Q_2 = c_{\text{воды}} m_{\text{пара}} (t_1 - t).$	<i>Получает энергию</i> вода в калориметре • нагревается: $Q_3 = c_{\text{воды}} m_{\text{воды}} (t - t_2).$		
Найти: $r \text{ — ?}$			

Отсюда найдем удельную теплоту парообразования воды:

$$rm_{\text{пара}} = c_{\text{воды}} m_{\text{воды}} (t - t_2) - c_{\text{воды}} m_{\text{пара}} (t_1 - t) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow r = \frac{c_{\text{воды}} m_{\text{воды}} (t - t_2) - c_{\text{воды}} m_{\text{пара}} (t_1 - t)}{m_{\text{пара}}}.$$

Проверим единицу, найдем значение искомой величины:

$$[r] = \frac{\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot \text{кг} \cdot (^\circ\text{C} - ^\circ\text{C})}{\text{кг}} = \frac{\text{Дж} \cdot ^\circ\text{C}}{^\circ\text{C} \cdot \text{кг}} = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}};$$

$$r = \frac{4200 \cdot 0,5 \cdot 30 - 4200 \cdot 0,025 \cdot 50}{0,025} = 2\,310\,000 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right).$$

Анализ результата. Полученный результат ($r = 2,31 \text{ МДж/кг}$) совпадает с табличным значением, следовательно, задача решена правильно.

Ответ: $r = 2,31 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}.$



Подводим итоги

Процесс парообразования, происходящий во всем объеме жидкости и сопровождающийся образованием и ростом пузырьков пара, называют кипением.

Температура кипения жидкости зависит от внешнего давления, рода жидкости и наличия растворенных в жидкости газов.

Удельная теплота парообразования — физическая величина, характеризующая данное вещество и равная количеству теплоты, которую необходимо передать жидкости массой 1 кг, чтобы при неизменной температуре перевести ее в пар.

Удельную теплоту парообразования вычисляют по формуле $r = \frac{Q}{m}$ и измеряют в джоулях на килограмм: $[r] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$

Количество теплоты, необходимое для перевода жидкости в пар, равно количеству теплоты, которое выделяется при конденсации этого пара. Данное количество теплоты вычисляют по формуле $Q = rm.$



Контрольные вопросы

1. Что такое кипение? 2. Какие явления наблюдаются в жидкости перед тем, как она начинает кипеть? 3. Какая сила «заставляет» пузырек газа подниматься на поверхность жидкости? 4. Изменяется ли температура жидкости во время кипения? 5. От каких факторов зависит температура кипения жидкости? 6. На что тратится энергия, которую поглощает жидкость во время кипения? 7. Что называют удельной теплотой парообразования? 8. По какой формуле можно вычислить количество теплоты, которое поглощается при парообразовании или выделяется при конденсации?



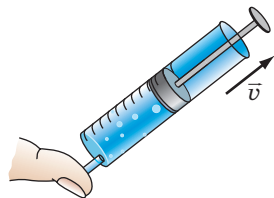
Упражнение № 14

1. Известно, что температура кипения воды на вершине горы Эверест около 70°C . Как вы думаете, почему?
2. Удельная теплота парообразования воды равна $2,3 \text{ МДж/кг}$. Что это означает?
3. Какое количество теплоты необходимо передать воде массой 10 кг , взятой при температуре кипения, чтобы перевести ее в пар?
4. Почему ожог паром опаснее, чем ожог кипятком?
5. На сколько увеличится внутренняя энергия 10 кг льда, взятого при температуре 0°C , в результате превращения его в пар, имеющий температуру 100°C ?
6. В кипящую воду погружена открытая колба с водой. Кипит ли вода в колбе?
7. Воспользовавшись дополнительными источниками информации, узнайте о практическом применении кипения.



Экспериментальные задания

1. В прозрачную стеклянную бутылку осторожно налейте небольшое количество горячей воды. Покачайте воду в бутылке, увеличивая таким образом площадь свободной поверхности воды, а значит, и скорость испарения. Образовавшийся пар вытеснит из бутылки часть воздуха. Плотнo закупорьте бутылку, переверните и охладите ее дно с помощью холодной воды или снега. Вода в бутылке закипит. Объясните наблюдаемое явление.
2. Возьмите одноразовый шприц без иглы и наполовину заполните его теплой водой. Плотнo закройте отверстие пальцем. Медленно тяните поршень и наблюдайте за кипением воды (см. рисунок). Объясните наблюдаемое явление.



Видеоопыт. Посмотрите видеоролик и объясните наблюдаемое явление.



§ 15. ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ ТОПЛИВА. КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ НАГРЕВАТЕЛЯ

Возьмите коробок со спичками, достаньте одну спичку. Перед вами — два холодных твердых тела. Но если потереть головку спички о коробок, спичка вспыхнет. Откуда берется эта энергия? Благодаря выполненной работе? Однако если даже долго и с усилием тереть о коробок спичку другим концом, столько тепла не выделится. Ответы на эти вопросы вы найдете в данном параграфе.



1 Знакомимся с разными видами топлива

Нам часто требуется увеличить температуру какого-либо тела. Так, чтобы в комнате стало теплее, нужно увеличить температуру воды в батареях отопления; чтобы приготовить пищу — температуру воздуха в духовке. Для увеличения температуры люди издавна использовали энергию, которая выделяется во время химической реакции *горения топлива** (см., например, рис. 15.1).

Топливом могут служить как природные вещества (каменный уголь, нефть, торф, дрова, природный газ) (рис. 15.2), так и специально полученные человеком (керосин, бензин, порох, древесный уголь, этиловый спирт и т. д.) (рис. 15.3). Как видим, топливо бывает *твердым* (каменный уголь, торф, дрова, сухое горючее), *жидким* (нефть, керосин, бензин, дизельное топливо) и *газообразным* (природный газ, пропан, бутан).

Для современной цивилизации топливо — необходимое условие существования (рис. 15.4). При работе транспорта, различных механизмов в промышленности и сельском хозяйстве, при обогреве жилья и приготовлении пищи химическая энергия, «запасенная» в топливе, превращается в другие виды энергии.

2 Вводим понятие удельной теплоты сгорания топлива

Топливо отличается друг от друга теплотворной способностью. Убедимся в этом с помощью простого опыта.

На левую чашу весов поставим спиртовку, наполненную спиртом. Над спиртовкой подвесим сосуд с водой, измерив перед этим температуру воды. Уравновесим весы, а затем на левую чашу положим разновес массой 1 г. Равновесие весов нарушится (рис. 15.5, а). Зажжем спиртовку. По мере сгорания спирта

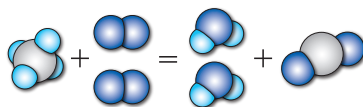


Рис. 15.1. Реакция взаимодействия метана (основной составляющей природного газа) и кислорода сопровождается выделением теплоты:

$$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + Q$$


Рис. 15.2. Дрова — распространенное твердое природное топливо

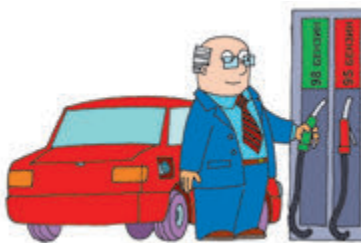


Рис. 15.3. Керосин, бензин, дизельное топливо — это жидкое топливо, полученное человеком

* Заметим, что во время использования *ядерного топлива* энергия выделяется в ходе *ядерных реакций* (подробнее об этом будет идти речь в старших классах).



Рис. 15.4. Для современной цивилизации топливо является необходимым условием существования

масса спиртовки со спиртом будет уменьшаться, и через некоторое время равновесие весов восстановится (это будет означать, что сгорел 1 г спирта) (рис. 15.5, б). В этот момент погасим спиртовку и снова измерим температуру воды.

Повторим опыт, заменив спирт керосином, и убедимся, что в этом случае вода нагреется больше. Это значит, что при сгорании 1 г керосина выделилось больше энергии, чем при сгорании 1 г спирта.

Для количественной характеристики теплотворной способности топлива применяют физическую величину, которая называется *удельная теплота сгорания топлива*.

Удельная теплота сгорания топлива — это физическая величина, которая характеризует данное топливо и численно равна количеству теплоты, выделяющемуся при полном сгорании 1 кг этого топлива.

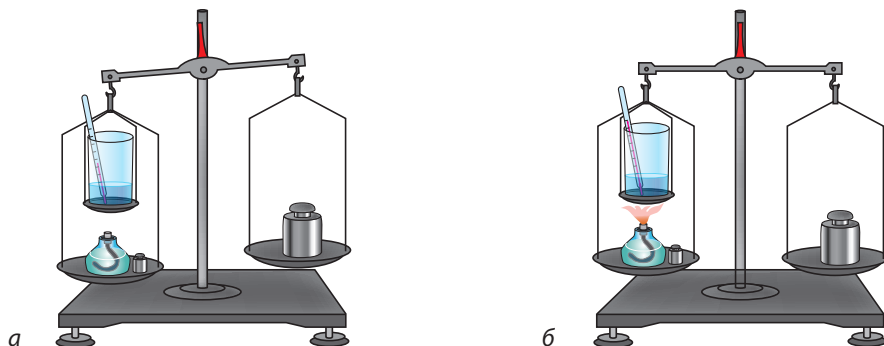


Рис. 15.5. Опыт, позволяющий убедиться в качественном отличии разных видов топлива

Удельную теплоту сгорания топлива обозначают символом q и вычисляют по формуле:

$$q = \frac{Q}{m},$$

где Q — количество теплоты, которое выделяется в ходе полного сгорания топлива массой m .

Из формулы для определения удельной теплоты сгорания топлива получим *единицу этой величины в СИ — джоуль на килограмм*:

$$[q] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Удельную теплоту сгорания разных видов топлива определяют в лабораторных условиях и заносят в таблицы (см. табл. 6 Приложения).

? В табл. 6 Приложения указано, что, например, удельная теплота сгорания торфа равна 15 МДж/кг. Что это означает? Какое количество теплоты выделится при полном сгорании 2 кг торфа?

Зная удельную теплоту сгорания q и массу m топлива, можно вычислить количество теплоты Q , которое выделится в ходе полного сгорания этого топлива: так как $q = \frac{Q}{m}$, то

$$Q = qm$$

3 Вычисляем коэффициент полезного действия (КПД) нагревателя

Для сжигания топлива используют различные нагреватели: печи и камины, газовые котлы, горелки и спиртовки, примусы, паяльные лампы и др. (рис. 15.6).

Тип нагревателя зависит от используемого в нем топлива и от того, для чего необходима теплота. Например, если надо отапливать помещение, а топливом является газ, целесообразно выбрать газовый котел; для физических опытов, во время которых топливом будет спирт, в качестве нагревателя следует взять спиртовку. Но даже с помощью самых современных нагревателей *невозможно полностью использовать всю энергию*,

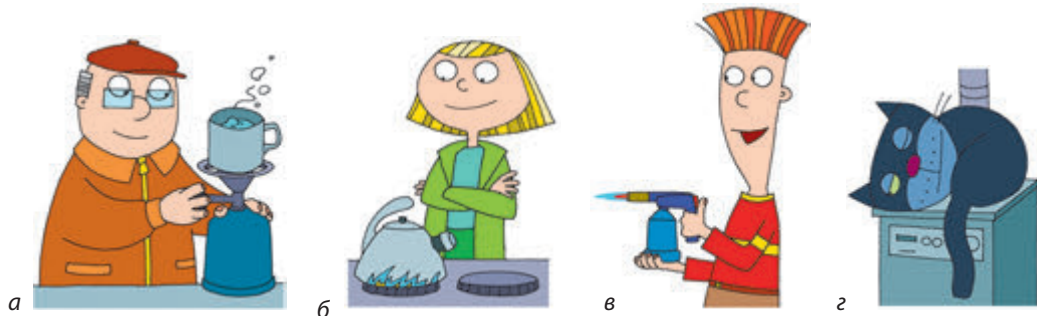


Рис. 15.6. Разные нагревательные устройства, используемые человеком: примус (а); газовая плита (б); паяльная лампа (в); газовый котел (г)

«накопленную» в топливе. Во-первых, никакое топливо не может в реальных условиях сгореть полностью. Во-вторых, некоторая часть энергии тратится «бесполезно» (например, уносится с продуктами сгорания, идет на нагревание окружающей среды).

Коэффициент полезного действия нагревателя — это физическая величина, характеризующая эффективность нагревателя и равная отношению полезно использованной теплоты ко всей теплоте, которая может быть выделена в процессе полного сгорания топлива.

КПД нагревателя вычисляют по формуле:

$$\eta = \frac{Q_{\text{полезн}}}{Q_{\text{полн}}},$$

где η — коэффициент полезного действия нагревателя; $Q_{\text{полезн}}$ — полезно использованная теплота; $Q_{\text{полн}}$ — вся теплота, которая может быть выделена в процессе полного сгорания данного топлива.

Обычно КПД выражают в процентах:

$$\eta = \frac{Q_{\text{полезн}}}{Q_{\text{полн}}} \cdot 100 \%$$

4 Учимся решать задачи

Задача. Туристы остановились на привал у ручья и решили приготовить чай. Какое количество сухих дров нужно заготовить туристам, чтобы закипятить 10 кг воды? Вода получает 15 % энергии, выделяющейся при полном сгорании дров. Температура воды в ручье 15 °С.

Дано:

$$m_{\text{воды}} = 10 \text{ кг}$$

$$\eta = 15 \% = 0,15$$

$$t_1 = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$c_{\text{воды}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

$$q_{\text{дров}} = 1 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Найти:

$$m_{\text{дров}} \text{ — ?}$$

Анализ физической проблемы, поиск математической модели, решение

Для решения задачи воспользуемся формулой для вычисления КПД нагревателя:

$$\eta = \frac{Q_{\text{полезн}}}{Q_{\text{полн}}} \quad (1)$$

Количество теплоты, необходимое для нагревания воды:

$$Q_{\text{полезн}} = c_{\text{воды}} m_{\text{воды}} (t_2 - t_1) \quad (2)$$

Количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании дров:

$$Q_{\text{полн}} = q_{\text{дров}} m_{\text{дров}} \quad (3)$$

Подставив формулы (2) и (3) в формулу (1), получим:

$$\eta = \frac{c_{\text{воды}} m_{\text{воды}} (t_2 - t_1)}{q_{\text{дров}} m_{\text{дров}}} \Rightarrow \eta q_{\text{дров}} m_{\text{дров}} = c_{\text{воды}} m_{\text{воды}} (t_2 - t_1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m_{\text{дров}} = \frac{c_{\text{воды}} m_{\text{воды}} (t_2 - t_1)}{\eta q_{\text{дров}}}.$$

При нормальном атмосферном давлении вода кипит при температуре 100°C . Удельную теплоемкость воды и удельную теплоту сгорания дров найдем соответственно в табл. 1 и 6 Приложения.

Проверим единицу, найдем значение искомой величины:

$$[m_{\text{дров}}] = \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot \text{кг} \cdot ^\circ\text{C} \right) : \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = \frac{\text{Дж} \cdot \text{кг}}{\text{Дж}} = \text{кг};$$

$$m_{\text{дров}} = \frac{4200 \cdot 10 \cdot (100 - 15)}{0,15 \cdot 1 \cdot 10^7} = \frac{4200 \cdot 10 \cdot 85}{15 \cdot 10^5} = 2,38 \text{ (кг)}.$$

Анализ результата. Чтобы нагреть воду, туристам требуется 2,38 кг дров. Результат вполне реален.

Ответ: $m_{\text{дров}} = 2,38 \text{ кг}$.



Подводим итоги

Химическая реакция горения топлива происходит с выделением теплоты. Количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании топлива, вычисляют по формуле $Q = qm$, где q — удельная теплота сгорания топлива; m — масса топлива.

Удельная теплота сгорания топлива равна количеству теплоты, выделяющемуся в процессе полного сгорания 1 кг этого топлива. Эта физическая величина является характеристикой теплотворной способности топлива и измеряется в джоулях на килограмм $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right)$.

Сгорание топлива обычно происходит в нагревателях. КПД нагревателя обозначают символом η и вычисляют по формуле $\eta = \frac{Q_{\text{полезн}}}{Q_{\text{полн}}}$. Как правило, КПД выражают в процентах: $\eta = \frac{Q_{\text{полезн}}}{Q_{\text{полн}}} \cdot 100\%$.



Контрольные вопросы

1. Какие виды топлива вы знаете? **2.** Опишите опыт, подтверждающий, что при горении разного топлива выделяется разное количество теплоты. **3.** Каков физический смысл удельной теплоты сгорания топлива? В каких единицах ее измеряют? **4.** Как вычислить количество теплоты, выделяющееся в процессе полного сгорания топлива? **5.** Дайте определение КПД нагревателя.



Упражнение № 15

1. Удельная теплота сгорания пороха меньше удельной теплоты сгорания дров. Почему же горящая в руке спичка — это достаточно безопасно, а когда вспыхивает такая же масса пороха, можно серьезно пострадать?
2. Какое количество теплоты выделится при полном сгорании каменного угля массой 10 кг?
3. В процессе полного сгорания керосина выделилось 92 кДж теплоты. Какова масса сгоревшего керосина?
4. На спиртовке нагрели 300 г воды от 15 до 75 °С. Определите КПД нагревателя, если на нагревание было израсходовано 8 г спирта.
5. В чайник налили 2 л воды при температуре 20 °С и поставили на газовую горелку. На нагревание воды использовали 42 г природного газа. Определите температуру воды в чайнике, если вода получила 40 % тепла, которое может быть выделено при полном сгорании этого газа.
6. Объясните, почему при сжигании сырых дров выделяется меньше теплоты, чем при сжигании такой же массы сухих дров.



7. Установите соответствие между физической величиной и выражением для ее определения.

1 Механическая работа	А ρV
2 Путь	Б Fl
3 Мощность	В vt
4 Потенциальная энергия поднятого тела	Г A/t
	Д mgh



Экспериментальное задание

Запишите план проведения эксперимента по определению КПД нагревателя с сухим горючим. Какие приборы и материалы для этого нужны? По возможности проведите эксперимент.

Физика и техника в Украине



Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича был основан в 1875 г. указом императора Австро-Венгрии Франца Иосифа. Тогда в университете были только теологический, философский и юридический факультеты.

Сегодня на базе университета работают 2 института (Институт биологии, химии и биоресурсов, Институт физико-технических и компьютерных наук)

и 11 факультетов; обучается около 20 тыс. студентов. Учебно-научную работу обеспечивают свыше 100 докторов наук, профессоров, около 700 кандидатов наук, доцентов. Среди основных направлений исследований, связанных с физикой, можно назвать теоретические и прикладные исследования полупроводникового материаловедения; разработку новых технологий, материалов, микросхем и приборов для опто-, радио- и микроэлектроники, полупроводникового приборостроения; статическую оптику; голографию и др.

С 2005 г. ректор университета — *Степан Васильевич Мельничук*.



§ 16. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ. КПД ТЕПЛОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Физически развитый человек может за сутки выполнить работу, равную примерно 1 млн джоулей. Среднесуточное потребление энергии одним жителем Земли больше в сотни раз. Из всей энергии, потребляемой человеком, около 90 % — энергия топлива. На обогрев помещений и приготовление пищи идет только незначительная часть этой энергии — в основном люди используют энергию топлива, превращая ее в механическую. Как это происходит и при каких условиях возможно такое превращение?

1 Знакомимся с принципом действия тепловых двигателей

Проведем опыт. Плотнo закупорим носик чайника и поставим чайник с водой на горелку газовой плиты. Через некоторое время крышка чайника начнет подпрыгивать. Выясним почему.

Вода в чайнике закипает, и давление пара под крышкой увеличивается. Наконец наступает момент, когда сила давления пара, действующая на крышку, становится больше силы тяжести, и крышка подпрыгивает. В этот момент часть пара выходит наружу, давление пара под крышкой уменьшается и сила тяжести возвращает ее на место (рис. 16.1). Если нагревание продолжить, процесс повторится.

В описанной системе, состоящей из газовой горелки, чайника с крышкой и кипящей воды, за счет энергии, выделяющейся при сгорании топлива, выполняется механическая работа, при этом часть энергии отдается окружающей среде.

Если с крышкой чайника соединить какой-нибудь механизм, получим простейшую модель теплового двигателя.

Тепловой двигатель — это циклично работающая машина, которая преобразует энергию топлива в механическую работу.

Кроме тепловых двигателей существуют другие виды тепловых машин (подробнее об этом вы узнаете в старших классах). Выясним на примере с чайником, из каких основных частей должна состоять тепловая машина.

Во-первых, в данной системе механическую работу выполняет пар, который нагревается и, расширяясь, поднимает крышку. Газ, выполняющий

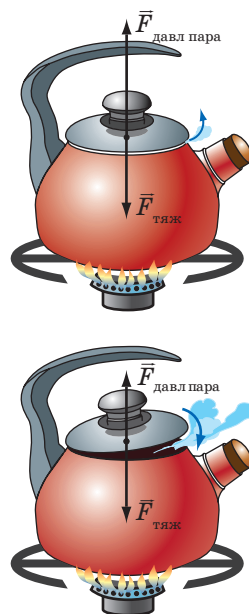


Рис. 16.1. На крышку чайника действуют сила тяжести ($F_{\text{тяж}} = mg$) и сила давления пара. Если $F_{\text{давл пара}} > F_{\text{тяж}}$, крышка подпрыгивает; если $F_{\text{давл пара}} < F_{\text{тяж}}$, крышка возвращается на место

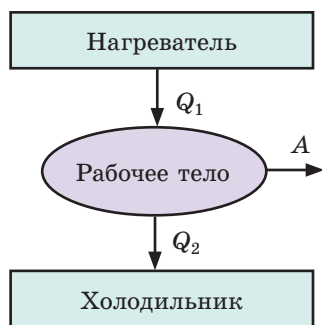


Рис. 16.2. Принцип действия тепловых машин: рабочее тело получает некоторое количество теплоты (Q_1) от нагревателя, эта теплота частично преобразуется в механическую энергию (рабочее тело выполняет работу A), а частично (Q_2) передается холодильнику

работу во время своего расширения, называют **рабочим телом**.

Во-вторых, пар под крышкой чайника расширяется в результате получения энергии от газовой горелки. *Устройство, от которого рабочее тело получает теплоту, называют нагревателем.*

В-третьих, во время опыта водяной пар периодически отдает часть энергии окружающей среде (если бы этого не происходило, «двигатель» не смог бы работать циклично — крышка не возвращалась бы в исходное положение и процесс не повторялся бы). *Объект, которому рабочее тело отдает некоторое количество теплоты, называют холодильником.*

Любая тепловая машина состоит из трех основных частей: нагревателя, рабочего тела, холодильника (рис. 16.2).

2 Определяем КПД теплового двигателя

В любом тепловом двигателе на выполнение работы расходуется только часть энергии, «запасенной» в топливе. Часть выделившейся энергии передается окружающей среде (теряется), кроме того, топливо сгорает не полностью. При этом потери энергии в тепловых двигателях не ограничиваются *тепловыми потерями*. Часть энергии также расходуется на выполнение работы против сил трения частей и механизмов двигателя. Такие потери энергии называют *механическими*.

Очевидно: чем меньше тепловые и механические потери в двигателе, тем меньше топлива нужно израсходовать, чтобы выполнить ту же самую полезную работу, и тем экономичнее двигатель.

Коэффициент полезного действия теплового двигателя — это физическая величина, характеризующая экономичность теплового двигателя и показывающая, какая часть всей энергии, «запасенной» в топливе, преобразуется в полезную работу.

Коэффициент полезного действия двигателя η вычисляют по формуле:

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{Q_{\text{полн}}}, \text{ или в процентах: } \eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{Q_{\text{полн}}} \cdot 100 \%,$$

где $A_{\text{полезн}}$ — полезная работа; $Q_{\text{полн}}$ — количество теплоты, которое может выделяться в процессе полного сгорания топлива.

Полезная работа всегда меньше количества теплоты, выделяющегося в процессе полного сгорания топлива, поэтому КПД теплового двига-

теля всегда меньше 100 %. Обычно КПД тепловых двигателей составляет 20–40 % (рис. 16.3).



Подводим итоги

Тепловой двигатель — это циклично работающая машина, которая преобразует энергию топлива в механическую работу.

Любая тепловая машина состоит из трех основных частей: нагревателя, рабочего тела, холодильника.

Принцип действия тепловых машин: рабочее тело получает некоторое количество теплоты от нагревателя; часть этой теплоты преобразуется в механическую энергию (рабочее тело выполняет работу), а часть отдается холодильнику.

Коэффициент полезного действия η теплового двигателя — это физическая величина, характеризующая экономичность двигателя и показывающая, какая часть всей энергии $Q_{\text{полн}}$, «запасенной» в топливе, преобразуется в полезную работу $A_{\text{полезн}}$.

КПД теплового двигателя вычисляют по формуле:

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{Q_{\text{полн}}} \quad \left(\text{или } \eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{Q_{\text{полн}}} \cdot 100 \% \right).$$



Контрольные вопросы

1. Что такое тепловой двигатель?
2. Назовите основные части теплового двигателя.
3. В чем состоит принцип действия теплового двигателя?
4. Назовите основные виды потерь энергии в тепловых двигателях.
5. Дайте определение КПД теплового двигателя.
6. Почему КПД теплового двигателя всегда меньше 100 %?



Упражнение № 16

1. В двигателе при полном сгорании топлива выделилось 500 кДж теплоты. В результате двигатель выполнил полезную работу, равную 125 кДж. Определите КПД теплового двигателя.
2. Во время работы теплового двигателя использовали 0,5 кг дизельного топлива. При этом двигатель выполнил полезную работу, равную 7 МДж. Вычислите КПД двигателя.
3. Тепловой двигатель, КПД которого равно 20 %, израсходовал 10 л бензина. Какую полезную работу выполнил двигатель?

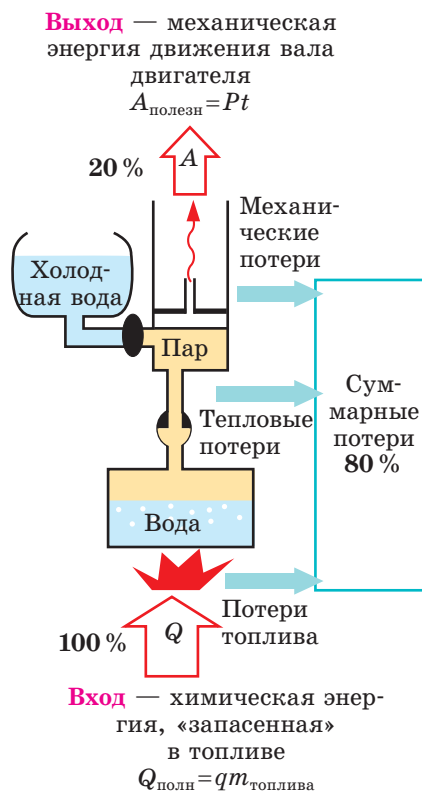


Рис. 16.3. КПД паровых тепловых двигателей и схема потерь энергии

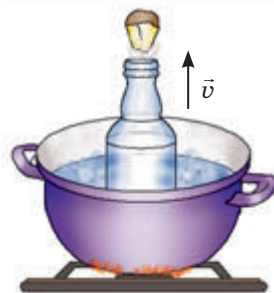
4. Какую среднюю мощность развивает двигатель мотоцикла, если при скорости движения 90 км/ч расход бензина составляет 4 кг на 100 км пути? КПД двигателя 25 %.
5. Воспользуйтесь дополнительными источниками информации и узнайте о первых тепловых машинах, созданных человеком.



Экспериментальное задание

«Картофельный выстрел». Возьмите стеклянную бутылку, сполосните ее водой и закупорьте картофелиной (осторожно вдавите горлышко бутылки в картофелину и уберите остатки картофелины). Поставьте закупоренную бутылку в кастрюлю с водой и начните нагревать воду. Через некоторое время «пробка» вылетит (см. рисунок). Объясните это явление.

(Во время проведения опыта нельзя наклоняться над кастрюлей!)



Физика и техника в Украине



Производственное объединение «Южмаш» и конструкторское бюро «Южное» (Днепр)

В начале 50-х гг. прошлого века большой автомобильный завод в Днепропетровске был переоборудован в завод по производству космических ракет, а также было создано конструкторское бюро (КБ) для их разработки. С того времени КБ «Южное» и завод «Южмаш» много лет определяли мировой уровень основных направлений и достижений в ракетно-космической области.

Под руководством таких выдающихся конструкторов, как В. С. Будник, М. К. Янгель, В. Ф. Уткин, С. Н. Конюхов, в КБ «Южное» было разработано 67 типов космических аппаратов и 12 космических комплексов. КБ «Южное» и «Южмаш» создали комплекс «Зенит» — один из самых совершенных в мировой ракетно-космической технике по конструктивному исполнению и автоматизации подготовки к пуску; всего было изготовлено и выведено на орбиту свыше тысячи космических аппаратов.

i

§ 17. НЕКОТОРЫЕ ВИДЫ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

История промышленного применения тепловых двигателей начинается с паровой машины, созданной английским ученым Джеймсом Уаттом в 1768 г. (рис. 17.1). С 1776 г. усовершенствованные машины Уатта начали широко применяться на шахтах и металлургических заводах Англии. В XX в. на смену первым паровым машинам пришли современные двигатели внутреннего сгорания, паровые и газовые турбины, реактивные двигатели. Из этого параграфа вы узнаете, как работают некоторые из них.

1 Изучаем устройство и принцип действия паровой турбины

Паровая турбина (от латин. *turbo* — вихрь, быстрое вращение) — один из примеров *паровых тепловых двигателей*.

В паровых двигателях *энергия, выделяющаяся при сгорании топлива, идет на образование водяного пара и его нагревание, а уже затем нагретый пар, расширяясь, выполняет механическую работу.*

Таким образом, рабочим телом паровой турбины служит пар. Его получают из воды и в специальных паровых котлах нагревают до температуры около $600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Из котла пар под высоким давлением поступает в турбину.

? Что, по вашему мнению, служит холодильником во время работы турбины?

Рассмотрим устройство и принцип действия простейшей паровой турбины (рис. 17.2). Струи пара, вырываясь из сопел (1), падают на лопатки (2), расположенные на диске (3). Сам диск неподвижно закреплен на валу (4) турбины. Под давлением пара диск турбины, а значит, и вал вращаются, — пар выполняет работу (рис. 17.3).

Паровые турбины широко используют на электростанциях, где механическая энергия вращения турбины преобразуется в электрическую. На транспорте паровые турбины не получили широкого применения в основном из-за больших габаритов.

2 Знакомимся с устройством двигателя внутреннего сгорания

Один из самых распространенных тепловых двигателей, используемых в транспортных средствах, — *четырёхтактный двигатель внутреннего сгорания*, сконструированный немецким изобретателем *Николаусом Отто* (рис. 17.4).

При работе двигателя внутреннего сгорания *топливо сгорает непосредственно внутри его цилиндров*, отсюда и название двигателя. Эти двигатели работают на газе или жидком топливе.



Рис. 17.1. Паровая машина Уатта

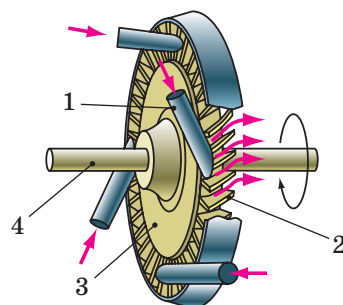


Рис. 17.2. Схема устройства простейшей паровой турбины: 1 — сопла; 2 — лопатки; 3 — диск; 4 — вал. Стрелками показано направление движения пара



Рис. 17.3. В современных турбинах для максимального использования энергии пара применяют несколько дисков с лопатками, насаженных на один общий вал



Рис. 17.4. Николаус Август Отто (1832–1891), немецкий конструктор, изобретатель четырехтактного двигателя внутреннего сгорания с электрическим зажиганием

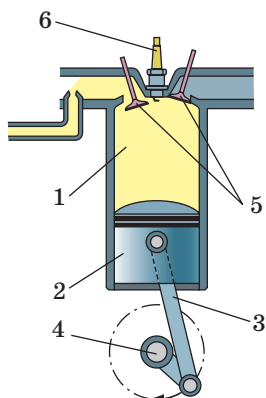


Рис. 17.5. Схема устройства простейшего двигателя внутреннего сгорания:
1 — цилиндр; 2 — поршень;
3 — шатун; 4 — коленчатый вал; 5 — клапаны; 6 — свеча зажигания. Стрелкой показано направление вращения вала

Двигатель внутреннего сгорания (рис. 17.5) состоит из *цилиндра* (1), в котором перемещается *поршень* (2). Внутри поршня шарнирно закреплен *шатун* (3). Шатун, в свою очередь, соединен с *коленчатым валом* (4), который, вращаясь, обеспечивает вращение тяговых колес транспортного средства.

В верхней части цилиндра имеются два канала, закрытых *клапанами* (5). *Горючая смесь* (смесь воздуха с бензином или газом) через *впускной клапан* поступает в цилиндр; через *выпускной клапан* выбрасываются отработанные газы. У некоторых двигателей в верхней части цилиндра размещена также *свеча зажигания* (6) — устройство для зажигания горючей смеси с помощью электрической искры.

3 Наблюдаем за работой четырехтактного двигателя внутреннего сгорания

Рабочий цикл четырехтактного двигателя внутреннего сгорания с электрическим зажиганием состоит соответственно из четырех тактов (рис. 17.6).

I такт — всасывание (рис. 17.6, а). Поршень движется вниз, и в цилиндре падает давление. В это время открывается впускной клапан и горючая смесь всасывается в цилиндр. В конце I такта впускной клапан закрывается.

II такт — сжатие (рис. 17.6, б). Поршень движется вверх и сжимает горючую смесь. Когда поршень достигает крайнего верхнего положения, проскакивает искра и горючая смесь воспламеняется. Оба клапана закрыты.

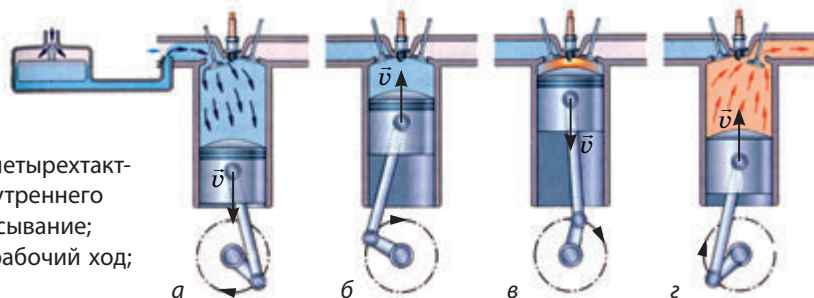


Рис. 17.6. Работа четырехтактного двигателя внутреннего сгорания: а — всасывание; б — сжатие; в — рабочий ход; г — выпуск

III такт — рабочий ход (рис. 17.6, в). Топливо горит, и раскаленные газы толкают поршень вниз. Движение поршня передается шатуну, который толкает коленчатый вал и заставляет его вращаться, — двигатель выполняет *полезную работу*. В конце III такта открывается выпускной клапан.

IV такт — выпуск (рис. 17.6, г). Поршень движется вверх и через выхлопную трубу выталкивает продукты сгорания в атмосферу. В конце IV такта выпускной клапан закрывается. Выпуск отработанных газов сопровождается *передачей некоторого количества теплоты окружающей среде*.

Как и в любом тепловом двигателе, в двигателе внутреннего сгорания есть *нагреватель* (горящая горючая смесь), *рабочее тело* (раскаленные газы), *холодильник* (окружающая среда).

За цикл газы толкают поршень только один раз, поэтому для равномерной работы двигателей ставят четыре, шесть и более цилиндров.

В последнее время все чаще применяют *дизельные двигатели*, названные так в честь немецкого инженера *Рудольфа Дизеля (рис. 17.7)*. Эти двигатели, в частности, не имеют свечей зажигания (топливо воспламеняется от горячего воздуха, нагретого в результате сжатия), могут быть и двухтактными, их КПД выше. У двигателей, описанных выше, КПД составляет 20–25 %, у дизельных — 40 %.



Рис. 17.7. Рудольф Дизель (1858–1913) — немецкий инженер. Создатель двигателя внутреннего сгорания с воспламенением от сжатия горючей смеси

4

Размышляем о плюсах и минусах использования тепловых двигателей

Если посмотреть на соединения, образующиеся в результате химических реакций горения топлива (см., например, *рис. 15.1*), создается впечатление, что тепловые машины совершенны, ведь продукты реакции — «обычные» соединения. Действительно, углекислый газ (CO_2) входит в состав воздуха, а вода (H_2O) есть везде вокруг нас. Эти вещества являются экологически чистыми, то есть не загрязняют природу. Однако не следует делать поспешных выводов.

Во-первых, практически все виды топлива содержат небольшое количество Сульфура, который со временем превращается в ядовитую сульфатную кислоту.

Во-вторых, на тепловых станциях при сгорании угля образуется пепел, часть которого разлетается, загрязняя окружающую среду.

В-третьих, в автомобильных двигателях топливо не всегда сгорает полностью, поэтому в выхлопных газах содержится ядовитый угарный газ (CO).

И это далеко не исчерпывающий перечень!

Загрязнение атмосферы стало проблемой для всего человечества. Как бороться с негативными последствиями использования тепловых двигателей? Существует несколько основных направлений:

- 1) уменьшение (или по крайней мере сохранение на стабильном уровне) суммарной мощности тепловых машин. Иными словами, потребители энергии (телевизоры, холодильники, лампы и т. д.) должны *использовать меньше энергии*;
- 2) *уменьшение вредных выбросов тепловых электростанций*. Для этого применяют, в частности, специальные фильтры;
- 3) *использование альтернативных источников энергии*.



Подводим итоги

Самым давним из применяемых в современной технике тепловых двигателей является паровая турбина. Работу в ней выполняет нагретый пар, который направляется на лопатки турбины и вращает ее.

Еще один пример теплового двигателя — двигатель внутреннего сгорания. В нем топливо сгорает внутри цилиндров, а нагретый воздух, расширяясь, выполняет работу. Рабочий цикл четырехтактного двигателя внутреннего сгорания имеет соответственно четыре такта: всасывание, сжатие, рабочий ход, выпуск.

В последнее время остро стоит проблема загрязнения окружающей среды из-за работы тепловых машин.



Контрольные вопросы

1. Какие двигатели называют паровыми? 2. Назовите основные части паровой турбины. 3. Опишите, как работает паровая турбина. 4. Что в паровой турбине служит нагревателем? холодильником? рабочим телом? 5. Почему двигатель внутреннего сгорания имеет такое название? 6. Назовите основные части двигателя внутреннего сгорания, опишите их назначение. 7. Какие процессы происходят в четырехтактном двигателе внутреннего сгорания во время каждого из четырех тактов? 8. Докажите, что тепловые двигатели оказывают негативное влияние на окружающую среду. Как решают эту проблему?



Упражнение № 17

1. Какие преобразования энергии происходят во время работы паровой турбины?
2. КПД лучших дизельных двигателей с системой турбонадува и промежуточным охлаждением достигает 54,5 %. Какая часть энергии, «запасенной» в топливе, при работе этих двигателей тратится бесполезно?
3. Почему при сжатии горючей смеси в цилиндре дизельного двигателя температура этой смеси увеличивается?
4. Почему в паровой турбине температура отработанного пара ниже температуры пара, поступающего на лопатки турбины?
5. Несмотря на недостатки, тепловые двигатели являются самыми распространенными. Почему, по вашему мнению, люди отдают предпочтение именно им?

§ 18. ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА. СПОСОБЫ СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Человек нуждается в энергии буквально на каждом шагу. К сожалению, энергии обычно не хватает, поэтому на протяжении всего своего существования человечество ищет способы ее получения и экономии. Особенно это актуально сейчас, когда стало заметным «дно» мировых запасов органического топлива (ископаемых ресурсов). Были сформулированы некоторые общие принципы энергосбережения и разработаны технологии их воплощения в жизнь с помощью новейшего оборудования.

1

Узнаём о роли теплоэнергетики в жизни человека

На протяжении многих столетий практически единственным источником энергии для человечества было топливо, другие источники (ветер и вода) занимали незначительное место.

В XX в. заметную роль в энергетике стали играть *альтернативные* источники энергии. Примерами таких источников являются *гидроэлектростанции, атомные электростанции, ветрогенераторы, солнечные батареи* (рис. 18.1–18.4).

Альтернативные источники энергии, разработка и создание которых требуют значительных затрат, появились «не от хорошей жизни». Ведь именно в XX в. резко возросло использование тепловых машин — устройств, преобразующих энергию топлива в другие виды энергии (электрическую, механическую). Речь идет прежде всего об автомобилях и других транспортных средствах, использующих в качестве источника энергии продукты переработки *нефти* (бензин и дизельное топливо). Кроме того, практически везде для обогрева жилья и приготовления пищи применяют устройства, сжигающие *природный газ*. Этот газ в значительном количестве используют также в производственных процессах (металлургия, химический синтез). Газ, нефть, *уголь* используют для производства элетроэнергии на тепловых электростанциях.

Вы уже знаете, что указанные виды топлива являются *ископаемыми ресурсами* и что их *запасы ограничены*. Примерно за 100 лет миллионы автомобилей «съели» значительную часть мировых запасов нефти. Существует



Рис. 18.1. Гидроэлектростанция (ДнепроГЭС)

мнение, что запасы природного газа исчерпаются примерно через 40 лет; разведанных запасов угля хватит на несколько сотен лет. К тому же при сжигании угля, нефти и газа расходуется большое количество кислорода. Так, для сжигания 1 кг угля необходимо 2,7 кг кислорода, 1 кг нефти — 3,4 кг кислорода, 1 кг природного газа (метана) — 4 кг кислорода.

2 Размышляем об экономии энергетических ресурсов

Приведенные данные свидетельствуют о том, что через несколько десятков лет привычные сейчас виды топлива окажутся на грани исчезновения. Что же делать?

На сегодня предлагаются *три основных направления решения проблемы будущего «энергетического голода»*.

1. *Экономия имеющихся ископаемых ресурсов*. Речь идет об использовании новых технических решений — энергосберегающих технологиях.

2. *Постепенная замена топлива из ископаемых ресурсов на топливо, получаемое из растений*. Сейчас уже используются два типа технологий производства растительного топлива: добыча заменителей бензина из растений, содержащих сахар, и переработка в дизельное топливо масла, получаемого из некоторых растений (например, рапса).

3. *Использование альтернативных источников энергии*. Прежде всего речь идет о ядерной и термоядерной энергиях. Ископаемых запасов урана — топлива для атомных станций — хватит на несколько сотен лет. Во многих странах (Франция, Украина, США) этот вид производства электрической энергии является одним из основных. Так, в Украине на атомных станциях вырабатывается около половины всей электроэнергии.

Неисчерпаемым источником может стать термоядерная энергия (рис. 18.5). Запасов тяжелого водорода — топлива для термоядерного синтеза — в Мировом океане хватит на много тысячелетий.

3 Знакомимся с энергосберегающими технологиями

Современные принципы энергосбережения заключаются не только в применении новинок, пусть и уникальных. Принципиальной является задача *комплексного использования нескольких технологий*.



Рис. 18.2. Общий вид атомной электростанции (Запорожская АЭС)



Рис. 18.3. Ветрогенератор



Рис. 18.4. Панель солнечных батарей

Рассмотрим, например, обычную квартиру. Наибольшее количество энергии, поступающей в нее, — это энергия, необходимая для обогрева. Замена традиционных окон на стеклопакеты, утепление дверей, нанесение специального теплозащитного покрытия на внешние стены дома позволяют сэкономить значительное количество тепла, которое обычно идет на «обогрев окружающей среды».

Горячая вода часто поступает в дома из котельных, расположенных на расстоянии в несколько километров. Такой длинный путь теплоснабжения связан с большими потерями энергии. Если же обогреватель (электрический или газовый котел) установить в квартире, то этот путь будет в сотни раз короче, — очевидно, что в сотни раз уменьшатся и потери тепла. Более того, котел не только нагревает батареи отопления, но и обеспечивает горячей водой кухню и ванную комнату.

Для экономии электрической энергии следует применять энергосберегающие лампы и электроприборы с небольшим потреблением энергии.

? Подумайте, за счет чего еще возможна экономия энергии в домах.

Мы привели простой пример комплексного подхода к энергосбережению в помещениях. Аналогичные принципы, только со значительно большим количественным эффектом, успешно применяют и в производственных процессах.

4 Выясняем, как теплоэнергетика влияет на природу

Пока тепловые станции не имели большой мощности, а автомобилей было немного, негативные последствия работы тепловых машин не очень беспокоили человечество. Соответствующие проблемы стали актуальными сравнительно недавно, во второй половине XX в., когда начали выпадать кислотные дожди, вызванные выбросами электростанций, когда люди начали задыхаться в автомобильных пробках, вдыхая вместе с воздухом ядовитый угарный газ, и т. д.



Рис. 18.5. Общий вид экспериментальной термоядерной установки



Рис. 18.6. Внешне электрические автомобили совсем не отличаются от своих бензиновых «братьев»

Ученые предлагают различные технические решения этих проблем. В качестве примера приведем ряд решений по *уменьшению выбросов бензиновых двигателей*:

- удаление из состава бензина ядовитых соединений свинца;
- «досжигание» с помощью специальных устройств угарного газа до менее вредного углекислого газа;
- создание экологически чистых электромобилей (рис. 18.6). Электромобили практически не загрязняют окружающую среду: в них используют электрический двигатель, который питается от аккумуляторов;
- использование «гибридных» автомобилей, оснащенных двумя двигателями — электрическим и бензиновым: экологически чистый электрический двигатель целесообразно использовать в городе (где много автомобилей), а бензиновый — за городом (где загрязнение воздуха не столь опасно).

В настоящее время у человечества есть еще одна большая проблема. Дело в том, что во время работы тепловых машин выделяется углекислый газ (CO_2), который в большом количестве становится очень опасным. По оценкам ученых, за 200 лет интенсивной работы тепловых машин в атмосферу было выброшено около одного триллиона (10^{12}) тонн CO_2 . Это огромное количество углекислого газа вызвало так называемый *парниковый эффект* — повышение температуры поверхности Земли. Почему это произошло?

Солнце, как вы знаете, не только освещает, но и обогревает Землю. Еще сто лет назад получаемое Землей тепло практически полностью излучалось (возвращалось) в космос. После того как в верхних слоях атмосферы накопилось значительное количество углекислого газа, этот газ стал своеобразным «зеркалом» для излучения с поверхности Земли. В результате часть энергии задерживается в атмосфере и нагревает ее.

Из-за парникового эффекта средняя температура поверхности Земли повысилась на $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Но даже это небольшое нагревание уже привело, по мнению многих ученых, к изменениям климата. Если же средняя температура поверхности Земли повысится на $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, то неминуемыми станут глобальные катаклизмы: таяние ледников, подъем уровня Мирового океана, затопление портовых городов и др.

Чтобы избежать таких катастрофических последствий, в 1997 г. в г. Киото (Япония) правительства многих стран подписали так называемый Киотский протокол. Согласно этому документу, для каждой страны мира определен максимальный объем выбросов CO_2 (речь идет и о промышленных, и о бытовых источниках). Если этот объем превышен, то страна-нарушитель платит определенную сумму штрафа, которую затем используют для снижения уровня выбросов.

В 2015 г. Киотский протокол был дополнен Парижским соглашением, в котором описаны дальнейшие перспективы ограничения выбросов.



Подводим итоги

Нефть, природный газ и уголь — это ископаемые ресурсы, запасы которых ограничены.

Основные направления преодоления энергетического кризиса:

- экономия имеющихся ископаемых ресурсов;
- внедрение новейших технологий с целью уменьшения использования топлива из невозобновляемых ресурсов;
- использование альтернативных источников энергии, прежде всего ядерной и термоядерной энергий.

Использование новейших технологий позволяет уменьшить потребление тепловой энергии в несколько раз.



Контрольные вопросы

1. Какие источники энергии издавна использует человечество? **2.** Назовите альтернативные источники энергии. **3.** Перечислите основные направления преодоления энергетического кризиса. **4.** Приведите примеры энергосберегающих технологий. **5.** Как влияют тепловые источники энергии на окружающую среду? **6.** Что такое Киотский протокол?



Упражнение № 18

- 1.** Один из лучших источников энергии — Солнце. Воспользуйтесь дополнительными источниками информации и узнайте, где используют солнечную энергию сегодня и каковы перспективы ее использования в будущем.
- 2.** Воспользуйтесь дополнительными источниками информации и узнайте о перспективах развития альтернативной энергетики в Украине.

Физика и техника в Украине



Институт технической теплофизики НАН Украины (ИТТФ) (Киев)

ИТТФ создан в 1947 г. на базе *Института энергетики АН УССР*. Сегодня ИТТФ — ведущий в Украине центр в области теплообмена, теплоэнергетики и энергосберегающих теплотехнологий. Работа института направлена на исследование теплофизических процессов, развитие теории теплопереноса, измерение тепловых величин. Ученые ИТТФ работают над решением актуальных проблем: повышение энергоэффективности при изготовлении, транспортировке и потреблении тепловой энергии; комплексная модернизация объектов коммунальной теплоэнергетики путем разработки и реализации региональных программ, привлечения к топливно-энергетическому потенциалу возобновляемых источников энергии и местных видов топлива.

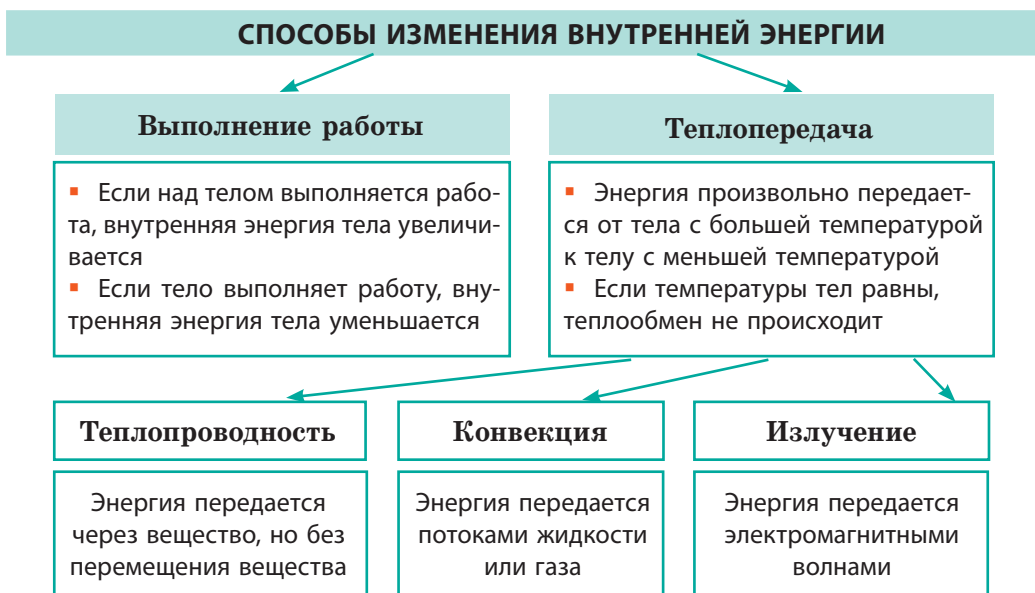
В разные годы научный коллектив ИТТФ возглавляли выдающиеся ученые: *И. Т. Швеи, Г. М. Щеголев, В. И. Толубинский, Г. Л. Бабуха, О. А. Геращенко*. В 1982–2015 гг. институтом руководил известный ученый в области теплопереноса академик НАН Украины *Анатолий Андреевич Долинский*; сейчас он почетный директор института.

С 2016 г. директор ИТТФ — член-корреспондент НАНУ *Юрий Федорович Снежкин*.

ПОДВОДИМ ИТОГИ РАЗДЕЛА I «Тепловые явления»

При изучении раздела I вы ознакомились с некоторыми тепловыми процессами, физическими величинами, характеризующими эти процессы, а также с такими фундаментальными понятиями физики, как температура и внутренняя энергия.

1. Вы узнали, что внутреннюю энергию можно изменить двумя способами.



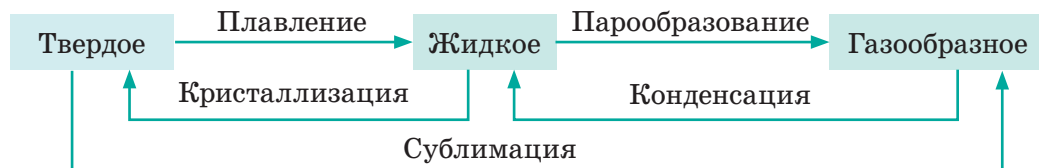
2. Вы узнали, что изменение внутренней энергии в процессе теплопередачи характеризует физическая величина — **количество теплоты Q** . Как и энергия, количество теплоты в СИ измеряется в *джоулях*.
3. Вы узнали об *уравнении теплового баланса*, отражающем закон превращения и сохранения энергии при теплообмене.

УРАВНЕНИЕ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА

В изолированной системе тел, в которой внутренняя энергия тел изменяется только в результате теплопередачи, суммарное количество теплоты, отданное одними телами системы, равно суммарному количеству теплоты, полученному другими телами этой системы:

$$Q_1^- + Q_2^- + \dots + Q_n^- = Q_1^+ + Q_2^+ + \dots + Q_k^+$$

4. Вы вспомнили, что существуют *три состояния вещества*.

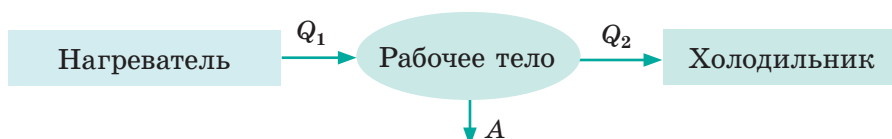


5. Вы узнали о *физических величинах, характеризующих тепловые свойства веществ*.

Физическая величина	Символ для обозначения	Единица	Формула для определения
Удельная теплоемкость	c	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	$c = \frac{Q}{m\Delta t}$
Удельная теплота плавления	λ	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$\lambda = \frac{Q}{m}$
Удельная теплота парообразования	r	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$r = \frac{Q}{m}$

6. Вы убедились, что в процессе сгорания топлива *выделяется энергия*, и узнали, что эту энергию *используют в работе* различных нагревательных устройств и тепловых двигателей.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВЫХ МАШИН



7. Вы узнали о *физических величинах, характеризующих топливо, нагревательные устройства, тепловые двигатели*.

Физическая величина	Символ для обозначения	Единица	Формула для определения
Удельная теплота сгорания топлива	q	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$q = \frac{Q}{m}$
КПД нагревателя	η	%	$\eta = \frac{Q_{\text{полезн}}}{Q_{\text{полн}}} \cdot 100\%$
КПД теплового двигателя	η	%	$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{Q_{\text{полн}}} \cdot 100\%$

Задания для самопроверки к разделу I «Тепловые явления»

Часть 1. Температура. Внутренняя энергия. Теплопередача

В заданиях 1–5, 7 выберите один правильный ответ.

1. (1 балл) При охлаждении тела уменьшается:

а) число его молекул;
в) размер его молекул;

б) масса его молекул;
г) скорость движения его молекул.
2. (1 балл) После отключения духовки температура воздуха в ней уменьшилась. Изменилась ли при этом внутренняя энергия воздуха, и если изменилась, то как и почему?

а) не изменилась;
б) уменьшилась в результате теплопередачи;

в) увеличилась в результате теплопередачи;
г) уменьшилась в результате выполнения работы.
3. (1 балл) В результате какого процесса из перечисленных внутренняя энергия воздуха в воздушном шарике уменьшится?

а) шарик надули;
в) шарик внесли в теплое помещение;

б) шарик лопнул;
г) шарик медленно опустился на пол.
4. (1 балл) Медная деталь при нагревании расширяется. При этом увеличивается:

а) расстояние между атомами Купрума;
в) число атомов Купрума;

б) размер атомов Купрума;
г) плотность меди.
5. (2 балла) Какое выделится количество теплоты, если 2 кг алюминия охладить на $50\text{ }^{\circ}\text{C}$?

а) 92 кДж;
б) 100 кДж;
в) 420 кДж;
г) 920 кДж.
6. (2 балла) В жаркий летний день мальчик и девочка носят одежду из хлопка (рис. 1). Почему девочка чувствует себя комфортнее?
7. (2 балла) Некоторому веществу массой 100 г было передано 750 Дж теплоты. В результате его температура увеличилась от 25 до $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Что это за вещество?

а) алюминий;
б) железо;
в) сталь;
г) серебро.
8. (2 балла) Один человек находится на Крайнем Севере, другой — в пустыне. Оба одеты «тепло» (рис. 2). Объясните почему.

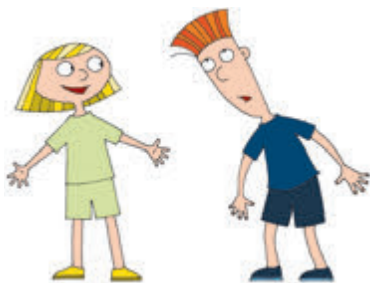
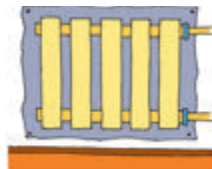


Рис. 1



Рис. 2

9. (2 балла) Что нужно сделать, чтобы сэкономить тепло? Укажите все правильные ответы.



- а) Прикрыть вентиляционную решетку
 б) Разместить за радиатором защитный экран из алюминия
 в) Закрыть радиатор мебелью или шторами
 г) Покрасить радиатор в светлый цвет

10. (3 балла) В чугунном котле массой 2 кг содержится 1,5 л воды. Какое количество теплоты получит котел с водой при нагревании от 10 до 60 °С?

11. (3 балла) Какое количество теплоты необходимо для нагревания стального цилиндра (см. рис. 3) от 0 до 12 °С?

12. (3 балла) На сколько градусов нагреется 510 г меди, если поглотит такое же количество теплоты, какое выделяется при охлаждении 2 л растительного масла от 60 до 40 °С?

13. (4 балла) При температуре окружающей среды 20 °С каждый килограмм тела человека за 1 с излучает примерно 1,6 Дж теплоты. На сколько градусов можно нагреть 1 л воды, если передать воде теплоту, которую выделяет школьник массой 49 кг во время урока (45 мин)?

14. (4 балла) С какой высоты падал свинцовый шар, если в результате удара о стальную плиту он нагрелся на 2,5 °С? Считайте, что на нагревание шара было израсходовано 80 % его механической энергии.

15. (4 балла) Определите первоначальную температуру латунного цилиндра (рис. 4), если после его погружения вода в мензурке остыла от 37 до 20 °С. Потерями энергии пренебречь.

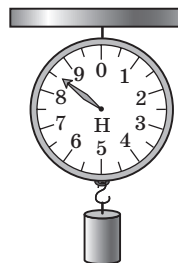


Рис. 3

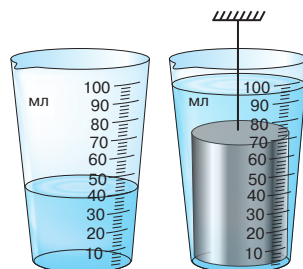


Рис. 4

Сверьте ваши ответы с приведенными в конце учебника. Отметьте задания, которые вы выполнили правильно, и подсчитайте сумму баллов. Затем эту сумму разделите на три. Полученный результат будет соответствовать уровню ваших учебных достижений.

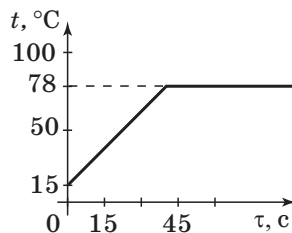


Тренировочные тестовые задания с компьютерной проверкой вы найдете на электронном образовательном ресурсе «Интерактивное обучение».

Часть 2. Изменение агрегатного состояния вещества. Тепловые двигатели

В заданиях 1–8, 10 выберите один правильный ответ.

- (1 балл) Какое из приведенных веществ при комнатной температуре сохраняет объем, но не сохраняет форму?
а) сталь; б) кислород; в) гелий; г) ртуть.
- (1 балл) Газ легко сжать, потому что молекулы газа:
а) легко изменяют свои размеры;
б) притягиваются друг к другу;
в) находятся в непрерывном хаотичном движении;
г) расположены достаточно далеко друг от друга.
- (1 балл) Когда вещество переходит из одного агрегатного состояния в другое, изменяется:
а) масса молекул;
б) размер молекул;
в) характер движения и взаимодействия молекул;
г) состав молекул.
- (1 балл) Во время кристаллизации температура вещества:
а) остается неизменной;
б) уменьшается;
в) увеличивается;
г) для одних веществ увеличивается, для других — уменьшается.
- (2 балла) Газ в закрытом сосуде сжали, уменьшив его объем вдвое. В результате этого:
а) количество молекул газа в сосуде уменьшилось вдвое;
б) плотность газа увеличилась вдвое;
в) масса газа уменьшилась вдвое;
г) расстояние между молекулами газа увеличилось вдвое.
- (2 балла) Какое вещество можно расплавить в сосуде из свинца?
а) железо; б) медь; в) олово; г) вольфрам.
- (2 балла) В лабораторных условиях при нормальном атмосферном давлении проводили исследование зависимости температуры некоторой жидкости от времени ее нагревания. Результаты исследования представили в виде графика (см. рисунок). Какую жидкость исследовали?
а) воду; б) растительное масло;
в) эфир; г) спирт.
- (2 балла) Какое количество теплоты необходимо затратить для плавления 5 кг алюминия, взятого при температуре плавления?
а) 3 кДж; б) 607 кДж; в) 1965 кДж; г) 3036 кДж.



9. (3 балла) Установите соответствие между тепловым процессом, происходящим с веществом, и формулой для определения количества теплоты, которое выделяет данное вещество в ходе этого процесса.
- | | |
|-----------------------------------|--------------------|
| 1 Вода в луже превратилась в лед. | А $Q = qm$ |
| 2 Человек зажег дрова в камине. | Б $Q = rm$ |
| 3 Над рекой образовался туман. | В $Q = \lambda m$ |
| | Г $Q = cm\Delta t$ |
10. (2 балла) Сколько керосина нужно сжечь, чтобы получить 92 МДж теплоты? Считайте, что керосин сгорает полностью.
а) 450 г; б) 500 г; в) 2 кг; г) 100 кг.
11. (2 балла) Нормальная температура в подмышках человека равна 36,8 °С, а в легких — 32 °С. Чем, по вашему мнению, обусловлена более низкая температура в легких?
12. (2 балла) Почему температура горючей смеси в цилиндре двигателя при сжатии увеличивается, а во время рабочего хода — уменьшается?
13. (2 балла) При сгорании 2,5 кг природного газа в газовом нагревателе было получено 82,5 МДж теплоты. Определите КПД нагревателя.
14. (3 балла) Эфир массой 20 г полностью испарился при температуре 15 °С. Какое количество теплоты поглотил эфир в ходе этого процесса?
15. (3 балла) На сколько градусов можно нагреть 10 кг меди, используя количество теплоты, которое может выделяться при полном сгорании 100 г дров?
16. (4 балла) В железной коробке массой 200 г содержится 100 г свинца при температуре 27 °С. Какую массу природного газа нужно сжечь, чтобы расплавить свинец? Считайте, что на нагревание коробки со свинцом тратится 40 % энергии, которая может выделяться при полном сгорании газа.
17. (4 балла) Автомобиль, двигаясь со средней скоростью 144 км/ч, израсходовал 8 кг дизельного топлива на 100 км пути. Определите среднюю мощность и среднюю силу тяги двигателя автомобиля на всем пути, если его КПД 30 %.

Сверьте ваши ответы с приведенными в конце учебника. Отметьте задания, которые вы выполнили правильно, и подсчитайте сумму баллов. Потом эту сумму разделите на три. Полученный результат будет соответствовать уровню ваших учебных достижений.



Тренировочные тестовые задания с компьютерной проверкой вы найдете на электронном образовательном ресурсе «Интерактивное обучение».

Что такое тепловые трубки

Вы уже знаете, что лучшие проводники тепла — металлы, а «рекордсменами» среди них являются медь, серебро, алюминий. И когда у вас спросят: «Как быстрее всего передать тепло от одного участка к другому?» — вы, безусловно, вспомните, что если один конец медного (или алюминиевого, или серебряного) стержня расположить в горячем месте, то другой его конец быстро нагреется. А можно ли передать тепло быстрее, чем с помощью этих металлов? Казалось бы, нет, ведь эти металлы



Рис. 1

не зря называют рекордсменами. Однако инженеры решили и такую задачу, а изобретенное устройство назвали *тепловой трубкой*.

Объясним принцип ее действия (рис. 1). Возьмем запаянную трубку с небольшим количеством воды внутри. Верхний конец трубки поместим в горячее место. Капельки воды, оставшиеся на внутренней поверхности этой части трубки, начнут превращаться в пар. Молекулы пара «полетят» во все стороны, в том числе вниз, где и сконденсируются на участке холодного конца трубки. Теплота,

поглощаемая при испарении воды, очень велика, поэтому передача тепла в трубке происходит чрезвычайно эффективно.

К сожалению, данная конструкция имеет существенный недостаток — «одноразовость»: капельки воды испаряются, и процесс передачи тепла прекращается. Для решения этой проблемы инженеры воспользовались так называемым *капиллярным эффектом*. (Вспомните: если край рубашки или платья попадет в воду, то мокрой становится и ткань вокруг.)

Капиллярные структуры разместили вдоль внутренних стенок тепловой трубки (красная полоса на [рис. 1](#)), и трубка стала «многоцветной». В таком устройстве вода движется «по кругу»: на горячем конце трубки (вверху) вода испаряется, пар переносится вниз и конденсируется в холодной части трубки; образовавшаяся вода по капиллярам поступает вверх, снова испаряется и т. д.

Для решения конкретных задач трубки изготавливают из металла, а капилляры делают в виде или проволочного жгута ([рис. 2](#)), или напыленных микрочастиц ([рис. 3](#)).

Тепловые трубки очень распространены. Так, тепловую трубку, подобную приведенной на [рис. 2](#), применяют для охлаждения персональных компьютеров.

Неожиданное применение тепловым трубкам нашли на Аляске. На [рис. 4](#) показан участок газопровода, построенного в районе вечной мерзлоты. При перекачивании газа он разогревается, тепло передается трубе, а часть этого тепла нагревает опоры и идет в землю. Если тепла передается много, то участок вечной мерзлоты вокруг опоры растает и возникнет риск аварии. Конструкторы решили проблему, оснастив каждую опору тепловыми трубками (белые стержни на [рис. 4](#)), благодаря которым избыточное тепло уходит вверх, в атмосферу.



Рис. 2

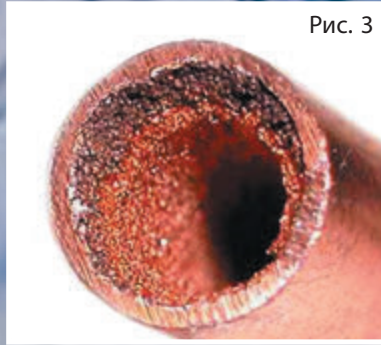


Рис. 3



Рис. 4

Эффект «памяти формы»

В XX в. физики обнаружили чрезвычайно интересное явление, которое со временем получило широкое применение. Речь идет о так называемом *эффекте «памяти формы»*. В чем его суть?

Воспользуемся простым примером. Эффект «памяти формы» присущ некоторым сплавам, самым известным из которых является нитинол — сплав никеля и титана. Возьмем длинный стержень, изготовленный из нитинола, нагреем и в горячем состоянии придадим ему любую форму, например свернем в виде кольца. Потом дадим стержню остыть до комнатной температуры и придадим ему другую форму, например распрямим или свернем в виде любой другой фигуры. Если же теперь снова нагреть стержень, то он, будто живое существо, «вспомнит» свою историю и сам приобретет начальную форму, то есть в данном случае согнется в кольцо. Более того, стержень надолго «сохраняет память» о своей начальной форме и может приобретать ее при определенных условиях много раз. Именно это явление и называют эффектом «памяти формы». Его широко применяют в технике. Например, на [рис. 5](#) вы видите конечность робота. «Пальцы», изготовленные из сплава, которому присущ эффект «памяти формы», были согнуты в горячем состоянии. «Суставы пальцев» представляют собой электрические нагреватели, и если пропустить через них ток, то «суставы» нагреются и «кисть» сожмется в кулак.

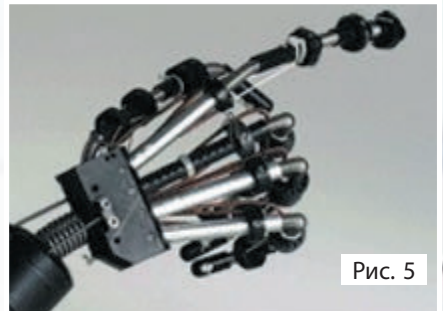


Рис. 5

Ориентировочные темы проектов

1. Экологические проблемы теплоэнергетики и теплоиспользования.
2. Энергосберегающие технологии.
3. Уникальные физические свойства воды.
4. Жидкие кристаллы и их применение.
5. Полимеры.
6. Холодильные машины.
7. Кондиционеры, тепловые насосы.

Темы рефератов и сообщений

1. Адаптация растений к высоким температурам.
2. Испарение и конденсация в живой природе.
3. Применение испарения и конденсации в технике.
4. Конвекция в природе.
5. Как, когда и почему происходят природные явления: дождь, туман, снег, роса, град?
6. Почему «плачут» окна?
7. Способы сохранения тепла в помещениях.
8. «Чудеса кулинарии» и законы физики.
9. Аморфные вещества.
10. Жидкие кристаллы, их особенности и применение.
11. История создания наноматериалов.
12. Нанотехнологии в медицине и косметологии: «за» и «против».
13. Вклад украинских ученых в развитие нанотехнологий.
14. Джеймс Прескотт Джоуль — выдающийся английский физик.
15. Влияние тепловых двигателей на окружающую среду.
16. Глобальное потепление — угроза человечеству?
17. Альтернативные источники энергии.
18. Бытовые устройства, работающие за счет энергии солнечного излучения.

Темы экспериментальных исследований

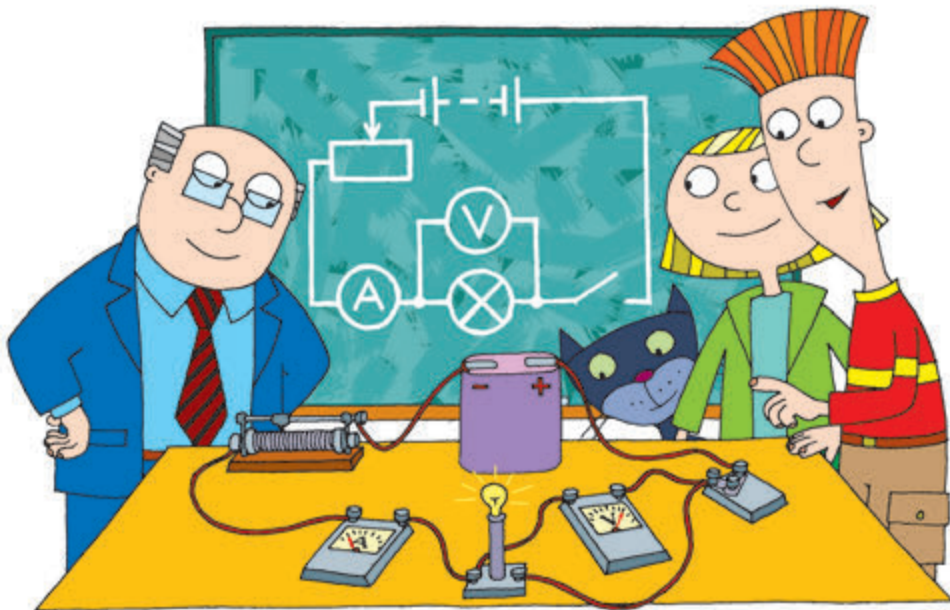
1. Изучение теплопроводности различных материалов.
2. Выращивание кристаллов из разных видов солей.
3. Исследование кипения воды и зависимости температуры кипения воды от внешнего давления и наличия примесей.
4. Создание «холодильников», не использующих электроэнергию.
5. Создание двигателя, использующего энергию свечи.

Перед началом работы над проектом, рефератом, экспериментальным исследованием внимательно ознакомьтесь с советами на с. 227–228 учебника.

РАЗДЕЛ II

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

- Вы видели, как к расческе притягиваются наэлектризованные волосы, а теперь узнаете, когда и почему это происходит
- Вы много раз пользовались электрическими устройствами, а теперь узнаете, что называют электрической цепью, и сможете ее собрать
- Вы знаете о существовании электрического тока, а теперь узнаете, при каких условиях он может существовать
- Вы каждый день используете электрическую энергию, а теперь научитесь рассчитывать ее количество и стоимость
- Вы неоднократно видели молнию, а теперь сможете объяснить, почему она возникает и как от нее уберечься



ЧАСТЬ 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

§ 19. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

Горные инженеры и военные называют зарядом взрывчатку; иногда слово «заряд» используют для определения «запаса чувств» (заряд бодрости). А что такое электрический заряд?

1

Знакомимся с электромагнитным взаимодействием

Строение атома вы уже изучали в курсах природоведения, физики, химии. Вспомним: атом любого вещества состоит из ядра, вокруг которого расположены электроны.

Понятно, что без взаимного притяжения электронов и ядра атом распался бы. Можно предположить, что такое притяжение обусловлено гравитационным взаимодействием. Но это не так: электроны и ядро очень легкие, и гравитационное взаимодействие между ними слишком слабое — оно недостаточно для того, чтобы удерживать электроны около ядра. Атом не распадается благодаря взаимодействию другого вида — его называют **электромагнитным взаимодействием**.

Но ведь ядро и электроны, из которых состоит атом, открыты учеными относительно недавно, менее 150 лет тому назад. Неужели о существовании электромагнитного взаимодействия ученые не знали раньше? Конечно, знали.

Более двадцати пяти веков назад древнегреческий философ, математик, исследователь природы *Фалес* (ок. 625 — ок. 547 до н. э.) из города Милета натирал мехом кусок янтаря и наблюдал, как после этого янтарь начинал притягивать к себе птичьи перья, пух, соломинки, сухую листву. Греческое название янтаря — *электрон*, поэтому процесс, в результате которого тело приобретает свойство притягивать к себе другие тела, называли *электризацией*, а само тело — *наэлектризованным*.

Из повседневной жизни мы знаем, что после расчесывания сухих волос пластмассовой расческой последняя электризуется — приобретает свойство притягивать к себе ворсинки, обрывки бумаги и т. п. Аналогичное свойство приобретает и эбонитовая палочка в результате трения о шерсть или палочка из оргстекла, если ее потереть о шелк или бумагу ([рис. 19.1](#)).

2 Узнаём об электрическом заряде

Наэлектризованные тела притягивают не только легкие ворсинки, соломинки, обрывки бумаги, но и металлические предметы, комочки земли и даже тонкие струи воды или масла. Обратите внимание, что интенсивность электромагнитного взаимодействия может быть разной. Так, в опыте, изображенном на рис. 19.2, а, струя воды отклоняется больше, чем в опыте, изображенном на рис. 19.2, б.

? Проведите подобные опыты. Вместо палочки удобно использовать пластмассовую расческу, наэлектризовав ее расчесыванием волос.

Чтобы иметь возможность количественно описывать интенсивность электромагнитного взаимодействия, была введена физическая величина — *электрический заряд*.

Электрический заряд — это физическая величина, характеризующая свойство тел и частиц вступать в электромагнитное взаимодействие.

Электрический заряд обозначают символом q . *Единица электрического заряда в СИ — кулон* (названа в честь французского физика Шарля Кулона):

$$[q] = 1 \text{ Кл.}$$

Данная единица является производной от основных единиц СИ (определение кулона будет дано в § 27).

О наэлектризованном теле говорят, что оно *имеет электрический заряд — тело заряжено*.

Электризация — это процесс приобретения макроскопическими телами электрического заряда.

3 Изучаем основные свойства электрического заряда

1. Существует *два рода электрических зарядов — положительные и отрицательные*. Электрический заряд такого рода, как заряд, полученный на янтаре или эбонитовой



Рис. 19.1. Чтобы наэлектризовать палочку из оргстекла, достаточно потереть ее листом бумаги (а). После этого палочка начинает притягивать к себе разные мелкие предметы (б)



Рис. 19.2. Интенсивность электромагнитного взаимодействия наэлектризованной палочки и струи воды может быть разной

палочке, потертых о шерсть, принято называть отрицательным, а такого рода, как заряд, полученный на палочке из стекла, потертой о шелк или бумагу, — положительным.

2. Тела, имеющие заряды одного знака, отталкиваются; тела, имеющие заряды противоположных знаков, притягиваются (рис. 19.3).

3. Носителем электрического заряда является частица — *электрический заряд не существует отдельно от частицы*. Во время электризации тело принимает или отдает некоторое количество частиц, имеющих электрический заряд*.

Обычно при электризации тело принимает или отдает некоторое число электронов.

4. Электрический заряд является дискретным, то есть электрические заряды физических тел кратны определенному наименьшему (элементарному) заряду:

$$q = Ne,$$

где q — заряд тела; N — целое число; e — элементарный заряд.

Носителем наименьшего отрицательного заряда является электрон. Этот заряд обозначают символом e : $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Носителем наименьшего положительного заряда является протон. Заряд протона по модулю равен заряду электрона: $q_p = +1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.



Как вы считаете, может ли физическое тело иметь заряд $0,5e$? $-17,7e$? $198e$?

5. И микрочастицы, и макроскопические тела могут иметь заряд (положительный или отрицательный), а могут быть нейтральными. Нейтральной частицей — частицей, заряд которой равен нулю, — является *нейтрон* (нейтроны и протоны образуют ядро атома).

Таким образом, в состав атома входят нейтральные нейтроны и имеющие заряд протоны и электроны. Сам атом нейтрален, так как число электронов в нем равно числу протонов.

Подводим итоги



Электрический заряд — это физическая величина, характеризующая свойство частиц и тел вступать в электромагнитное взаимодействие. Заряд обозначают символом q и измеряют в кулонах (Кл).

* Далее частицы, имеющие электрический заряд, будем называть *заряженными частицами*.

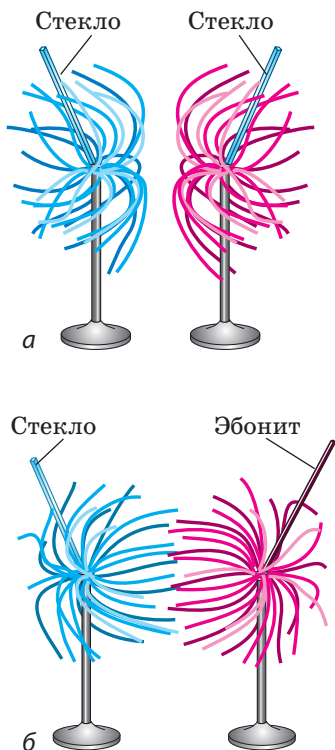


Рис. 19.3. Одноименно заряженные полоски бумаги отталкиваются (а); разноименно заряженные — притягиваются (б)

Процесс получения электрического заряда макроскопическими телами называют электризацией. При электризации тело обычно присоединяет или отдает некоторое количество электронов.

Различают два рода электрических зарядов: положительные и отрицательные. Одноименно заряженные тела отталкиваются, а разноименно заряженные — притягиваются.

Электрический заряд является дискретным: существует минимальный (элементарный) электрический заряд, которому кратны все электрические заряды любых заряженных тел и частиц. Электрический заряд не существует отдельно от частицы; носителем элементарного отрицательного заряда является электрон, положительного — протон.

Контрольные вопросы

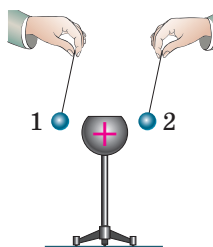


1. Что называют электрическим зарядом?
2. Назовите единицу электрического заряда.
3. Какие роды зарядов существуют? Приведите примеры.
4. Как взаимодействуют тела, имеющие одноименные заряды? разноименные заряды?
5. Из каких частиц состоит атом? ядро атома?
6. Какая частица имеет наименьший отрицательный заряд? наименьший положительный заряд?
7. Как вы понимаете утверждение, что электрический заряд является дискретным?

Упражнение № 19



1. На рисунке изображены положительно заряженное тело и подвешенные на нитях шарики 1 и 2. Определите знаки зарядов шариков.
2. На тонкой шелковой нити висит заряженный бумажный шар. Как, имея эбонитовую палочку и кусочек шерсти, определить знак электрического заряда шара?
3. Атом, в ядре которого 12 протонов, потерял 2 электрона. Сколько электронов осталось в атоме?
4. Сколько избыточных электронов передано телу, если его заряд равен -1 Кл?



5. Воспользовавшись дополнительными источниками информации или собственным опытом, приведите несколько интересных примеров взаимодействия заряженных тел.
6. Определите силу, с которой тело массой 5 г притягивается к Земле. Как называют эту силу? Выполните схематический рисунок, на котором укажите направление действия и точку приложения этой силы.



Экспериментальное задание



Составьте план исследования взаимодействия заряженных тел. В качестве объектов для исследования возьмите бумажную и полиэтиленовую полоски размером примерно 4×15 см, подвешенную на нити полиэтиленовую полоску размером 2×3 см, пластмассовую ручку. Проведите соответствующий эксперимент.



Видеоопыт. Посмотрите видеоролик и объясните наблюдаемое явление.

Физика и техника в Украине



Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина (ХНУ), основанный в ноябре 1804 г., — один из старейших университетов Восточной Европы. История ХНУ является неотъемлемой частью интеллектуальной, культурной и духовной истории нашей страны. С Харьковским университетом связаны имена таких всемирно известных ученых и просветителей, как *П. П. Гулак-Артемовский, А. М. Ляпунов, Н. И. Костомаров, Н. П. Барабашов, Н. Н. Бекетов, Д. И. Багалей,*

А. Н. Краснов, М. В. Остроградский, В. А. Стеклов, А. А. Потебня, А. В. Погорелов, и многих других. Харьковский университет — единственный в Украине, где учились или работали три лауреата Нобелевской премии — биолог *И. И. Мечников*, физик *Л. Д. Ландау*, экономист *Саймон Кузнец*.

С 1998 г. ректор ХНУ — академик НАН Украины *Виль Савбанович Бакиров*.



§ 20. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Вспомните, как при расчесывании сухие и чистые волосы «тянутся» за пластмассовой расческой. В данном случае происходит электризация: и волосы, и расческа приобретают электрический заряд. А вот почему волосы даже на расстоянии повторяют движения расчески (словно кобра — движения дудочки индийского факира), вы узнаете из этого параграфа.

1

Наблюдаем взаимодействие заряженных тел

Из § 19 вы узнали, что заряженная палочка притягивает незаряженные кусочки бумаги. Если вы проводили такой эксперимент, то наверняка обратили внимание на то, что кусочки бумаги «чувствовали» приближение палочки заранее, еще до того, как она их касалась. То есть заряженная палочка действует на другие объекты на расстоянии! Выясним, почему так происходит.

Нам понадобятся натертый графитом маленький воздушный шарик*, подвешенный на шелковой нити, эбонитовая палочка, кусочек шерстяной ткани, лист бумаги и пластина из оргстекла.

Наэлектризуем эбонитовую палочку, потерев ее о шерсть. Затем прикоснемся палочкой к подвешенному на нити шарiku, — шарик приобретет отрицательный заряд. Потрем пластину из оргстекла бумагой — пластина приобретет положительный заряд. Станем медленно приближать пластину

* Очень мягким простым карандашом зарисуйте кусочек бумаги и натрите этим кусочком шарик.

к шарiku. По мере ее приближения нить, на которой подвешен шарик, начнет отклоняться от вертикали. Если же остановить сближение, то шарик так и останется неестественно отклоненным (рис. 20.1, а). Более того, подняв пластину над шариком, мы можем заставить шарик замереть в еще более неестественном для него положении (рис. 20.1, б). Что же происходит? Почему шарик так себя ведет? Ответ очевиден: на шарик — кроме силы тяжести и силы натяжения нити — со стороны наэлектризованной пластины действует третья сила (на рисунке — $\vec{F}_{\text{эл}}$).

2 Даём определение электрического поля

Из описанного выше эксперимента можно сделать вывод о том, что *наэлектризованная пластина служит причиной определенных изменений в окружающем ее пространстве*. А именно: пространство изменяется таким образом, что начинает действовать на заряженный шарик с некоторой силой. Физики сказали бы, что *в пространстве существует электрическое поле*.

Электрическое поле — это вид материи, которая существует вокруг заряженных частиц или тел и действует с некоторой силой на другие частицы или тела, имеющие электрический заряд.

Таким образом, электрическое взаимодействие заряженных частиц или тел осуществляется через электрическое поле.

Сила, с которой электрическое поле действует на заряженные частицы или тела, называют *электрической силой* $\vec{F}_{\text{эл}}$.

? Очевидно, что не только заряженная пластина своим электрическим полем действует на заряженный шарик, — шарик своим полем тоже действует на пластину. Объясните, почему пластина при этом не отклоняется.

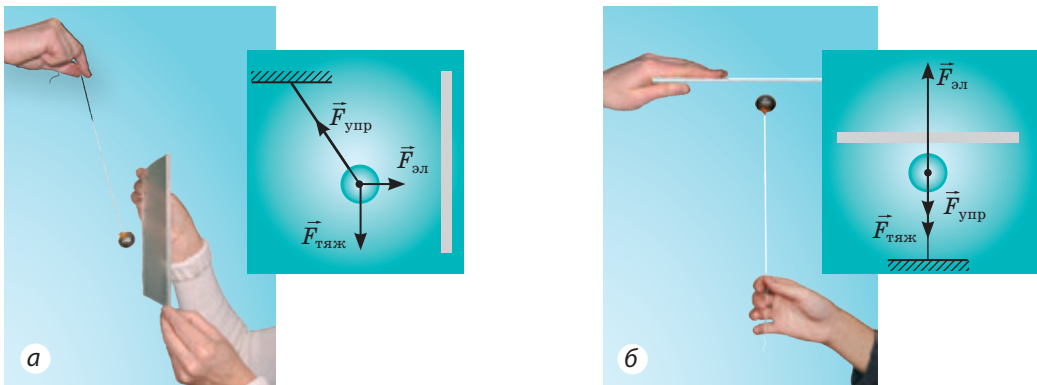


Рис. 20.1. Отрицательно заряженный шарик притягивается к положительно заряженной пластине из оргстекла. Шарик будет находиться в состоянии покоя, когда сила тяжести $\vec{F}_{\text{тяж}}$ и сила натяжения нити $\vec{F}_{\text{упр}}$ будут скомпенсированы силой $\vec{F}_{\text{эл}}$, действующей на шарик со стороны наэлектризованной пластины

3 Характеризуем электрическое поле

Органы чувств человека не воспринимают электрическое поле заряженного тела — мы не можем это поле увидеть, услышать, потрогать. А как же узнать, какие свойства оно имеет? Думаем, что вы уже догадались: изучать электрическое поле можно по его действию на заряженные частицы или тела.

Именно это действие подтверждает тот факт, что *электрическое поле материально*, ведь, во-первых, оно действует на материальные объекты (заряженный шарик, кусочек бумаги, струю воды) и, во-вторых, действует независимо от сознания человека.

Проведем опыт, воспользовавшись металлической сферой на пластмассовой подставке. Тщательно наэлектризуем стеклянную палочку, потерев ее о бумагу, и коснемся палочкой сферы. Сфера приобретет положительный заряд (рис. 20.2). Пространство около сферы изменится — вокруг нее будет существовать электрическое поле. Будем изучать это поле с помощью легкого положительно заряженного шарика (рис. 20.3).

Опыт продемонстрирует, что, во-первых, *электрическое поле существует в любой точке пространства, окружающего заряд* (заряженную сферу), во-вторых, *с удалением от заряда поле становится слабее*. Можно также утверждать, что *электрическое поле имеет энергию*, ведь в результате его действия шарик приходит в движение, отклоняясь на некоторый угол.

Мы обнаружили только некоторые свойства электрического поля. Детальнее о нем вы узнаете в старших классах, а пока обратим внимание на то, что *электрическое поле может существовать где угодно*, даже в вакууме.

4 Изображаем электрическое поле графически

Когда вы хотите как можно лучше рассказать о месте, в котором побывали, или о новом друге, что вы, скорее всего, сделаете? Наверное, многие ответят: «Покажу фотографии».

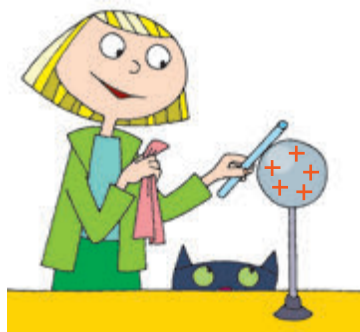


Рис. 20.2. При касании сферы положительно заряженной палочкой сфера приобретает положительный заряд

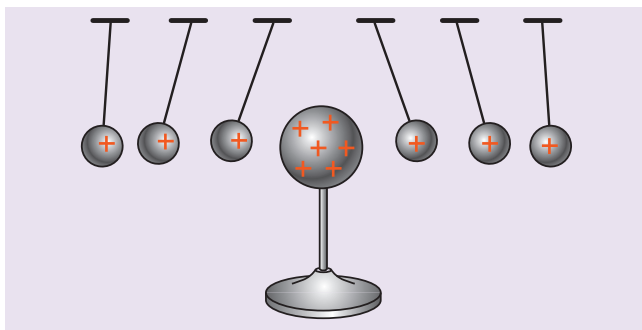


Рис. 20.3. Исследование электрического поля заряженной сферы: электрическое поле сферы действует на заряженный шарик в любой точке вблизи сферы; с увеличением расстояния от сферы электрическая сила, действующая на шарик, уменьшается

Электрическое поле, к сожалению, сфотографировать невозможно. Английский физик *Майкл Фарадей* предложил изображать электрические поля графически — с помощью *силовых линий*.

Силовые линии электрического поля — это условные линии, вдоль касательных к которым на заряженное тело действует сила со стороны электрического поля.

По направлению силовых линий можно определить направление, в котором электрическое поле действует на электрический заряд. Плотность силовых линий на рисунке показывает, насколько сильным является электрическое поле: чем сильнее поле, тем плотнее расположены линии.

Рассмотрим рис. 20.4, на котором графически изображено электрическое поле, созданное двумя разноименными зарядами. Определим, куда направлена сила $\vec{F}_{\text{эл}}$, действующая на положительный заряд, помещенный в точку A поля. Для этого через точку A проведем касательную к силовой линии. Сила $\vec{F}_{\text{эл}}$ будет действовать вдоль касательной в направлении силовой линии. Понятно, что если в точку A поместить отрицательный заряд, то сила будет направлена противоположно силе $\vec{F}_{\text{эл}}$.

? Определите, куда будет направлена сила, действующая на отрицательный заряд, помещенный в точку B (см. рис. 20.4). В какой точке — A или B — электрическое поле сильнее?

В общем случае силовые линии электрического поля являются кривыми линиями, но могут быть и прямыми. Например, силовые линии электрического поля равномерно заряженного шарика, удаленного от других заряженных тел, — прямые линии (рис. 20.5, *а, б*). Прямыми являются

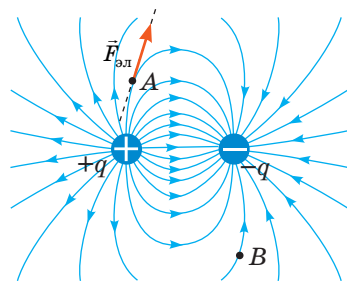


Рис. 20.4. Картина силовых линий электрического поля, образованного системой двух одинаковых по модулю разноименных зарядов ($+q$ и $-q$); $\vec{F}_{\text{эл}}$ — сила, с которой электрическое поле действует на положительный заряд в точке A

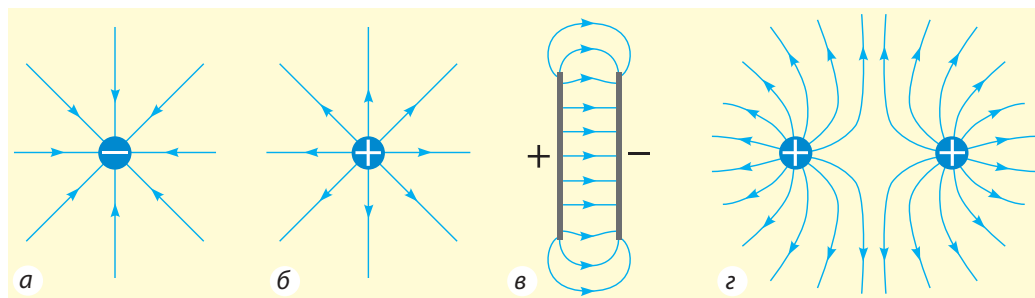


Рис. 20.5. Картины силовых линий электрических полей, образованных: *а* — отрицательно заряженным шариком; *б* — положительно заряженным шариком; *в* — системой двух параллельных пластин, заряды которых одинаковы по модулю и противоположны по знаку; *г* — системой двух шариков, имеющих одинаковые положительные заряды

и силовые линии электрического поля между двумя параллельными пластинами, имеющими одинаковые по значению и противоположные по знаку заряды (рис. 20.5, в).

Обратите внимание: силовые линии электрического поля начинаются на положительном заряде и заканчиваются на отрицательном (см., например, рис. 20.4, 20.5).

5

Узнаём о влиянии электрического поля на организм человека

Экспериментально доказано, что поверхность Земли заряжена отрицательно, а верхние слои атмосферы — положительно, следовательно, в атмосфере Земли существует электрическое поле. С развитием цивилизации это естественное поле дополнилось электрическими полями различных электротехнических устройств, используемых человеком.

Сегодня известно, что клетки и ткани организма человека тоже создают около себя электрические поля. Регистрацию и измерение этих полей широко применяют для диагностирования разных заболеваний (электроэнцефалография, электрокардиография, электроретинография и др.).

Мы живем в настоящей паутине, сотканной из огромного количества электрических полей. Долгое время считалось, что они не влияют на людей, но сейчас уже известно, что действие внешнего электрического поля на клетки и ткани организма человека, особенно продолжительное, приводит к негативным последствиям.

Например, при работе компьютера на экране монитора накапливается электрический заряд; клавиатура и компьютерная мышь тоже электризуются в результате трения. Под влиянием электрических полей, созданных этими заряженными телами, у пользователя изменяются гормональное состояние и биотоки мозга, что вызывает ухудшение памяти, повышенную утомляемость и др.



Почему для здоровья человеку лучше носить одежду, изготовленную из натуральных тканей, например из хлопка, а не синтетическую?

Что же делать? Ведь совсем отказаться от работы за компьютером, просмотра телевизора, использования бытовой техники, которая тоже является источником электрических полей, достаточно трудно. Нелегко полностью отказаться и от синтетических тканей. Решить проблему можно, ослабив электрическое поле, например, путем повышения влажности воздуха или применения антистатиков. Более эффективный, но и более дорогой способ — искусственная ионизация воздуха, насыщение его легкими отрицательными ионами. С этой целью применяют *аэроионизаторы* — генераторы отрицательных ионов воздуха.



Подводим итоги

Электрическое поле — это вид материи, которая существует вокруг заряженных частиц или тел и действует с некоторой силой на другие частицы или тела, имеющие электрический заряд.

Существует удобный способ наглядного описания электрических полей, а именно графическое изображение с помощью силовых линий электрического поля — условных линий, вдоль касательных к которым на заряженное тело действует сила со стороны электрического поля. По направлению силовых линий можно определить направление, в котором электрическое поле действует на электрический заряд.

От влияния внешних электрических полей зависят общее самочувствие человека, функциональное состояние основных систем организма.



Контрольные вопросы

1. Как экспериментально доказать, что тела, имеющие электрический заряд, взаимодействуют на расстоянии?
2. Что такое электрическое поле?
3. Как определить, существует ли в некоторой точке пространства электрическое поле?
4. Назовите основные свойства электрического поля.
5. Дайте определение силовых линий электрического поля. Как они направлены?
6. Какой вид имеет картина силовых линий электрического поля положительно заряженной сферы? отрицательно заряженной сферы?
7. Как влияют на организм человека внешние электрические поля?



Упражнение № 20

1. На рис. 1 изображены силовые линии электрического поля между двумя парами заряженных пластин. Поле между какими пластинами интенсивнее? Определите знак заряда каждой пластины.
2. На рис. 2 изображены силовые линии электрических полей, созданных двумя разными по модулю зарядами. Для каждого случая определите: 1) направление силовых линий; 2) какой заряд больше по модулю; 3) направление силы, действующей на положительный заряд, расположенный в точке *A*; 4) направление силы, действующей на отрицательный заряд, расположенный в точке *B*.

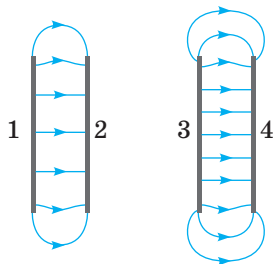


Рис. 1

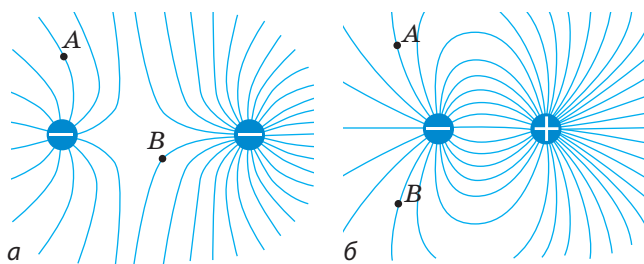


Рис. 2

3. Между двумя разноименно заряженными пластинами зависла отрицательно заряженная капелька масла массой 3,2 мг (рис. 3). Определите направление и значение силы, действующей на капельку со стороны электрического поля пластин, а также знак заряда каждой пластины.



Рис. 3

4. Определите силу натяжения нити (см. рис. 20.1, б), если электрическое поле действует на шарик с силой 56 мН, объем шарика — 4 см^3 , его средняя плотность — $0,6 \text{ г/см}^3$.
5. Один из первых аэроионизаторов, который используют и сегодня, — люстра Чижевского. Прибор генерирует отрицательные ионы — «электрические витамины», как называл их изобретатель прибора Александр Леонидович Чижевский. Воспользовавшись дополнительными источниками информации, узнайте об этом изобретении и его авторе.
6. Может ли частица иметь электрический заряд, который равен $8 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$? $-2,4 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$? $2,4 \cdot 10^{-18} \text{ Кл}$? Поясните свой ответ.



Экспериментальные задания

1. Предложите и испытайте несколько индикаторов электрического поля.
2. «Летающая вата». Возьмите маленький кусочек ваты диаметром не более 5 мм, распушите его и положите на наэлектризованную пластмассовую линейку. Резко встряхнув линейку, добейтесь, чтобы кусочек начал «плавать» над ней в воздухе. Объясните наблюдаемое явление. Выполните рисунок, на котором укажите силы, действующие на вату.

i

§ 21. МЕХАНИЗМ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ. ЭЛЕКТРОСКОП



Рис. 21.1. Уильям Гильберт (1544–1603) — английский физик и врач, основатель науки об электричестве

Считается, что систематическое изучение электромагнитных явлений первым начал английский ученый У. Гильберт (рис. 21.1). Однако объяснить электризацию тел смогли лишь три столетия спустя. После открытия электрона физики выяснили, что часть электронов может отрываться от атома или присоединяться к нему, превращая нейтральный атом в заряженную частицу — ион. А как происходит электризация макроскопических тел?

1 Рассматриваем электризацию трением

Вооружившись знаниями о строении атома, рассмотрим процесс *электризации трением*. Потрем эбонитовую палочку о шерстяную ткань, — как вы уже знаете, палочка приобретет отрицательный заряд. Выясним, почему возникает этот заряд.

Перед трением палочка и шерсть были электрически нейтральными (незаряженными). Однако в случае плотного контакта двух тел, изготовленных из разных материалов, часть электронов переходит с одного тела на другое (расстояния, на которые при этом перемещаются электроны, не превышают межатомных расстояний). Если теперь тела разъединить, то они окажутся заряженными: *тело, которое отдало часть своих электронов, будет заряжено положительно, а тело, которое*

их получило, — отрицательно. Шерсть удерживает свои электроны слабее, чем эбонит, поэтому при контакте электроны в основном переходят с шерстяной ткани на эбонитовую палочку, а не наоборот. В результате палочка оказывается заряженной отрицательно, а шерсть — положительно. Аналогичного результата можно достичь, если расчесать сухие волосы пластмассовой расческой (рис. 21.2).

Следует отметить, что общепринятое выражение «электризация трением» является не совсем точным, правильнее было бы говорить об электризации касанием, ведь трение нужно лишь для того, чтобы увеличить количество участков плотного контакта тел.

2 Формулируем закон сохранения электрического заряда

Если перед опытом, описанным в пункте 1, палочка и шерстяная ткань были не заряжены, то после контакта они окажутся заряженными, причем их заряды будут равны по модулю и противоположны по знаку. То есть их суммарный заряд, как и перед опытом, будет равен нулю.

Экспериментально было установлено, что *при электризации происходит перераспределение имеющихся электрических зарядов, а не создание новых*, то есть выполняется **закон сохранения электрического заряда**:

Полный заряд электрически замкнутой системы тел остается неизменным при любых взаимодействиях, происходящих в этой системе:

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const},$$

где $q_1, q_2, \dots, q_n$ — заряды тел, образующих электрически замкнутую систему (n — количество таких тел).

Под электрически замкнутой системой тел понимают такую систему, в которую не проникают заряженные частицы извне и которая не теряет «собственные» заряженные частицы.

3 Заземляем приборы и устройства. Различаем проводники и диэлектрики

Если попробовать наэлектризовать трением металлический стержень, удерживая его в руке, то окажется, что это невозможно. Дело в том, что металлы — это вещества со множеством так называемых *свободных электронов*, которые легко перемещаются по всему объему металлического тела. Такие вещества называют *проводниками*. Попытка наэлектризовать металлический стержень, держа его в руке, приведет к тому, что избыточные электроны

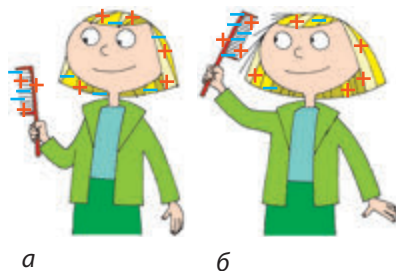


Рис. 21.2. Перед расчесыванием число положительно заряженных частиц на волосах и расческе равно числу частиц, заряженных отрицательно (а). Во время расчесывания часть электронов с волос перейдет на расческу, в результате чего расческа зарядится отрицательно, а волосы — положительно (б)



Рис. 21.3. Электризация сферы через влияние (а); индикатором наличия заряда служит положительно заряженный шарик — он отклоняется от сферы, значит, сфера (в отличие от палочки) заряжена положительно (б)

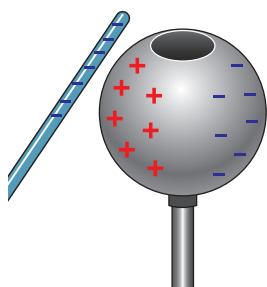


Рис. 21.4. В результате действия электрического поля отрицательно заряженной палочки ближняя к ней часть металлической сферы приобретает положительный заряд

очень быстро «убегут» со стержня и он останется незаряженным. «Дорогой для бегства» электронов является сам исследователь, ведь тело человека — это проводник*.

Обычно «конечный пункт» для электронов — Земля, которая также является проводником. Размеры ее огромны, и если заряженное тело соединить проводником с землей, оно станет практически электронейтральным. Ведь тела, заряженные положительно, получают «недостающие» электроны от земли, а с тел, заряженных отрицательно, «избыточные» электроны уйдут в землю.

Технический прием, который позволяет разрядить любое заряженное тело путем соединения этого тела проводником с землей, называют **заземлением**.

В некоторых случаях, например чтобы передать заряд проводящему телу или сохранить на нем заряд, заземления следует избегать. Для этого используют *диэлектрики*. В диэлектриках — их еще называют *изоляторами* — свободные заряженные частицы практически отсутствуют. Поэтому если между землей и заряженным телом поставить барьер в виде изолятора, свободные заряженные частицы не смогут ни покинуть тело, ни попасть на него и тело останется заряженным.

Стекло, оргстекло, эбонит, янтарь, резина, бумага — диэлектрики, поэтому в опытах по электростатике их легко наэлектризовать — заряд с них не стекает.

4 Узнаём об электризации через влияние

Проведем опыт. Приблизим (не касаясь) отрицательно заряженную эбонитовую палочку к незаряженной металлической сфере, расположенной на изолированной подставке. На миг прикоснемся рукой к части сферы, удаленной от заряженного тела (рис. 21.3, а), а затем уберем заряженную палочку. Отклонение положительно заряженного легкого шарика покажет, что сфера получила положительный заряд (рис. 21.3, б).

* Поскольку тело человека является проводником, опыты с электричеством могут быть опасны для их участников!

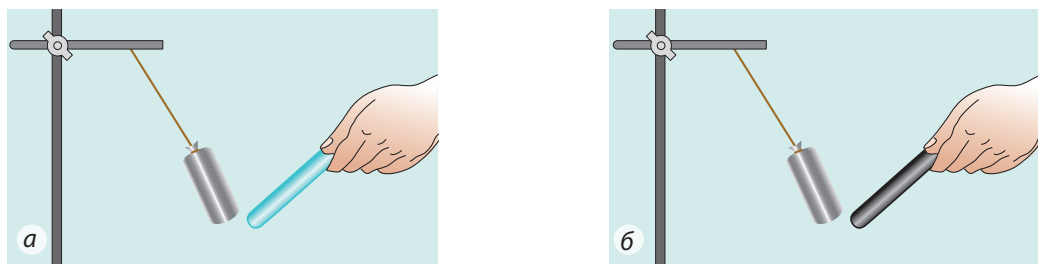


Рис. 21.5. К вопросу в § 21

Обратите внимание: знак заряда сферы является противоположным знаку заряда эбонитовой палочки.

Поскольку в данном случае непосредственного контакта между заряженным и незаряженным телами не было, описанный процесс называют *электризацией через влияние* или **электростатической индукцией**.

Объясняется этот вид электризации так. В результате воздействия электрического поля заряженной палочки свободные электроны перераспределяются по поверхности металлической сферы. Электроны имеют отрицательный заряд, поэтому они отталкиваются от отрицательно заряженной палочки. В результате число электронов станет избыточным на удаленной от палочки части сферы и недостаточным — на ближней (рис. 21.4). Если коснуться сферы рукой, часть свободных электронов перейдет со сферы на тело исследователя, — на сфере возникнет недостаток электронов, и она станет положительно заряженной.

? Выяснив механизм электризации через влияние, объясните, почему незаряженное металлическое тело всегда притягивается к телу, имеющему электрический заряд. Например, почему гильза из металлической фольги притягивается как к стеклянной палочке, имеющей положительный заряд (рис. 21.5, а), так и к эбонитовой палочке, заряд которой отрицателен (рис. 21.5, б)? Что произойдет, если гильза прикоснется к палочке?

Сложнее объяснить притяжение к наэлектризованной палочке кусочков бумаги, ведь известно, что бумага — диэлектрик, поэтому практически

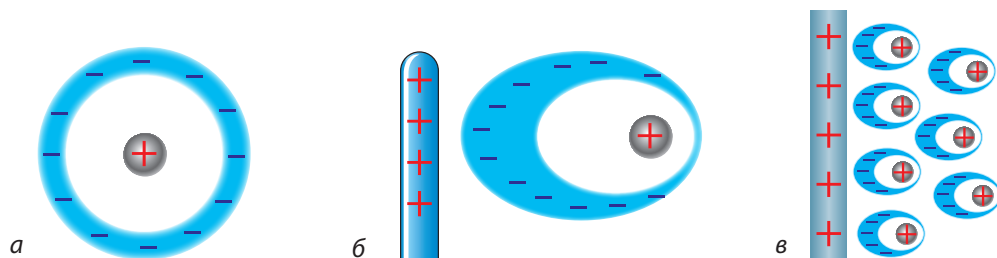


Рис. 21.6. В результате действия внешнего электрического поля форма электронного облака изменяется. Форма электронного облака: при отсутствии поля (а); при наличии поля (б). На поверхности бумаги, ближней к положительно заряженной палочке, образуется отрицательный заряд (в)

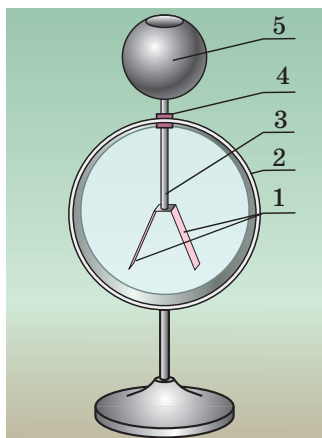


Рис. 21.7. Устройство электрометра: 1 — индикатор (бумажные полоски); 2 — корпус; 3 — металлический стержень; 4 — диэлектрик; 5 — кондуктор

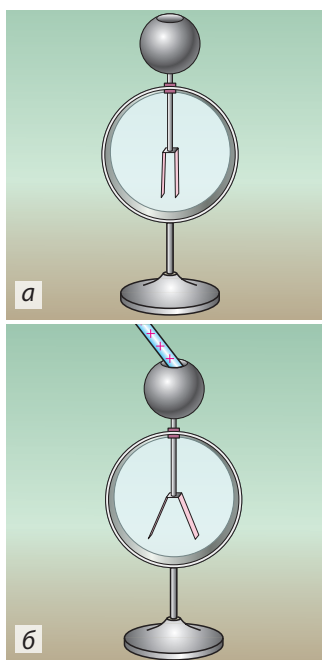


Рис. 21.8. Электрометр не заряжен, и полоски бумаги расположены вертикально (а); после прикосновения заряженного тела к кондуктору электрометра полоски расходятся (б)

не имеет свободных электронов. Дело в том, что электрическое поле заряженной палочки действует на связанные электроны атомов, из которых состоит бумага, вследствие чего изменяется форма электронного облака — оно становится вытянутым (рис. 21.6). В результате на ближней к палочке поверхности бумаги образуется заряд, противоположный по знаку заряду палочки, и поэтому бумага начинает притягиваться к палочке. Описанный процесс называют **поляризацией диэлектрика**.

5 Конструируем электроскоп и знакомимся с электрометром

До сих пор для изучения электрических явлений вы использовали подручные средства. Однако ваших знаний уже достаточно, чтобы понять принцип действия приборов, позволяющих изучать заряды тел.

Издавна, чтобы выявить наличие у тела электрического заряда, определить знак заряда тела и оценить значение заряда, используют **электроскоп** (рис. 21.7). Рассмотрим его устройство.

Любые электрические явления неразрывно связаны с электрическим полем. Вы уже знаете, что наличие электрического поля можно обнаружить по отклонению легкого заряженного шарика. Но шарик — это не очень удобный индикатор, лучше использовать две полоски тонкой бумаги (1). После передачи полоскам одноименного заряда они начнут отталкиваться и их свободные концы разойдутся.

Чтобы сделать прибор как можно более чувствительным, для индикатора (полосок) следует взять очень тонкую бумагу, но тогда на работу прибора могут повлиять сквозняки или даже дыхание наблюдателя. Поэтому полоски помещают в корпус (2) с прозрачными боковыми стенками.

А вот чтобы донести к индикатору заряд, используют проводник — металлический стержень (3). Электрический заряд не должен стекать со стержня на корпус, поэтому в месте их соединения устанавливают барьер из диэлектрика (4).

Наконец, последний элемент конструкции электрометра — кондуктор (5) — металлический

полый шар, прикрепленный к верхнему концу стержня.

Если к кондуктору электроскопа прикоснуться исследуемым заряженным телом, то часть заряда этого тела попадет на бумажные полоски и они разойдутся (рис. 21.8). *Обратите внимание:* угол между полосками зависит от значения полученного ими заряда. Этот угол тем больше, чем больше полученный заряд.

Для выявления и оценки значения электрического заряда используют также **электрометр** (рис. 21.9). В отличие от электроскопа электрометр обязательно имеет металлический корпус, шкалу, благодаря которой можно точнее оценить значение переданного на электрометр заряда, и легкую металлическую стрелку (вместо бумажных полосок).



Рис. 21.9. Электрометр



Подводим итоги

Если электронейтральное (то есть не имеющее заряда) тело отдает часть своих электронов, оно становится заряженным положительно, а если получает электроны, то становится заряженным отрицательно.

При электризации тел происходит перераспределение имеющихся в них электрических зарядов, а не создание новых. Для изолированной системы тел выполняется закон сохранения электрического заряда: полный заряд электрически замкнутой системы тел остается неизменным при любых взаимодействиях, происходящих в этой системе.

Технический прием, позволяющий разрядить любое заряженное тело путем соединения этого тела проводником с землей, называют заземлением.

В результате действия электрического поля на проводник происходит процесс перераспределения зарядов внутри проводника — электростатическая индукция. При действии электрического поля на диэлектрик происходит поляризация диэлектрика.

Электроскоп — прибор для выявления электрического заряда.



Контрольные вопросы

1. Что происходит при тесном контакте двух тел, изготовленных из разных материалов?
2. Почему при трении эбонитовой палочки о шерстяную ткань электризуются оба тела?
3. Сформулируйте закон сохранения электрического заряда.
4. В чем отличие проводников и диэлектриков?
5. Что называют заземлением?
6. Как с помощью отрицательно заряженного тела зарядить другое тело положительно?
7. Объясните, почему любое незаряженное тело всегда притягивается к телу, имеющему электрический заряд.
8. Для чего используют электроскоп? Расскажите о его устройстве и принципе действия.
9. Чем электрометр отличается от электроскопа?



Упражнение № 21

1. Отличается ли масса незаряженной стеклянной палочки от массы той же палочки, заряженной положительно? Если отличается, то как?
2. Может ли быть так, что после касания кондуктора заряженного электроскопа каким-либо телом электроскоп окажется незаряженным? Поясните свой ответ.
3. Электроскопу передали положительный заряд (рис. 1, а), а затем приблизили другую заряженную палочку (рис. 1, б). Определите знак заряда этой палочки.
4. Два одинаковых проводящих заряженных шарика коснулись друг друга и сразу же разошлись. Вычислите заряд каждого шарика после соприкосновения, если перед соприкосновением заряд первого шарика был равен $-3 \cdot 10^{-9}$ Кл, заряд второго шарика был равен $9 \cdot 10^{-9}$ Кл.
5. Как с помощью отрицательно заряженного металлического шарика, не уменьшая его заряда, отрицательно зарядить точно такой же, но незаряженный шарик?
6. Воспользовавшись дополнительными источниками информации, узнайте, для чего используют антистатик и как он «работает».

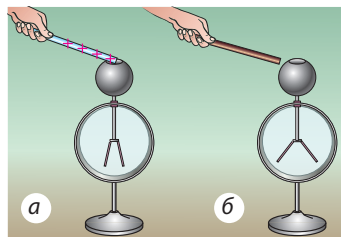


Рис. 1



Экспериментальные задания

1. Из стеклянной банки с капроновой крышкой изготовьте электроскоп (рис. 2). В качестве стержня используйте металлическую спицу. Испытайте электроскоп.
2. Изготовьте из бумаги маленькие легкие кораблики и опустите их на воду. С помощью наэлектризованной расчески заставьте вашу «флотилию» двигаться.



Рис. 2



Видеоопыт. Посмотрите видеоролик и объясните наблюдаемые явления.

Физика и техника в Украине



Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» (КПИ) — крупнейшее высшее учебное заведение страны — был создан в конце XIX в. Тогда на четырех отделениях института обучалось всего 360 студентов. Сегодня КПИ, которому в 1995 г. был присвоен статус Национального технического, а в 2007 г. — статус исследовательского университета, насчитывает свыше 40 тыс. студентов, обучающихся на 19 факультетах. В XX в. с институтом были тесно

связаны жизнь и деятельность всемирно известных ученых и инженеров: Д. И. Менделеева, Н. Е. Жуковского, К. А. Тимирязева, И. И. Сикорского, С. П. Королева, С. П. Тимошенко, Е. О. Патона, Б. Е. Патона и многих других. С 1992 г. ректор университета — академик НАН Украины Михаил Захарович Згуровский.

§ 22. ЗАКОН КУЛОНА

До конца XVIII в. электрические явления изучались только качественно, а электрические машины преимущественно выполняли роль игрушек для развлечений аристократии. Переход к количественным характеристикам, а затем и к практическому применению электричества стал возможен только после того, как французский исследователь *Шарль Кулон* (рис. 22.1) в 1785 г. установил *закон взаимодействия точечных зарядов*. С того времени учение об электричестве превратилось в точную науку.

1 Вводим понятие точечного заряда

Прежде чем приступить к изучению закона взаимодействия точечных зарядов, следует разобраться с термином «*точечный заряд*». Воспользуемся аналогией с механикой, ведь понятие «точечный заряд» подобно понятию «материальная точка». Вспомните прошлогодний курс физики. Например, поезд «*Киев — Львов*» можно рассматривать как материальную точку, если строить график его движения на маршруте между городами. А вот муравья нельзя рассматривать как материальную точку, если, скажем, решать задачу о траектории движения его передней лапки.

По аналогии с материальной точкой *точечным зарядом называют заряженное тело, размерами которого можно пренебречь по сравнению с расстояниями от него до других рассматриваемых заряженных тел*.

Точечный заряд, как и материальная точка, является не реальным объектом, а *физической моделью*. Необходимость введения такой модели вызвана тем, что в общем случае взаимодействие заряженных тел зависит от многих факторов и не существует единой простой формулы, описывающей электрическое взаимодействие для любого произвольного случая.



Рис. 22.1. Шарль Огюстен Кулон (1736–1806) — французский физик и военный инженер. В 1785 г. сформулировал основной закон электростатики, позже названный его именем

2 Устанавливаем, от чего зависит сила взаимодействия двух точечных зарядов

Военный инженер Ш. Кулон начал проводить свои исследования в области, весьма далекой от электростатики. Он изучал закономерности упругого кручения нитей и установил зависимость силы упругости от угла закручивания. Полученные данные позволили Кулону сконструировать чрезвычайно чувствительный прибор, который он назвал **крутильными весами** (рис. 22.2).

Позднее ученый использовал крутильные весы для измерения силы взаимодействия точечных зарядов.

В своих опытах Кулон наблюдал взаимодействие небольших проводящих заряженных шариков. Условия опытов позволяли считать эти шарики точечными зарядами. Опыты ученый проводил так.

В стеклянный цилиндр он поместил заряженный шарик 1 на специальном держателе (см. рис. 22.2). Вращая крышку цилиндра, исследователь добивался, чтобы шарики 1 и 2 соприкоснулись и часть заряда с шарика 1 перешла на шарик 2. Одноименные заряды отталкиваются, поэтому шарик 2 отходил на некоторое расстояние. По углу закручивания провода Кулон определял силу взаимодействия зарядов.

Далее, вращая крышку цилиндра, ученый изменял расстояние между шариками и каждый раз измерял силу их отталкивания. Оказалось, что, когда расстояние увеличивалось в два, три, четыре раза, сила взаимодействия шариков уменьшалась соответственно в четыре, девять и шестнадцать раз. Проведя множество подобных опытов, Кулон сделал вывод, что *сила F взаимодействия двух точечных зарядов обратно пропорциональна квадрату расстояния r между ними:*

$$F \sim \frac{1}{r^2}$$

Чтобы выяснить зависимость силы F от зарядов шариков, Кулон применил следующий прием. Сначала ученый измерял силу взаимодействия двух шариков — 1 и 2, имеющих одинаковый заряд q ($q_1 = q$; $q_2 = q$).

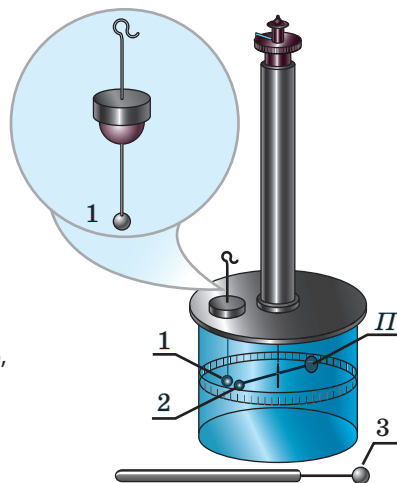
Затем он касался шарика 1 незаряженным шариком 3. Размеры шариков были одинаковы, поэтому заряд распределялся между ними поровну, то есть на шарике 1 оставался заряд $\frac{q}{2}$. После этого Кулон измерял силу взаимодействия заряженного шарика 1 ($q_1 = \frac{q}{2}$) и заряженного шарика 2 ($q_2 = q$).

Продолжая делить заряды шариков и проводя измерения, ученый убедился, что *сила F взаимодействия двух точечных зарядов q_1 и q_2 прямо пропорциональна произведению модулей этих зарядов:*

$$F \sim |q_1| \cdot |q_2|$$

Рис. 22.2. Крутильные весы Кулона.

На металлическом проводе закреплено коромысло, на концах которого размещены шарик 2 и противовес Π . Сквозь отверстие в крышке стеклянного цилиндра опускают шарик 1. Шарик 3 расположен на держателе, изготовленном из диэлектрика



3 Формулируем закон Кулона

На основе проведенных опытов Кулон установил закон, который позже был назван его именем, — **закон Кулона**:

Сила F взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов q_1 и q_2 прямо пропорциональна произведению модулей этих зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния r между ними:

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2},$$

где k — коэффициент пропорциональности.

При взаимодействии точечных зарядов в вакууме* $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

Обратите внимание: в законе Кулона речь идет о модулях зарядов, так как знаки зарядов влияют только на направление силы.

Силы, с которыми взаимодействуют два точечных заряда, называют еще **силами Кулона**.

Силы Кулона направлены вдоль условной прямой, которая соединяет взаимодействующие точечные заряды (рис. 22.3).

Зная значение коэффициента k , можно оценить силу, с которой два заряда по 1 Кл каждый взаимодействуют на расстоянии 1 м. Это очень большая сила! Она равна, например, силе тяжести, действующей на огромное судно (рис. 22.4).

 Воспользовавшись законом Кулона, определите значение этой силы.

4 Учимся решать задачи

Задача. Два небольших отрицательно заряженных шарика расположены в воздухе на расстоянии 30 см друг от друга. Сила их взаимодействия равна 32 мкН. Определите число избыточных электронов на втором шарике, если заряд первого шарика равен -40 нКл .

* Во многих средах сила взаимодействия будет значительно меньше, чем в вакууме. В воздухе по сравнению с вакуумом она меньше незначительно.

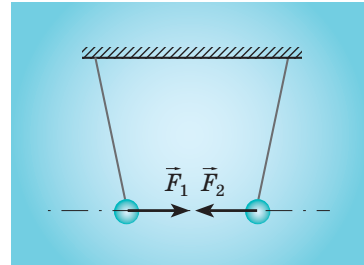
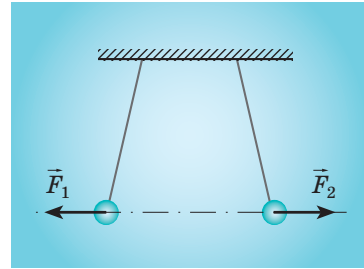


Рис. 22.3. Силы электрического взаимодействия ($\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$) направлены вдоль условной прямой, соединяющей точечные заряды



Рис. 22.4. Если бы на днище судна и на расстоянии 1 м под его днищем можно было разместить одноименные заряды по 1 Кл каждый, то удалось бы преодолеть силу земного притяжения и без специальных устройств поднять судно

Анализ физической проблемы. Чтобы определить число избыточных электронов, вспомним, что электрический заряд является дискретным: $|q| = N|e|$, где N — число избыточных электронов, а $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл — заряд электрона.

Шарики небольшие и расположены на значительном расстоянии друг от друга, поэтому их можно считать точечными зарядами и для вычисления заряда q_2 воспользоваться законом Кулона.

Дано:

$$r = 0,3 \text{ м}$$

$$F = 32 \cdot 10^{-6} \text{ Н}$$

$$q_1 = -40 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$$

Найти:

N_2 — ?

Поиск математической модели, решение

По закону Кулона
$$F = \frac{k|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}.$$

Следовательно,
$$Fr^2 = k|q_1| \cdot |q_2| \Rightarrow |q_2| = \frac{Fr^2}{k|q_1|}.$$

Но $|q_2| = N_2|e|$, поэтому $N_2|e| = \frac{Fr^2}{k|q_1|}$. Отсюда имеем:

$$N_2 = \frac{Fr^2}{k|q_1| \cdot |e|}.$$

Проверим единицу, найдем значение искомой величины:

$$[N_2] = \frac{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \text{Кл} \cdot \text{Кл}}}{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \text{Кл} \cdot \text{Кл}} = 1 \text{ (число электронов — безразмерная величина);}$$

$$N_2 = \frac{32 \cdot 10^{-6} \cdot 0,09}{9 \cdot 10^9 \cdot 40 \cdot 10^{-9} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = \frac{32 \cdot 9 \cdot 10^{-8}}{9 \cdot 4 \cdot 16 \cdot 10^{-19}} = 5 \cdot 10^{10}.$$

Ответ: $N_2 = 5 \cdot 10^{10}$.



Подводим итоги

Точечным зарядом называют заряженное тело, размерами которого можно пренебречь по сравнению с расстояниями от него до других рассматриваемых заряженных тел.

Закон Кулона: сила F взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов q_1 и q_2 прямо пропорциональна произведению модулей этих зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния r между ними: $F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$. Силы Кулона направлены вдоль условной прямой, которая соединяет взаимодействующие точечные заряды.



Контрольные вопросы

1. Какой заряд называют точечным? Сравните понятия «точечный заряд» и «материальная точка».
2. Опишите прием, который применил Ш. Кулон, чтобы выяснить зависимость силы взаимодействия двух точечных зарядов от модулей этих зарядов.
3. Сформулируйте закон Кулона.
4. Почему, формулируя закон Кулона, нужно обязательно пользоваться понятием «точечный заряд»?
5. Как направлена сила Кулона?



Упражнение № 22

1. На рис. 1 изображены две пары шариков. Изобразите силу Кулона, действующую на каждый шарик.
2. Как изменится сила взаимодействия двух точечных зарядов, если модуль каждого из них увеличить в 2 раза?
3. Как изменилось расстояние между двумя точечными зарядами, если известно, что сила их взаимодействия уменьшилась в 9 раз?
4. Два шарика находятся на расстоянии 16 см друг от друга. Какова сила взаимодействия шариков, если известно, что на каждом из них $2 \cdot 10^{10}$ избыточных электронов? Считайте шарики точечными зарядами.
5. Два одинаковых проводящих шарика с зарядами -5 нКл и $+15$ нКл соприкоснулись и разошлись на расстояние 60 см. Определите силу взаимодействия шариков. Считайте шарики точечными зарядами.
6. На рис. 2 изображены три пары проводящих шариков, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга. Модули зарядов всех шариков одинаковы. С одинаковой ли силой взаимодействуют пары шариков? Если нет, то какая пара взаимодействует сильнее?

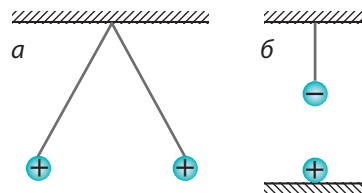


Рис. 1

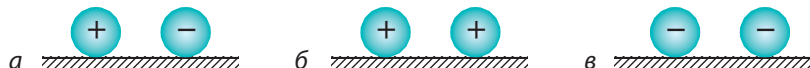


Рис. 2



7. Установите соответствие между свойством, лежащим в основе действия устройства, и названием этого устройства.

1 При нагревании газы расширяются.	А Мензурка
2 Одноименные заряды отталкиваются.	Б Тепловой двигатель
3 Все тела притягиваются к Земле.	В Весы
4 Жидкость сохраняет объем.	Г Биметаллическая пластина
	Д Электроскоп



§ 23. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ

Наверное, многие школьники на вопрос «Что бы вы взяли с собой на необитаемый остров?» сразу ответят: «Мобильный телефон и компьютер», — но через некоторое время, конечно, сообразят: «Ой, там же нет электричества!..»

Трудно представить, но еще сто лет назад большая часть нашей страны была похожа на такой остров: электричеством могли пользоваться немногие. Сегодня же каждый назовет не менее десяти электрических бытовых устройств, без которых нам уже сложно представить свою жизнь: стиральная машина, лампа, телевизор и т. д. Эти устройства называются электрическими, потому что их работа основана на действии электрического тока. А что такое электрический ток?

1 Даём определение электрического тока

Проведем опыт. Поставим на стол два электрометра (А и Б) и зарядим один из них, например электрометр А (рис. 23.1, а). Соединим кондукторы электрометров металлическим стержнем, закрепленным на пластмассовой ручке. По отклонению стрелок электрометров видим, что заряд электрометра А уменьшился, а незаряженный электрометр Б получил заряд (рис. 23.1, б). Это значит, что некоторое количество заряженных частиц (в данном случае электронов) перешло по стержню от одного прибора к другому. Физики говорят, что по стержню прошел *электрический ток*.

■ **Электрический ток** — это направленное движение заряженных частиц.

2 Выясняем условия возникновения и существования электрического тока

Учитывая определение электрического тока, сформулируем первое условие его возникновения и существования в любой среде: *в среде должны быть заряженные частицы, которые могут свободно перемещаться по всей среде*. Такие частицы называют *носителями тока*.

Однако этого условия недостаточно для того, чтобы в среде существовал электрический ток. Для создания и поддержания направленного движения свободных заряженных частиц необходимо *наличие электрического поля*. Именно благодаря действию электрического поля движение заряженных частиц приобретает упорядоченный (направленный) характер, что и означает появление в данной среде электрического тока.

3 Учимся различать проводники, диэлектрики и полупроводники

Зная условия возникновения и существования электрического тока, нетрудно догадаться, что *электрическая проводимость* — способность проводить электрический ток — у разных веществ разная. В зависимости от этой способности все вещества и материалы делят на *проводники*, *диэлектрики* и *полупроводники* (о проводниках и диэлектриках уже шла речь в § 21).

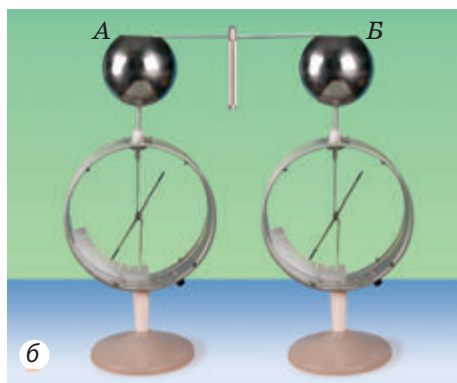
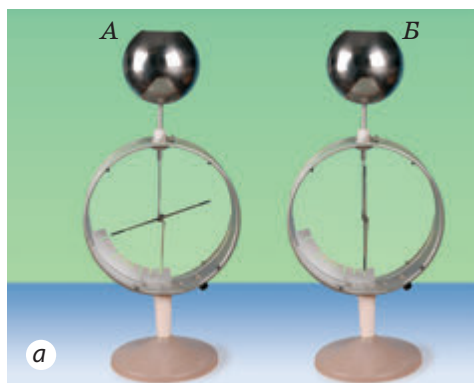


Рис. 23.1. Если с помощью проводника соединить заряженный электрометр с незаряженным, часть заряда перейдет на незаряженный электрометр

Проводники — вещества и материалы, которые хорошо проводят электрический ток.

Проводниками являются металлы (как в твердом, так и в жидком состояниях), графит, водные растворы солей (например, поваренной соли), кислот и щелочей. Высокая электрическая проводимость проводников объясняется наличием в них большого количества свободных заряженных частиц. Так, в металлическом проводнике часть электронов, покинув атомы, свободно «путешествует» по всему объему проводника, и количество таких электронов достигает 10^{23} в кубическом сантиметре.

Влажная земля, тело человека или животного хорошо проводят электрический ток, так как содержат вещества, являющиеся проводниками.

Диэлектрики — вещества и материалы, которые плохо проводят электрический ток.

Диэлектриками являются многие твердые вещества (эбонит, фарфор, резина, стекло и др.), жидкости (дистиллированная вода, керосин, спирт, бензин и др.) и газы (кислород, водород, азот, углекислый газ и др.). В диэлектриках почти отсутствуют свободные заряженные частицы.

Проводники и диэлектрики широко используют в промышленности, быту, технике. Так, провода, по которым подводят ток от электростанций к потребителям, изготавливают из металлов — хороших проводников. При этом на опорах провода размещают на изоляторах, — это предотвращает стекание электрического заряда в землю (рис. 23.2).

? Как вы думаете, почему провода, которые прокладывают в земле, покрывают слоем диэлектрика?

Существует много веществ (например, германий, силиций, арсен), которые называют **полупроводниками**. Обычно такие вещества плохо проводят ток и их можно отнести к диэлектрикам. Но если повысить температуру или увеличить освещенность, в полупроводниках появляется достаточное количество свободных заряженных частиц и полупроводники становятся проводниками. Полупроводники используются при изготовлении радиоэлектронной аппаратуры, солнечных батарей (рис. 23.3) и т. д.

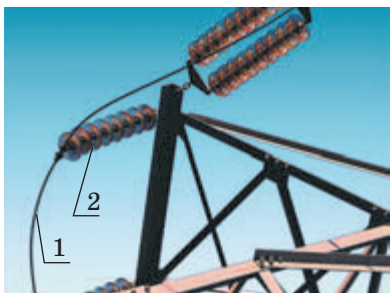


Рис. 23.2. Установка линий электропередачи невозможна без использования проводников (1) и диэлектриков (2)



Рис. 23.3. Полупроводниковые кристаллы используют для изготовления солнечных батарей



Подводим итоги

Электрический ток — это направленное движение заряженных частиц.

Для возникновения и существования электрического тока необходимо наличие свободных заряженных частиц и электрического поля, благодаря действию которого создается и поддерживается направленное движение этих частиц.

В зависимости от электрической проводимости все вещества условно делят на проводники (вещества, которые хорошо проводят электрический ток), диэлектрики (вещества, которые плохо проводят электрический ток) и полупроводники.



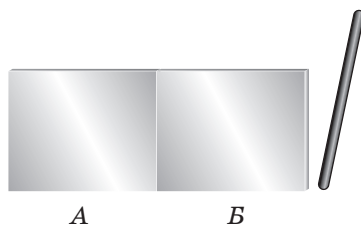
Контрольные вопросы

1. Что такое электрический ток?
2. Сформулируйте условия возникновения и существования электрического тока.
3. Какие вещества относятся к проводникам, диэлектрикам, полупроводникам? Приведите примеры.
4. Почему металлы хорошо проводят электрический ток?
5. Приведите примеры использования проводников и диэлектриков.



Упражнение № 23

1. Запишите названия нескольких предметов, изготовленных из материалов, являющихся: а) проводниками; б) диэлектриками.
2. Каким требованиям должен соответствовать материал для изготовления корпусов розеток и выключателей?
3. Почему трудно, а иногда практически невозможно зарядить электроскоп в помещении с высокой влажностью воздуха?
4. Почему в опыте, описанном в пункте 1 § 23, кондукторы электрометров соединяли металлическим стержнем (см. [рис. 23.1](#))? Для чего стержень был закреплен на пластмассовой ручке? Как изменятся результаты опыта, если вместо металлического стержня воспользоваться пластмассовым?
5. Движутся ли свободные заряженные частицы в проводнике, когда в нем нет тока? Поясните свой ответ.
6. Воспользуйтесь дополнительными источниками информации и выясните, какие вещества являются лучшими диэлектриками и где их применяют.
7. К двум соединенным металлическим пластинам *А* и *Б* поднесли наэлектризованную о шерсть эбонитовую палочку (см. [рисунок](#)).
 - 1) Какой заряд приобретет пластина *А*? пластина *Б*?
 - 2) Останутся ли пластины заряженными, если:
 - а) разъединить пластины, не убирая палочки?
 - б) убрать палочку, а потом разъединить пластины?





§ 24. ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Вы уже знаете, что электрическим током называют процесс направленного движения частиц, имеющих электрический заряд. Но как узнать, течет ли в проводнике ток? Ведь увидеть, например, как в металлическом стержне движутся свободные электроны, невозможно. Известно, что о наличии электрического тока мы узнаём благодаря его действиям. Именно о разных действиях тока пойдет речь в этом параграфе.

1 Узнаём о тепловом и световом действиях электрического тока

Тепловое действие электрического тока проявляется в нагревании проводника, в котором течет ток. Когда вы гладите утюгом, припаиваете деталь электрическим паяльником, готовите на электрической плите или пользуетесь электрочайником, обогреваете комнату электрическим обогревателем, то используете бытовые устройства, функционирование которых основано на тепловом действии тока (рис. 24.1).

Тепловое действие тока широко используют также в промышленности (сварка, резка, плавка металлов) и сельском хозяйстве (обогрев теплиц и инкубаторов, сушка зерна, сенажа).

Проявления теплового действия электрического тока можно наблюдать и в природе: энергия, выделяющаяся во время молнии, может вызвать лесной пожар (рис. 24.2).

? Пожар из-за удара молнии является примером, когда тепловое действие тока наносит вред. Приведите другие примеры вредного теплового действия тока.

Если в цепь включить лампу накаливания, ее нить нагреется и начнет излучать свет. В лампе накаливания одновременно с тепловым действием мы наблюдаем *световое действие электрического тока*. Кстати, в лампе

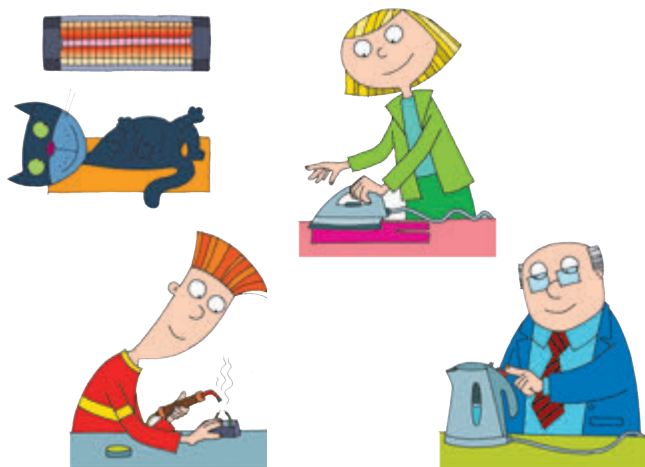


Рис. 24.1. Работа многих бытовых устройств основана на тепловом действии электрического тока



Рис. 24.2. Достаточно часто молния приводит к лесным пожарам



Рис. 24.3. Электрические лампы — устройства, в которых электрическая энергия частично преобразуется в энергию света: *а* — лампа накаливания (КПД — 5 %); *б* — люминесцентная лампа (КПД — 10–20 %); *в* — светодиодная лампа (КПД — 50 %).

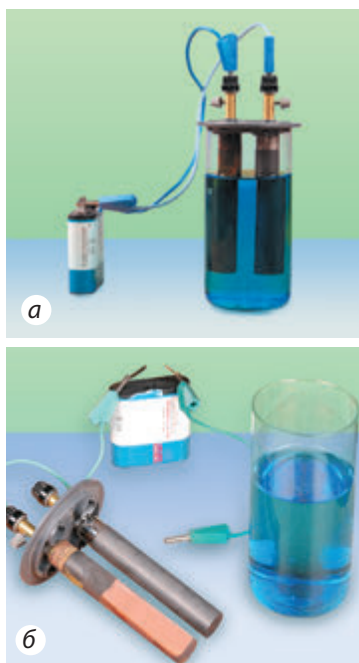


Рис. 24.4. Опыт, демонстрирующий химическое действие электрического тока: если через водный раствор купрум(II) сульфата некоторое время пропускать ток (*а*), на одном из электродов образуется тонкий слой меди (*б*)

накаливания в свет преобразуется лишь 5 % электрической энергии (рис. 24.3, *а*). В последнее время широко используют *энергосберегающие лампы* — в них в свет преобразуется до 50 % электрической энергии (рис. 24.3, *б, в*).



Приведите примеры светового действия тока в природе.



Наблюдаем химическое действие электрического тока

Когда через растворы солей, кислот, щелочей проходит ток, на электродах, погруженных в раствор, происходят химические реакции. В таком случае мы имеем дело с *химическим действием электрического тока*.

Так, если в сосуд с водным раствором купрум(II) сульфата (CuSO_4) опустить два угольных электрода и пропустить через раствор электрический ток (рис. 24.4, *а*), то через некоторое время один из электродов покроется тонким слоем чистой меди (рис. 24.4, *б*).

В конце раздела II вы ознакомитесь с разными случаями химического разложения веществ в результате действия электрического тока, а также узнаете о применении этого явления.

Следует отметить, что *химическое действие тока проявляется не всегда*. Пропустив ток, например, через металлы, мы не обнаружим никаких химических изменений.



Знакомимся с магнитным действием электрического тока

Проводник, в котором течет электрический ток, приобретает магнитные свойства. Убедиться в этом можно с помощью обычного железного гвоздя. Наматываем на гвоздь изолированный провод и пропускаем по проводу ток. Гвоздь начнет притягивать к себе железные предметы, то есть проявит магнитные свойства (рис. 24.5).

Работа различных электродвигателей, электроизмерительных приборов возможна только благодаря *магнитному действию электрического тока* (рис. 24.6).

Подробнее о магнитном действии тока вы узнаете в 9 классе, изучая магнитные явления.

Рассматривая разные действия электрического тока, следует обратить внимание на то, что чаще всего несколько действий проявляются одновременно. Например, во время опыта, демонстрирующего химическое действие тока (см. рис. 24.4), температура раствора купрум(II) сульфата увеличивается, а если возле сосуда поместить магнитную стрелку, она отклонится.

4

Узнаём о действии электрического тока на организмы

Электрический ток оказывает тепловое, химическое, магнитное действия на организмы, в том числе на человека. Наверное, некоторые из вас посещали в поликлинике кабинет физиотерапии. Многие приборы в этом кабинете предназначены для *электролечения*: тепловое действие электрического тока используют для прогревания частей тела, химическое и магнитное — для стимулирования деятельности органов, улучшения обмена веществ и т. д.

Следует, однако, помнить, что далеко не всегда электрический ток оказывает на организм человека целебное действие. Ток может вызвать ожог, судороги и даже стать причиной смерти. Поэтому прежде чем пользоваться любым электрическим прибором или устройством, нужно внимательно изучить инструкцию к нему и строго ее соблюдать.



Рис. 24.5. Во время прохождения тока гвоздь становится магнитом и притягивает к себе железные опилки



Рис. 24.6. Работа электроизмерительных приборов и электрических двигателей основана на магнитном действии тока



Подводим итоги

Электрический ток оказывает тепловое действие (нагревание проводника), магнитное действие (отклонение магнитной стрелки, намагничивание железа), может оказывать химическое действие (химическое разложение веществ) и световое действие (свечение лампы). Очень часто разные действия электрического тока проявляются одновременно.

Электрический ток оказывает тепловое, химическое и магнитное действия на организмы, в том числе на человека.



Контрольные вопросы

1. Как узнать, есть ли в проводнике ток? **2.** Перечислите действия электрического тока. **3.** Докажите, что электрический ток оказывает тепловое действие; может оказывать световое действие. **4.** Опишите опыт, подтверждающий, что электрический ток оказывает химическое действие. **5.** Всегда ли проявляется химическое действие тока? **6.** Что нужно сделать, чтобы намагнитить железный гвоздь? **7.** Приведите примеры, подтверждающие, что электрический ток воздействует на организм человека. Как это воздействие проявляется? Где его используют?



Упражнение № 24

1. Приведите не упомянутые в § 24 примеры бытовых технических устройств, работа которых основана на тепловом действии тока.
2. Почему использование электрических приборов и устройств требует особой осторожности?
3. Почему вспышка молнии сопровождается громом?
4. Некоторые рыбы, например электрический скат и электрический угорь, используют действие электрического тока для защиты, охоты, ориентации в пространстве. Воспользуйтесь дополнительными источниками информации и узнайте о таких рыбах больше.
5. Электрообогреватель, работающий в комнате, выделяет в течение суток 81 МДж теплоты. Сколько дров нужно сжечь в камине, чтобы передать комнате такое же количество теплоты? КПД камина 45 %.



i

§ 25. ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Многим знакома ситуация: необходимо срочно позвонить по телефону, вы берете мобильный телефон и с досадой обнаруживаете, что батарея аккумуляторов разрядилась, а телефон из чуда технической мысли превратился в кусок пластика. То же самое может произойти и с аккумуляторами фотоаппарата, плеера, фонарика, часов. Что делать дальше, знает даже первоклассник, а вот что такое аккумулятор, вы узнаете из этого параграфа.

1

Знакомимся с источниками электрического тока

Понятно, что любое исправное электротехническое устройство будет работать только тогда, когда выполнены условия существования электрического тока: наличие свободных заряженных частиц и наличие электрического поля. За создание электрического поля «отвечают» *источники тока*.

В источниках электрического тока электрическое поле создается и поддерживается благодаря разделению разноименных электрических зарядов. В результате на одном полюсе источника скапливаются частицы,

имеющие положительный заряд, а на другом — частицы, имеющие отрицательный заряд. Между полюсами возникает электрическое поле.

Однако разделить разноименные заряды не так просто, ведь между ними существуют силы притяжения. Для разделения разноименных зарядов, а значит, для создания электрического поля необходимо выполнить работу. И выполнить ее можно за счет механической, химической, тепловой и других видов энергии.

Источники электрического тока — устройства, преобразующие разные виды энергии в электрическую энергию.

2 Узнаём о разных видах источников электрического тока

Все источники электрического тока можно условно разделить на физические и химические.

К *физическим источникам электрического тока* принято относить устройства, в которых разделение зарядов происходит за счет механической, световой или тепловой энергии. Примерами таких источников тока могут быть электрофорная машина (рис. 25.1), турбогенераторы электростанций (рис. 25.2), фото- и термоэлементы (рис. 25.3, 25.4) и т. д.

? Какой вид энергии преобразуется в электрическую энергию в динамогенераторе велосипеда? в ветряном генераторе?

Химическими источниками электрического тока называют устройства, в которых разделение зарядов происходит за счет энергии, которая выделяется в результате химических реакций. К химическим источникам тока относятся *гальванические элементы* и *аккумуляторы*.

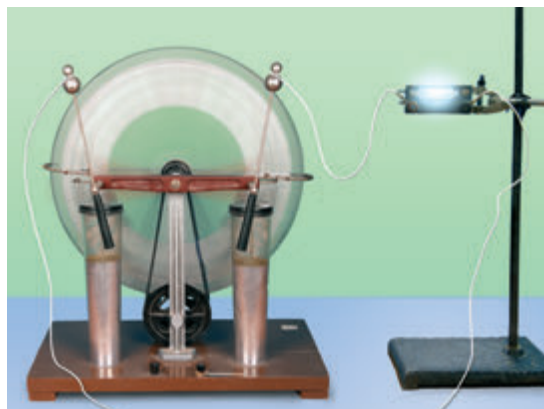


Рис. 25.1. Если разноименно заряженные проводники электрофорной машины соединить с электрической лампой, в лампе возникнет электрический ток. Лампа будет светиться, пока вращаются диски машины, — в данном случае механическая энергия преобразуется в электрическую



Рис. 25.2. Благодаря турбогенераторам, преобразующим механическую энергию вращения турбин в энергию электрического тока, вырабатывается 80 % потребляемой в мире электроэнергии



Рис. 25.3. Солнечные батареи спутника дистанционного зондирования Земли обеспечивают электроэнергией всю исследовательскую аппаратуру. Солнечные батареи преобразуют энергию света в электрическую энергию

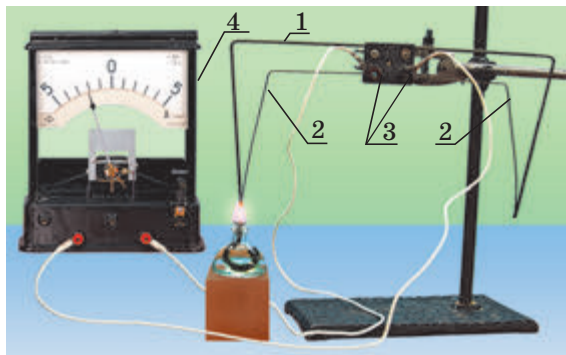


Рис. 25.4. Термопара — устройство для преобразования тепловой энергии в электрическую. К концам константанового провода (1) припаяны два железных провода (2), свободные концы (3) которых соединены с гальванометром* (4). Если нагреть место соприкосновения, гальванометр зафиксирует наличие тока

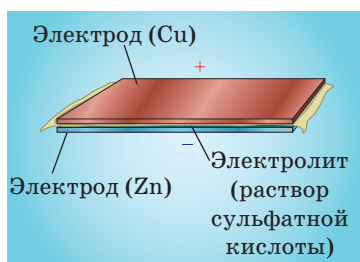


Рис. 25.5. Простейший гальванический элемент



Рис. 25.6. Алессандро Вольта (1745–1827) — итальянский физик, изобретатель батареи гальванических элементов («вольтов столб»)

3 Создаём гальванический элемент

Возьмем медную и цинковую пластинки и очистим их поверхности. Между пластинками положим ткань, смоченную слабым раствором сульфатной кислоты. Изготовленное устройство представляет собой простейший *гальванический элемент* (рис. 25.5). Если соединить пластинки через *гальванометр**, то прибор зафиксирует наличие тока.

Гальванический элемент создал итальянский ученый *А. Вольта* (рис. 25.6); он назвал его в честь своего соотечественника — анатома и физиолога *Луиджи Гальвани* (1737–1798). Опыты, описанные Гальвани, подсказали А. Вольте идею создания химического источника тока.

Любой гальванический элемент состоит из *двух электродов и электролита*.

Между электродами и электролитом происходят химические реакции, в результате которых один из электродов приобретает положительный заряд, а второй — отрицательный заряд. Когда запас веществ, принимающих участие в реакциях, истощается, гальванический элемент прекращает работу.

* *Гальванометр* — чувствительный электроизмерительный прибор, часто используемый как индикатор наличия слабого электрического тока.

4 Изучаем аккумуляторы

Со временем гальванические элементы становятся непригодными к работе, и их нельзя использовать повторно. А вот другой вид химических источников электрического тока — *электрические аккумуляторы* — можно использовать многократно.

Аккумуляторы, как и гальванические элементы, состоят из двух электродов, помещенных в электролит. Так, свинцовый аккумулятор, используемый в автомобилях, имеет один электрод из свинца, а другой — из оксида свинца (плюмбум диоксида); электролитом служит водный раствор сульфатной кислоты.

Если электроды заряженного аккумулятора подсоединить, например, к электрической лампе накаливания, то в ее нити потечет ток. Внутри же аккумулятора будут происходить химические реакции, в результате которых электрод из свинца все время будет заряжен отрицательно, а электрод из плюмбум диоксида — положительно. При этом сульфатная кислота будет превращаться в воду. Когда концентрация сульфатной кислоты уменьшится до некоего предельного значения, аккумулятор разрядится и перестанет работать. Однако его можно снова зарядить. При зарядке аккумулятора химические реакции идут в обратном направлении и концентрация сульфатной кислоты восстанавливается.

5 Применяем химические источники электрического тока

Аккумуляторы, как и гальванические элементы, обычно объединяют и получают соответственно *аккумуляторную батарею* и *батарею гальванических элементов* (рис. 25.7).

По принципу действия современные химические источники тока почти не отличаются от созданных два века назад. При этом сейчас существует множество видов гальванических элементов и аккумуляторов и активно разрабатываются новые. Они различаются размерами, массой, энергоемкостью, сроком работы, надежностью, безопасностью, стоимостью и т. д.

Выбор того или иного химического источника тока продиктован сферой его применения. Так, в автомобилях целесообразно использовать



Рис. 25.7. Широко используемые химические источники электрического тока: батарея гальванических элементов (а); аккумуляторные батареи (б, в)

относительно дешевые кислотные аккумуляторные батареи, и то, что они достаточно тяжелые, не является существенным фактором. А вот источники тока для мобильных телефонов должны быть легкими и безопасными, поэтому в них используют так называемые литийионные батареи, хотя они сравнительно дорогие.



Подводим итоги

Устройства, преобразующие разные виды энергии в электрическую энергию, называют источниками электрического тока.

В источниках электрического тока происходит разделение разноименных электрических зарядов, в результате чего на одном полюсе источника скапливается положительный заряд, на втором — отрицательный, а значит, создается электрическое поле.

В источниках электрического тока работа по разделению разноименных зарядов выполняется за счет механической, химической, тепловой и других видов энергии.

К химическим источникам электрического тока относятся гальванические элементы и аккумуляторы. Гальванический элемент — химический источник электрического тока одноразового использования. Аккумулятор — химический источник электрического тока многократного использования.



Контрольные вопросы

1. Какие устройства называют источниками электрического тока?
2. Какие процессы происходят в источниках электрического тока?
3. Почему для разделения разноименных зарядов необходимо выполнить работу?
4. За счет какой энергии может осуществляться разделение разноименных зарядов в источнике электрического тока?
5. Какие источники электрического тока вы знаете? Приведите примеры их использования в технике.



Упражнение № 25

1. Какие преобразования энергии происходят: а) при зарядке аккумулятора? б) во время работы аккумулятора?
2. Как на двух электроскопах, соединенных металлическим проводником (см. рис. 23.1, б), поддерживать противоположные по знаку электрические заряды?
3. Какие преобразования энергии происходят во время работы гидроэлектростанции?
4. Изменится ли действие простейшего гальванического элемента (см. рис. 25.5), если для его изготовления взять пластинки из одинакового металла?
5. Воспользуйтесь дополнительными источниками информации и узнайте, какие наблюдения и опыты Л. Гальвани подтолкнули А. Вольту к созданию химического источника электрического тока.
6. Общая мощность генераторов Днестровской гидроэлектростанции равна 702 МВт, КПД — 92 %; высота падения воды — 54 м. Определите массу воды, падающей с плотины за минуту.





Экспериментальное задание

«Фруктовая батарейка». Возьмите лимон, медную монету (или провод), железный гвоздь и изготовьте из этих предметов гальванический элемент. Схематически изобразите его устройство, укажите названия основных элементов. Если у вас есть тестер (мультиметр), убедитесь, что ваш источник тока работает. Если тестера нет, принесите устройство в школу и проверьте его с помощью гальванометра. Подумайте, каким фруктом или овощем можно заменить лимон.

§ 26. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ И ЕЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Чтобы разобраться в устройстве электроприбора или устранить неисправность электропроводки, прежде всего необходимо иметь схему соответствующей электрической цепи. О том, что такое электрическая цепь, из чего она состоит и как на ее схеме изображают некоторые электрические устройства, вы узнаете из этого параграфа.

1 Знакомимся с электрической цепью

Любое электрическое устройство — мобильный телефон, планшет, ноутбук, фонарик, цифровой фотоаппарат, калькулятор и др. — имеет определенный набор обязательных элементов. Чтобы выделить эти обязательные элементы и понять их назначение, создадим модель простейшего электрического устройства — карманного фонарика (рис. 26.1).

Чтобы электрическое устройство работало, прежде всего необходим *источник тока*. В представленной модели источником тока является батарея гальванических элементов (1). Батарея имеет два вывода (полюса). Вывод батареи, на котором накапливается избыточный положительный заряд, обозначен на ней знаком «+».

Второй обязательный элемент — *потребитель электрической энергии*. В представленной модели это электрическая лампа (2). Любой потребитель тоже имеет два вывода (в лампе они расположены на цоколе — металлическом цилиндре с нарезкой, соединенном со стеклянным баллоном).

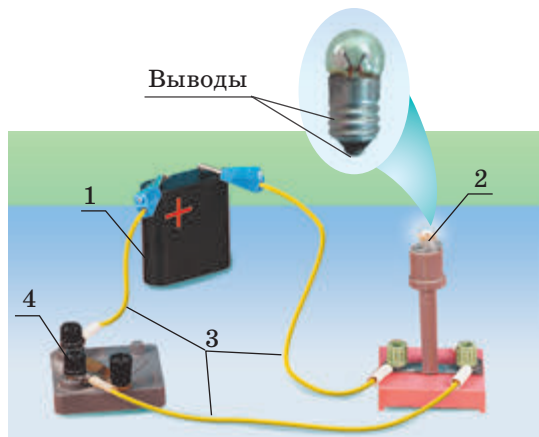


Рис. 26.1. Модель простейшего электрического устройства:

- 1 — источник тока — батарея гальванических элементов;
- 2 — потребитель электрической энергии — лампа;
- 3 — соединительные провода;
- 4 — ключ

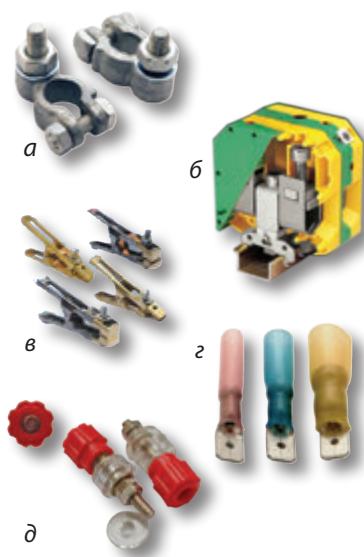


Рис. 26.2. Различные зажимы (клеммы) для соединения проводников: аккумуляторные (а); высоковольтные (б); заземление (в); ножевые (г); приборные (д)

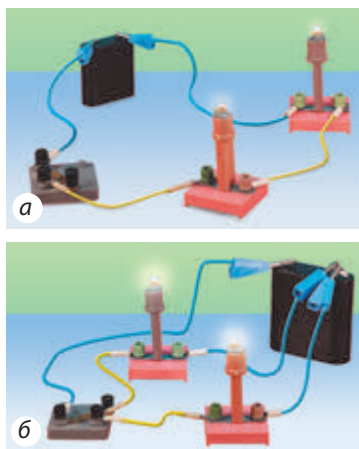


Рис. 26.3. Два способа соединения ламп в электрической цепи: а — последовательное; б — параллельное

Источник тока и потребитель соединены с помощью *соединительных элементов* — проводов* (3). Для их крепления используют специальные устройства (рис. 26.2), пайку или сварку.

И, наконец, последний элемент. Для более удобного включения и выключения потребителей используют различные *замыкающие (размыкающие)* устройства: ключ, рубильник, выключатель, кнопку или розетку. В рассматриваемой модели (см. рис. 26.1) таким устройством является ключ (4).

Соединенные проводниками в определенном порядке источник тока, потребители, замыкающие (размыкающие) устройства образуют электрическую цепь.

Обратите внимание: в реальном устройстве важен *определенный порядок соединения элементов электрической цепи.*

На рис. 26.3 изображены две простейшие электрических цепи, которые содержат одинаковые элементы. При этом способ соединения некоторых элементов (ламп) является разным. На рис. 26.3, а лампы соединены *последовательно*, на рис. 26.3, б — *параллельно*.

2 Знакомимся с механическим аналогом электрической цепи

Чтобы лучше понять назначение элементов электрической цепи, рассмотрим ее механическую модель (рис. 26.4). Модель состоит из двух наполненных водой сосудов ($\Pi+$ и $\Pi-$), трубки (3), вертушки (2) и... вашего товарища (1), заданием которого будет непрерывное переливание воды из сосуда $\Pi-$ в сосуд $\Pi+$. Погрузив один конец трубки в сосуд с более высоким уровнем воды ($\Pi+$), создадим «водяной ток», который будет вращать вертушку.

* В представленной на рис. 26.1 модели длины соединительных проводов намеренно увеличены. На практике конструкторы максимально сокращают все «лишние» элементы. Так, в электрическом фонарике роль одного провода часто выполняет металлический корпус. Второй провод тоже отсутствует: один из выводов источника тока непосредственно контактирует с выводом лампы.

Чтобы вертушка не останавливалась, необходимо постоянно поддерживать «водяной ток». А он будет существовать, пока существует разница уровней воды в сосудах, то есть пока ваш товарищ будет переливать воду. И точно так же электрический ток будет существовать в цепи, пока работает источник тока. Непрерывно «перенося» заряды с одного полюса на другой, источник тока создает и поддерживает электрическое поле. Вы, конечно, догадались, что «водяной ток» в механической модели является аналогом электрического тока.

❓ Механическим аналогом какого элемента электрической цепи является трубка с водой?

Мы можем закрыть трубку пробкой и таким образом остановить поток воды. Следовательно, в этом случае пробка является механическим аналогом ключа в электрической цепи.

Если заморозить воду в трубке, «водяной ток» прекратится. Таким образом, условием существования «водяного тока» является наличие «субстанции», которая может свободно передвигаться. Для электрической цепи такой «субстанцией» являются свободные заряженные частицы (например, электроны в металлах или ионы в жидкостях).

Обратите внимание на то, что нам совсем не обязательно видеть течение воды в трубке. Его наличие можно зафиксировать, наблюдая, например, за вращением вертушки. Точно так же вывод о наличии электрического тока мы делаем, когда наблюдаем его действия.

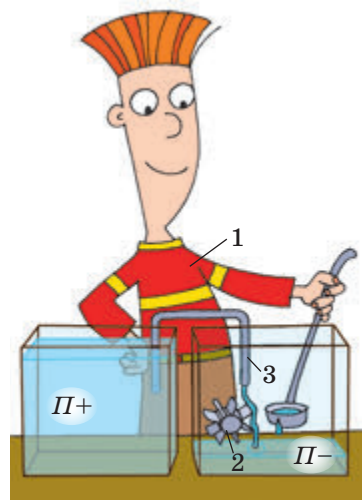


Рис. 26.4. Механический аналог электрической цепи, представленной на рис. 26.1. Соответствие элементов можно проследить по цифрам, которыми они обозначены на рисунках

3 Знакомимся с электрическими схемами

Чтобы показать, какие именно электрические устройства следует взять и как их соединить, чтобы собрать определенную электрическую цепь, используют *электрические схемы* (часто их называют просто *схемами*).

Электрическая схема — это чертеж, на котором условными обозначениями показано, из каких элементов состоит электрическая цепь и каким образом эти элементы соединены между собой.

Условные обозначения некоторых элементов электрической цепи приведены в таблице на с. 138. Обратите внимание на обозначения источников тока (гальванического элемента или аккумулятора и батареи гальванических элементов или аккумуляторов): принято, что длинная черточка обозначает положительный полюс источника тока, а короткая — отрицательный. Направление тока показывают на схемах стрелкой.

*Некоторые условные
обозначения, применяемые
на схемах*

Элемент электрической цепи	Условное обозначение
Гальванический элемент или аккумулятор	
Батарея гальванических элементов или аккумуляторов	
Соединение проводов	
Резистор	
Электрический звонок	
Штепсельная розетка	
Пересечение проводов (без соединения)	
Зажимы для подключения чего-либо	
Ключ	
Электрическая лампа	
Нагревательный элемент	
Предохранитель	

За направление тока в цепи условно принято направление, в котором двигались бы по цепи частицы, имеющие положительный заряд, то есть направление от положительного полюса источника тока к отрицательному.

На рис. 26.5 приведены схемы электрических цепей, изображенных на рис. 26.1, 26.3, и показано направление тока в них.

Обратите внимание: в металлическом проводнике электроны под действием электрического поля источника тока движутся от отрицательного полюса к положительному, то есть *направление движения электронов противоположно принятому направлению тока.*

Рассмотрим схему более сложной электрической цепи (рис. 26.6).

Цепь имеет три выключателя (ключа), два потребителя тока (электрическую лампу и электрообогреватель) и источник тока (аккумуляторную батарею).

Если замкнуть ключи K_1 и K_2 , а ключ K_3 разомкнуть, то цепь, потребителем в которой является лампа, будет замкнута на источник тока и лампа будет светиться. Если замкнуть ключи K_1 и K_3 , а ключ K_2 разомкнуть, то будет работать электрообогреватель, а лампа светиться не будет. Если же замкнуть все три ключа, то одновременно будет светиться лампа и работать электрообогреватель.

? Будет ли работать хотя бы один потребитель, если разомкнуть только ключ K_1 ? если замкнуть только ключ K_1 ? Если будет, то какой?



Подводим итоги

Соединенные проводниками источник тока, потребитель электрической энергии, замыкающее (размыкающее) устройство образуют простейшую электрическую цепь.

Чертеж, на котором условными обозначениями показано, из каких элементов состоит электрическая цепь и каким образом эти элементы соединены между собой, называют электрической схемой.

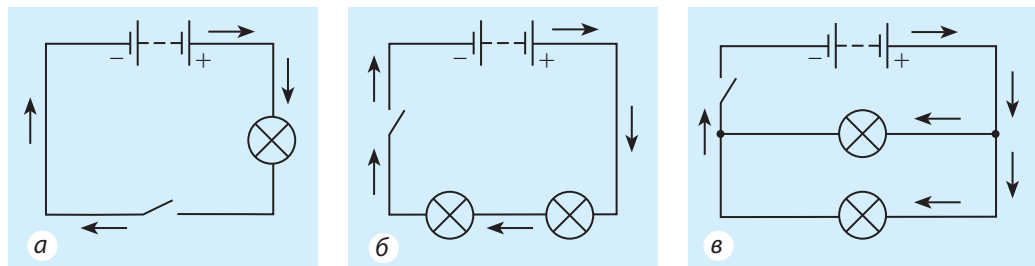


Рис. 26.5. Схемы некоторых электрических цепей: *а* — схема электрической цепи включения лампы (см. рис. 26.1); *б* — схема последовательного соединения двух ламп (см. рис. 26.3, *а*); *в* — схема параллельного соединения двух ламп (см. рис. 26.3, *б*). Стрелками показано направление тока после замыкания ключа

За направление тока в цепи условно принято направление, в котором двигались бы по цепи положительно заряженные частицы, то есть направление от положительного полюса источника тока к отрицательному.



Контрольные вопросы

1. Назовите основные элементы электрической цепи.
2. Используя механическую аналогию, объясните назначение каждого элемента электрической цепи.
3. Приведите примеры потребителей электрической энергии.
4. С какой целью в электрических цепях используют ключ?
5. Что называют электрической схемой?
6. Как на электрических схемах изображают гальванический элемент? батарею гальванических элементов? электрический звонок? ключ?
7. Какое направление принято за направление тока в электрической цепи?



Упражнение № 26

1. На рис. 1 изображена схема электрической цепи. Перенесите схему в тетрадь, знаками «+» и «-» обозначьте полюса источника тока, стрелками покажите направление тока. Подпишите название каждого элемента цепи.
2. Начертите схему электрической цепи, изображенной на рис. 2, и укажите направление тока в ней.

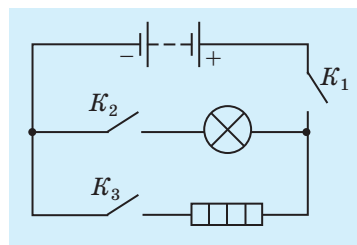


Рис. 26.6. Схема включения электрической лампы и обогревателя

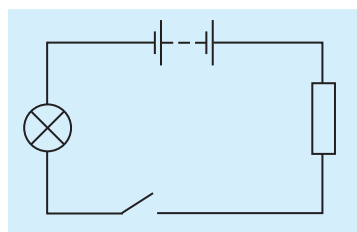


Рис. 1

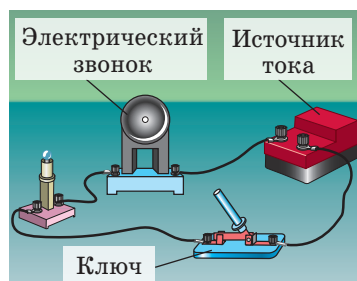


Рис. 2

3. Электрическая цепь состоит из батареи аккумуляторов, двух ключей, звонка и лампы, причем один ключ может включать только лампу, а второй — только звонок. Начертите схему электрической цепи.
4. Начертите схему электрической цепи, содержащей два звонка, которые включаются одновременно одним ключом, и батарею гальванических элементов. (Обратите внимание на то, что задание можно выполнить двумя способами.) Где можно применить такое соединение?
5. Электрическая цепь состоит из батареи аккумуляторов, звонка, ключа и лампы, причем лампа светится все время, а звонок включается только при замыкании ключа. Начертите схему электрической цепи.
6. Заполните таблицу.



Физическая величина	Символ для обозначения	Единица в СИ
Время		
Сила		
Электрический заряд		
Механическая работа		

Физика и техника в Украине



Институт электродинамики НАН Украины (Киев) — ведущее научное заведение в области энергетики, электротехники и энергетического машиностроения Украины.

Институт электродинамики был создан в 1947 г. на базе электротехнического отдела Института энергетики АН УССР и сначала назывался Институт электротехники. Основателем и первым директором института был академик *Сергей Алексеевич Лебедев*, под руководством которого в 1950 г. была создана первая на евразийском континенте Малая электронная счетная машина (МЭСМ).

Основные научные направления работы Института электродинамики: преобразование и стабилизация параметров электромагнитной энергии; повышение эффективности и надежности процессов электромеханического преобразования энергии; анализ, оптимизация и автоматизация режимов электроэнергетических систем; информационно-измерительные системы и метрологическое обеспечение в электроэнергетике; комплексные энергетические системы с возобновляемыми источниками энергии.

В разные годы институтом руководили выдающиеся ученые: члены-корреспонденты АН УССР *А. Д. Нестеренко* и *А. Н. Милых*, академик НАН Украины *А. К. Шидловский*. С 2007 г. Институт электродинамики возглавляет академик НАН Украины *Александр Васильевич Кириленко*.

§ 27. СИЛА ТОКА. ЕДИНИЦА СИЛЫ ТОКА. АМПЕРМЕТР

Вам уже известно, что для количественного описания физических явлений, свойств тел и веществ физики используют физические величины. А с помощью каких физических величин можно количественно описать процесс прохождения электрического тока в проводнике? Об одной из них вы узнаете из этого параграфа.

1 Выясняем, что называют силой тока

Вы уже знаете, что в металлическом стержне (проводнике) имеется большое количество свободных носителей электрического заряда — электронов.

Когда в стержне не течет ток, движение электронов в нем хаотично. Поэтому можно считать, что число электронов, проходящих за одну секунду через поперечное сечение стержня (рис. 27.1) слева направо, равно числу электронов, проходящих через него справа налево.

Если присоединить стержень к источнику тока, электроны начнут двигаться направленно и число электронов, проходящих через поперечное сечение в одном направлении, существенно увеличится. Значит, в этом направлении через поперечное сечение стержня будет перенесен некоторый заряд.

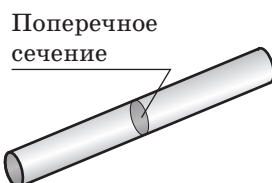


Рис. 27.1. Мысленно разрезав стержень, получаем его поперечное сечение

Сила тока — это физическая величина, которая характеризует электрический ток и численно равна заряду, проходящему через поперечное сечение проводника за единицу времени.

Силу тока обозначают символом I и определяют по формуле:

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

где q — заряд, проходящий через поперечное сечение проводника за время t .

Чтобы лучше понять суть введенной физической величины, снова обратимся к механической модели электрической цепи (см. рис. 26.4). Механическим аналогом силы тока является масса воды, которая проходит через поперечное сечение трубки за 1 с.



Рис. 27.2. Андре Мари Ампер (1775–1836) — французский физик, математик и химик, один из основателей учения об электромагнитных явлениях. Ампер первым ввел в физику понятие электрического тока

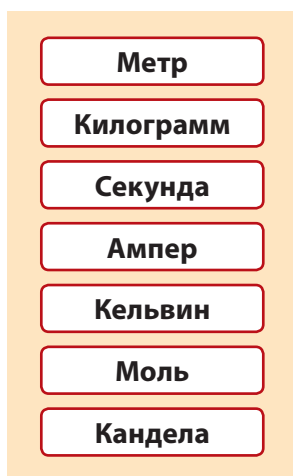


Рис. 27.3. Основные единицы физических величин Международной системы единиц (СИ)

2 Знакомимся с единицей силы тока

Единица силы тока в СИ — ампер:

$$[I] = 1 \text{ А.}$$

Данная единица названа в честь французского ученого *А. Ампера* (рис. 27.2). Ампер — одна из основных единиц СИ (рис. 27.3).

Кроме ампера на практике часто применяют кратные и дольные единицы силы тока. Так, для измерения малой силы тока используют *миллиамперы* (мА) и *микроамперы* (мкА), большой силы тока — *килоамперы* (кА).

Чтобы представить, что значит большая или малая сила тока, рассмотрим несколько примеров. Сила тока в канале молнии достигает 500 кА, сила тока в аксоне во время передачи нервного импульса всего лишь 0,004 мкА, а средняя сила тока при лечении электрофорезом — 0,8 мА.

? Вспомните, каким множителям соответствуют префиксы кило-, микро-, милли- и представьте приведенные значения силы тока в амперах.



Рис. 27.4. Значения силы тока в некоторых электротехнических устройствах

Значения силы тока в некоторых электротехнических устройствах приведены на рис. 27.4.

Сила тока, проходящего через тело человека, считается безопасной, если ее значение не превышает 1 мА; сила тока 100 мА может привести к серьезным последствиям. Поэтому, чтобы не подвергать себя смертельной опасности во время работы с электротехническими приборами и устройствами, необходимо строго соблюдать правила безопасности. Общая инструкция по безопасности приведена на форзаце учебника. Мы же остановимся на главных моментах, которые следует помнить всем, кто имеет дело с электричеством.

НЕЛЬЗЯ:

- прикасаться к обнаженному проводу, особенно стоя на земле, влажном полу и т. п.;
- пользоваться неисправными электротехническими устройствами;
- собирать, разбирать, ремонтировать электротехнические устройства, не отсоединив их от источника тока.

3

Даём определение единицы электрического заряда

Зная единицу силы тока, легко получить определение единицы электрического заряда в СИ. Так как $I = \frac{q}{t}$, то $q = It$. Следовательно:

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

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

4

Измеряем силу тока

Для измерения силы тока используют прибор, который называется **амперметр** (рис. 27.5).

(А) — условное обозначение амперметра на электрических схемах.

Как и любой измерительный прибор, амперметр не должен влиять на значение измеряемой величины. Поэтому амперметр сконструирован таким образом, что при подключении его к электрической цепи значение силы тока в цепи практически не изменяется.

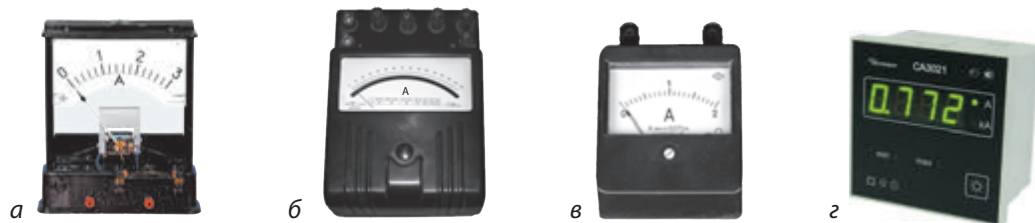


Рис. 27.5. Некоторые виды амперметров: а — демонстрационный; б — лабораторный с зеркальной шкалой; в — школьный лабораторный; г — электронный

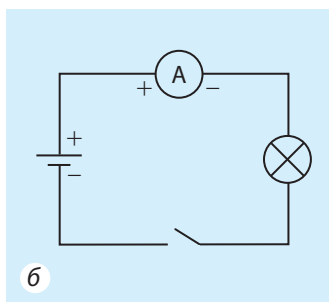
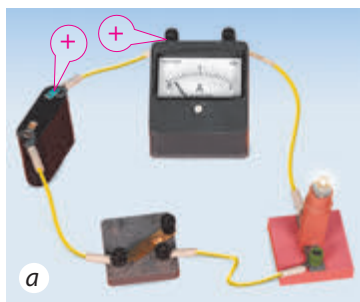


Рис. 27.6. Измерение амперметром силы тока, проходящего через нить накала лампы: *а* — общий вид электрической цепи; *б* — схема

Правила измерения силы тока амперметром

1. Амперметр включают в цепь последовательно с тем потребителем, в котором необходимо измерить силу тока (рис. 27.6).
2. Клемму амперметра, возле которой стоит знак «+», следует соединить с проводом, идущим от положительного полюса источника тока, клемму со знаком «-» — с проводом, идущим от отрицательного полюса.
3. Нельзя присоединять амперметр к цепи, в которой отсутствует потребитель тока, — это может привести к порче оборудования или пожару.

5 Учимся решать задачи

Задача. Сколько электронов пройдет через поперечное сечение нити накала лампы за 2 с, если сила тока в нити равна 0,32 А?

Анализ физической проблемы. Чтобы определить число N электронов, необходимо знать общий заряд q , перенесенный за 2 с, и заряд e одного электрона. Общий заряд найдем из определения силы тока; заряд одного электрона равен $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Дано:

$$t = 2 \text{ с}$$

$$I = 0,32 \text{ А}$$

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

Найти:

N — ?

Поиск математической модели, решение

По определению силы тока: $I = \frac{q}{t}$, поэтому $q = It$.

Зная общий заряд, найдем число электронов:

$$N = \frac{q}{|e|} = \frac{It}{|e|}.$$

Проверим единицу, найдем значение искомой величины:

$$[N] = \frac{\text{А} \cdot \text{с}}{\text{Кл}} = \frac{\text{Кл}}{\text{Кл}} = 1;$$

$$N = \frac{0,32 \cdot 2}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 4 \cdot 10^{18}.$$

Ответ: $N = 4 \cdot 10^{18}$ электронов.



Подводим итоги

Сила тока I — физическая величина, которая характеризует электрический ток и численно равна заряду q , проходящему через поперечное сечение проводника за единицу времени: $I = \frac{q}{t}$.

Единица силы тока в СИ — ампер (А). Ампер — это одна из основных единиц СИ. 1 Кл — это заряд, проходящий через поперечное сечение проводника за 1 с при силе тока в проводнике 1 А.

Силу тока измеряют амперметром — прибор присоединяют к электрической цепи последовательно с потребителем, в котором измеряют силу тока.



Контрольные вопросы

1. Что называют силой тока?
2. По какой формуле определяют силу тока?
3. Какова единица силы тока? В честь кого она названа?
4. Какое значение силы тока безопасно для человека?
5. Какие основные правила безопасности следует соблюдать при работе с электротехническими устройствами?
6. Дайте определение кулона.
7. Каким прибором измеряют силу тока?
8. Какие правила следует выполнять, измеряя силу тока?



Упражнение № 27

1. Перенесите схему электрической цепи (рис. 1) в тетрадь. Покажите на схеме, где можно присоединить амперметр, чтобы измерить силу тока в лампах. Знаками «+» и «-» обозначьте полярность клемм амперметра.

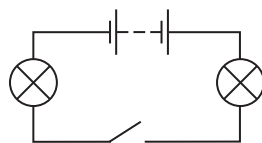


Рис. 1

2. Сила тока в проводнике 200 мА. За какое время через поперечное сечение проводника проходит заряд 24 Кл?
3. Начертите схему электрической цепи (рис. 2), обозначьте на ней полярность клемм амперметра. Как, по вашему мнению, изменится показание амперметра, если одна из ламп перегорит?
4. На рис. 3 показано измерение силы тока в электрической цепи. Начертите схему электрической цепи, обозначьте полярность клемм амперметра. Определите заряд, проходящий через поперечное сечение нити накала лампы за 10 мин.
5. Чему равна сила тока в проводнике, если за 10 с через его поперечное сечение проходит $2 \cdot 10^{20}$ электронов?

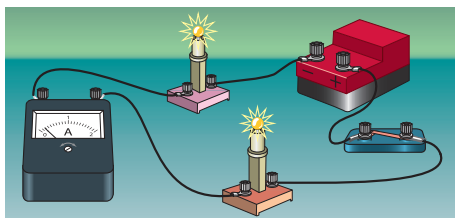


Рис. 2

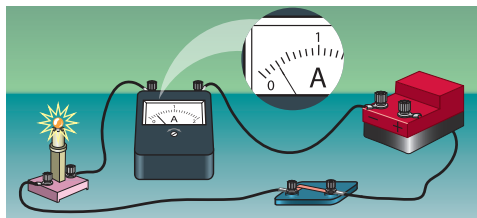


Рис. 3

§ 28. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ. ЕДИНИЦА НАПРЯЖЕНИЯ. ВОЛЬТМЕТР

Каждый, наверное, слышал предостерегающее «Не подходи — там высокое напряжение!», возмущенное «Снова упало напряжение в сети!», вопросительное «На какое напряжение рассчитан этот прибор?». Из данного параграфа вы узнаете, что такое напряжение и почему на всех электротехнических устройствах приводят его значение.

1 Даём определение электрического напряжения

В § 23 было доказано, что направленное движение свободных заряженных частиц (электрический ток) возможно благодаря действию на эти частицы силы со стороны электрического поля. А из курса физики 7 класса вы знаете, что когда тело движется в результате действия силы и направление движения тела совпадает с направлением этой силы, то сила выполняет работу. Следовательно, когда в участке цепи идет ток, то электрическое поле выполняет работу. Эту работу называют *работой тока*.

Работа, которую может выполнить или выполняет электрическое поле, перемещая заряд по данному участку цепи, определяется *электрическим напряжением*.

Электрическое напряжение на участке цепи — это физическая величина, которая численно равна работе электрического поля по перемещению единичного заряда по данному участку цепи.

Напряжение обозначают символом U и определяют по формуле:

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

где A — работа, которую выполняет (или может выполнить) электрическое поле по перемещению заряда q по данному участку цепи.

Единица напряжения в СИ — вольт (названа в честь А. Вольты):
 $[U] = 1 \text{ В}.$

1 В — это такое напряжение на участке цепи, при котором электрическое поле выполняет работу 1 Дж, перемещая по данному участку заряд, равный 1 Кл:

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

Кроме вольта на практике часто применяют кратные и дольные единицы напряжения: *микроvolt* (мкВ), *миллиvolt* (мВ), *киловolt* (кВ):

$$1 \text{ мкВ} = 10^{-6} \text{ В}; 1 \text{ мВ} = 10^{-3} \text{ В}; 1 \text{ кВ} = 10^3 \text{ В}.$$

Так, электрическое напряжение на клеточной мембране или микрочипе составляет несколько микроvolt, а между облаками во время грозы — сотни килоvolt.

? А знаете ли вы, какое напряжение подается в ваш дом? на аккумулятор вашего мобильного телефона во время его зарядки?

2 Проводим аналогию

Обратившись к аналогии между электрическим током и течением воды (см. § 26), можно сделать вывод, что напряжение аналогично разности уровней воды в сосудах. Если уровни воды в сосудах одинаковы, то вода течь не будет. Аналогично, если на концах участка электрической цепи отсутствует напряжение, то тока в участке не будет.

Чем больше разница уровней воды в сосудах, тем бóльшую работу выполнит сила тяжести при падении воды массой 1 кг. Соответственно чем больше напряжение на концах участка цепи, тем бóльшую работу выполнит электрическая сила при перемещении заряда 1 Кл.

3 Измеряем напряжение, знакомимся с вольтметром

Для измерения напряжения используют прибор, который называется **вольтметр** (рис. 28.1). Вольтметр очень похож на амперметр — и внешне, и по принципу действия.

Ⓥ — условное обозначение вольтметра на электрических схемах.

Как и любой измерительный прибор, вольтметр не должен влиять на значение измеряемой величины. В случае параллельного присоединения вольтметра к определенному участку электрической цепи значение напряжения на этом участке практически не изменяется.

Правила измерения напряжения вольтметром

1. Вольтметр присоединяют параллельно тому участку цепи, на котором необходимо измерить напряжение (рис. 28.2).
2. Клемму вольтметра, возле которой стоит знак «+», следует соединять с проводом, идущим от положительного полюса источника тока; клемму со знаком «-» — с проводом, идущим от отрицательного полюса источника тока.
3. Для измерения напряжения на полюсах источника тока вольтметр присоединяют непосредственно к клеммам источника (рис. 28.3).

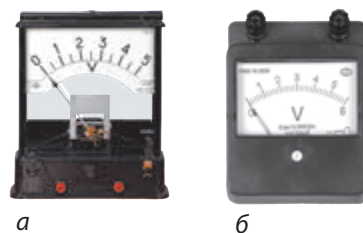


Рис. 28.1. Некоторые виды вольтметров: а — школьный демонстрационный; б — школьный лабораторный

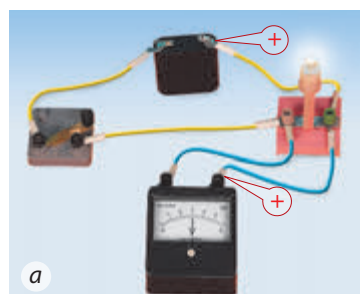


Рис. 28.2. Измерение вольтметром напряжения на лампе: а — общий вид; б — схема электрической цепи

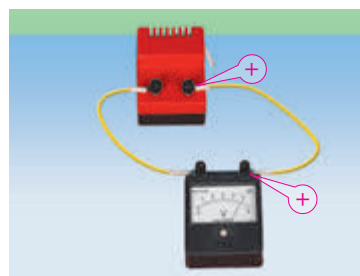


Рис. 28.3. Измерение вольтметром напряжения на полюсах источника тока

4 Учимся решать задачи

Задача. Напряжение на клеммах автомобильного аккумулятора равно 12 В. С какой высоты должен упасть груз массой 36 кг, чтобы сила тяжести выполнила такую же работу, какую выполняет электрическое поле, перемещая заряд 300 Кл по одной из электрических цепей автомобиля?

Анализ физической проблемы. По условию задачи работа силы тяжести равна работе электрического тока: $A = A_{\text{тока}}$. Записав формулу для работы силы тяжести и формулу для работы тока, определим высоту падения груза.

Дано:

$$U = 12 \text{ В}$$

$$m = 36 \text{ кг}$$

$$A = A_{\text{тока}}$$

$$q = 300 \text{ Кл}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

Найти:
 h — ?

Поиск математической модели, решение

По определению напряжения $U = \frac{A_{\text{тока}}}{q}$, следовательно,

$$A_{\text{тока}} = Uq.$$

По определению механической работы $A = Fl$, где $F = F_{\text{тяж}} = mg$, а $l = h$.

Следовательно, $A = mgh$.

Поскольку $A_{\text{тока}} = A$, то $Uq = mgh$; отсюда $h = \frac{Uq}{mg}$.

Проверим единицу, найдем значение искомой величины:

$$[h] = \frac{\text{В} \cdot \text{Кл}}{\text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = \frac{\frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} \cdot \text{Кл}}{\text{Н}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Н}} = \text{м};$$

$$h = \frac{12 \cdot 300}{36 \cdot 10} = 10 \text{ (м)}.$$

Ответ: $h = 10 \text{ м}$.



Подводим итоги

Физическую величину, численно равную работе электрического поля по перемещению единичного заряда по участку цепи, называют электрическим напряжением на данном участке цепи.

Напряжение обозначают символом U и определяют по формуле $U = \frac{A}{q}$, где A — работа, которую выполняет (или может выполнить) электрическое поле при перемещении заряда q по данному участку цепи.

Единица напряжения в СИ — вольт (В). Один вольт — это такое напряжение на участке цепи, при котором электрическое поле выполняет работу 1 Дж, перемещая по данному участку заряд, равный 1 Кл $\left(1 \text{ В} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}\right)$.

Прибор для измерения напряжения называется вольтметром. Вольтметр присоединяют параллельно тому участку цепи, напряжение на котором необходимо измерить.



Контрольные вопросы

1. Докажите, что если в проводнике течет ток, то электрическое поле выполняет работу.
2. Что называют напряжением на участке цепи?
3. По какой формуле определяют электрическое напряжение?
4. В каких единицах измеряют напряжение?
5. Дайте определение единицы напряжения.
6. Какой прибор используют для измерения напряжения? Какие правила необходимо соблюдать при измерении напряжения?



Упражнение № 28

1. На рис. 1 изображены шкалы разных вольтметров. Определите цену деления каждой шкалы и напряжение на каждом вольтметре.
2. На рис. 2 изображена схема электрической цепи. Перенесите схему в тетрадь и покажите на ней, где следует присоединить вольтметр, чтобы измерить напряжение на лампе. Обозначьте полярность клемм вольтметра.
3. Во время перемещения по участку цепи заряда, равного 3 Кл, электрическое поле выполнило работу 0,12 кДж. Определите напряжение на участке цепи.
4. Электрическое поле, перемещая по участку цепи заряд 60 Кл, выполняет такую же работу, какую выполняет сила тяжести при падении тела массой 200 г с высоты 360 м. Чему равно напряжение на участке?
5. На рис. 3 изображена схема электрической цепи. Определите работу электрического тока в лампе за 1 ч, если показания амперметра и вольтметра соответственно 0,5 А и 220 В.
6. Воспользовавшись дополнительными источниками информации, составьте задачу на определение работы электрического тока в некотором электротехническом устройстве.
7. По графику зависимости силы упругости $F_{\text{упр}}$ от удлинения x пружины определите жесткость k пружины (рис. 4). Зависит ли жесткость пружины от силы упругости? от удлинения пружины?

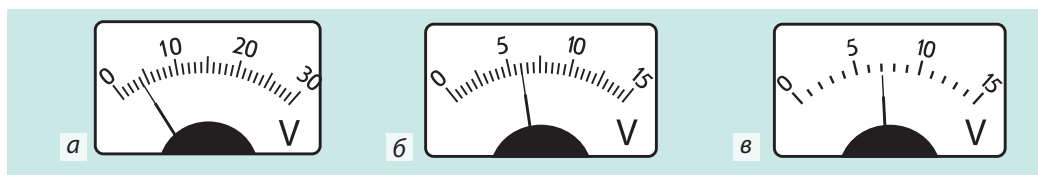


Рис. 1

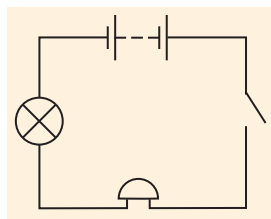


Рис. 2

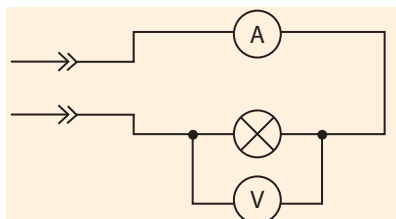


Рис. 3

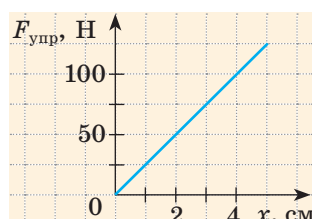


Рис. 4

§ 29. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ. ЗАКОН ОМА

Вспомните механический аналог электрической цепи (см. рис. 26.4). А теперь представьте, что именно вы будете «черпальщиком», то есть должны будете поддерживать вращение вертушки. Как затратить при этом меньше усилий? Скорее всего, вы сделаете так, чтобы вода из трубки выливалась медленнее, и поэтому выберете очень тонкую трубку, а перепад уровней воды в сосудах сделаете по возможности меньше.

Вспомним, что разность уровней воды — аналог напряжения, а количество воды, прошедшей через трубку за 1 с, — аналог силы тока. Следовательно, можно предположить, что сила тока в проводнике уменьшается в случае уменьшения напряжения и зависит от проводящих свойств проводника. Проверим эти предположения.

1 Убеждаемся, что сила тока в проводнике зависит от напряжения на его концах

Соберем электрическую цепь, потребителем в которой будет металлический проводник (резистор), а источником тока — устройство, на выходе которого можно изменять напряжение. Для измерения силы тока в проводнике и напряжения на его концах используем амперметр и вольтметр (рис. 29.1, а).

Опыт покажет, что при увеличении напряжения на концах проводника в 2 раза сила тока в проводнике тоже возрастет в 2 раза (рис. 29.1, б); увеличение напряжения в 2,5 раза приведет к возрастанию силы тока тоже в 2,5 раза (рис. 29.1, в), и т. д. Таким образом, во сколько раз увеличивается напряжение на концах проводника, во столько же раз возрастает в проводнике сила тока. Другими словами, *сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на концах проводника*. Эту зависимость впервые экспериментально установил немецкий ученый Г. Ом (рис. 29.2) в 1826 г.

Из курса математики вам известно, что такую зависимость можно передать формулой $I = kU$, где k — коэффициент пропорциональности, а также

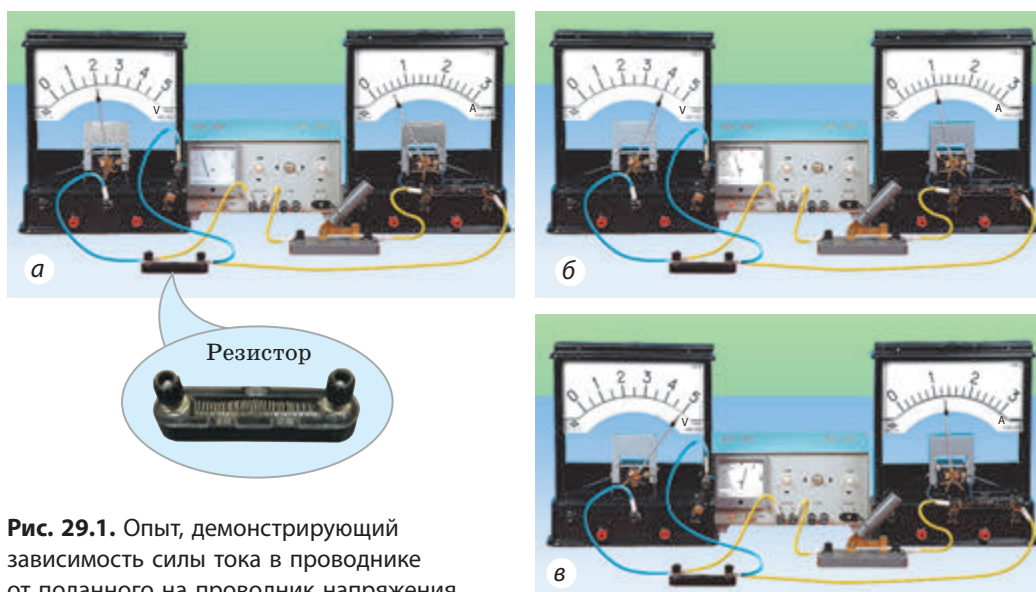


Рис. 29.1. Опыт, демонстрирующий зависимость силы тока в проводнике от поданного на проводник напряжения

в виде графика, представляющего собой прямую, проходящую через начало координат (рис. 29.3).

Зависимость силы тока в проводнике от напряжения на его концах называют **вольт-амперной характеристикой проводника**.

2 Узнаём об электрическом сопротивлении

Проведя опыт, описанный в пункте 1, с другими проводниками, увидим, что в каждом проводнике сила тока прямо пропорциональна напряжению на его концах ($I = kU$), а вот коэффициент пропорциональности будет разным, о чем свидетельствуют разные углы наклона графиков (рис. 29.4). Таким образом, *сила тока в проводнике зависит* не только от напряжения на его концах, но и *от свойств самого проводника*.

На практике зависимость $I = kU$ записывают в виде $I = \frac{1}{R} \cdot U$,* или $I = \frac{U}{R}$, где R — *электрическое сопротивление проводника*.

Сила тока меньше в том проводнике, который имеет большее сопротивление. То есть чем больше сопротивление проводника, тем сильнее проводник противодействует прохождению тока — *оказывает ему сопротивление*. (При этом часть электрической энергии преобразуется во внутреннюю энергию проводника.)

Электрическое сопротивление — это физическая величина, характеризующая свойство проводника противодействовать прохождению электрического тока.

Единица сопротивления в СИ — **ом**:

$$[R] = 1 \text{ Ом}.$$

1 Ом — это сопротивление такого проводника, в котором при напряжении на концах 1 В сила тока равна 1 А:

$$1 \text{ Ом} = 1 \frac{\text{В}}{\text{А}}.$$



Рис. 29.2. Георг Симон Ом (1787–1854) — немецкий физик, в 1826 г. экспериментально открыл закон, позже названный его именем

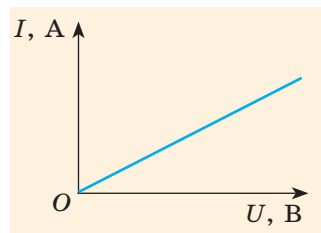


Рис. 29.3. График зависимости силы тока в проводнике от напряжения на его концах — прямая линия

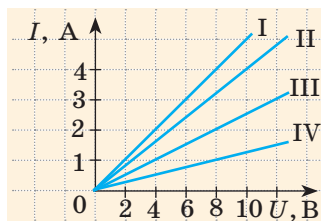


Рис. 29.4. Зависимость силы тока от напряжения для разных проводников

* Величину $\frac{1}{R}$ в физике называют *проводимостью*. Единица проводимости в СИ — сименс (См), названа так в честь немецкого физика и электротехника *Эрнста Вернера фон Сименса* (1816–1892), основателя известного концерна «Siemens». 1 См — электрическая проводимость проводника сопротивлением 1 Ом.

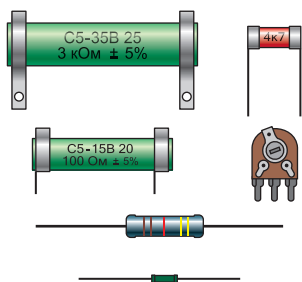


Рис. 29.5. Разные типы резисторов, используемые в электротехнике. Сопротивление резистора указано на его корпусе

Большинство радиоэлектронных устройств невозможно представить себе без *резисторов* — деталей, обеспечивающих определенные сопротивления (рис. 29.5).

3 Формулируем закон Ома для участка цепи

Все, что вы узнали о зависимости силы тока в проводнике от напряжения на его концах, выполняется и для участка цепи с любым количеством проводников. Итак, **закон Ома для участка цепи:**

Сила тока в участке цепи прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка.

Математически закон Ома записывают так:

$$I = \frac{U}{R},$$

где R — сопротивление участка цепи; оно зависит только от свойств проводников, составляющих участок.

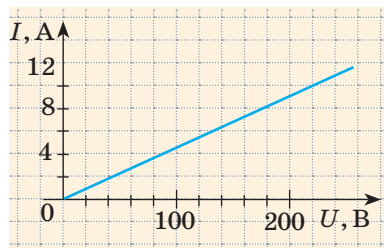
Закон Ома — один из важнейших физических законов, и подавляющее большинство расчетов электрических цепей основано именно на нем.

? Используя закон Ома, получите формулу для расчета сопротивления проводника; расчета напряжения на концах проводника.

4 Учимся решать задачи

Задача. На рисунке представлена вольт-амперная характеристика металлического проводника. Определите сопротивление данного проводника.

Анализ физической проблемы. График зависимости силы тока от напряжения — это прямая линия, поэтому для вычисления сопротивления воспользуемся координатами любой точки графика и законом Ома.



Дано:

$$I = 10 \text{ А}$$

$$U = 220 \text{ В}$$

Найти:

R — ?

Поиск математической модели, решение

Из графика видим, что, например, при напряжении 220 В сила тока в проводнике равна 10 А.

Согласно закону Ома $I = \frac{U}{R}$, следовательно, $R = \frac{U}{I}$.

Проверим единицу, найдем значение искомой величины:

$$[R] = \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{Ом}; \quad R = \frac{220}{10} = 22 \text{ (Ом)}.$$

Ответ: $R = 22 \text{ Ом}$.



Подводим итоги

Сила тока I в участке цепи прямо пропорциональна напряжению U на концах этого участка. Эту закономерность называют законом Ома для участка цепи и записывают формулой $I = \frac{U}{R}$, где R — сопротивление участка (зависит только от свойств проводников, составляющих участок).

Электрическое сопротивление — это физическая величина, характеризующая свойство проводника противодействовать (сопротивляться) прохождению электрического тока.

Единица сопротивления в СИ — ом; 1 Ом — это сопротивление такого проводника, в котором течет ток силой 1 А при напряжении на концах проводника 1 В (1 Ом = 1 В/А).



Контрольные вопросы

1. Опишите опыт, демонстрирующий, что сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на его концах.
2. Опишите опыт, демонстрирующий, что сила тока в проводнике зависит от свойств проводника.
3. Дайте определение сопротивления проводника.
4. Что такое 1 Ом?
5. Сформулируйте закон Ома для участка цепи.



Упражнение № 29

1. Пользуясь показаниями приборов (рис. 1), определите сопротивление электрической лампы.
2. На рис. 29.4 представлены вольт-амперные характеристики нескольких проводников. Определите сопротивления этих проводников.
3. Сила тока в спирали кипятильника равна 1,5 А. Определите напряжение на концах спирали, если ее сопротивление составляет 150 Ом.
4. Сопротивление проводника равно 2 Ом. Представьте вольт-амперную характеристику этого проводника в виде графика.
5. В проводнике, к концам которого приложено напряжение 12 В, за 5 мин прошел заряд 60 Кл. Определите сопротивление проводника.
6. Если в электрической цепи (рис. 2) замкнуть ключ, то стрелка амперметра примет положение, показанное на рисунке. Определите цену деления шкалы амперметра.
7. Зависит ли сопротивление проводника от силы тока в нем? от напряжения на его концах? Поясните свой ответ.
8. Из медного провода с площадью поперечного сечения 10 мм^2 изготовлено кольцо диаметром 10 см. Определите массу кольца.

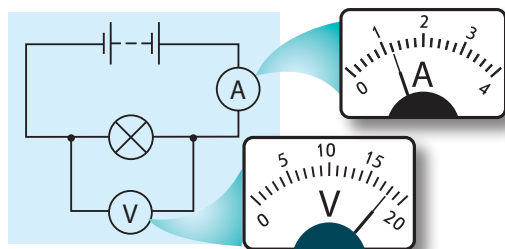


Рис. 1

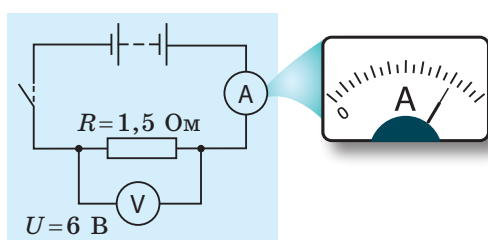


Рис. 2



§ 30. РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА. УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ВЕЩЕСТВА. РЕОСТАТЫ

Мы так привыкли к разным техническим устройствам, что часто даже не задумываемся над тем, как они работают. Например, каждый из вас увеличивал громкость звука радио или телевизора, наблюдал, как постепенно гаснет свет в кинозале, но задавались ли вы вопросом: как это происходит? Попробуем разобраться.

1

Выясняем, от чего зависит сопротивление проводника

Когда в металлическом проводнике идет ток, свободные электроны, двигаясь направленно, сталкиваются с ионами кристаллической решетки металла — проводник оказывает сопротивление электрическому току.

Сопротивление проводника зависит от его длины, площади поперечного сечения, а также от материала, из которого он изготовлен.

Убедимся в этом с помощью опытов, изменяя поочередно только один из указанных параметров. Сопротивление проводника будем определять, пользуясь законом Ома: измерив амперметром силу тока I в проводнике, а вольтметром — напряжение U на его концах, вычислим сопротивление по формуле $R = \frac{U}{I}$.

Сначала выясним, как сопротивление проводника зависит от его длины. Для этого соберем электрическую цепь (см. рис. 30.1), имеющую источник тока, ключ, резистор и нихромовую проволоку, натянутую на деревянную линейку с двумя клеммами. Длину участка провода, в которой течет ток, будем изменять с помощью ползунка — специального зажима, который можно легко передвигать вдоль проводника. Для измерения силы тока и напряжения подключим к цепи амперметр и вольтметр.

Проведя соответствующие исследования, убедимся, что при изменении длины проводника его сопротивление изменяется. Причем во сколько раз увеличивается (уменьшается) длина проводника, во столько же раз увеличивается (уменьшается) его сопротивление. Следовательно, *сопротивление проводника прямо пропорционально его длине.*

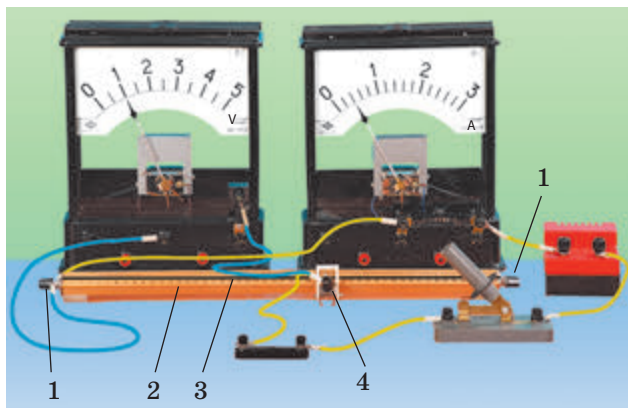


Рис. 30.1. Опыт, доказывающий, что сопротивление проводника прямо пропорционально его длине. На рисунке:

- 1 — клеммы;
- 2 — линейка;
- 3 — нихромовая проволока (проводник);
- 4 — ползунок

Чтобы узнать, как зависит сопротивление проводника от площади его поперечного сечения, используем несколько закрепленных на панели нихромовых проволок, равных по длине, но разных по площади поперечного сечения (рис. 30.2). Опыт покажет, что увеличение вдвое площади поперечного сечения проводника приводит к двукратному уменьшению его сопротивления, то есть *сопротивление проводника обратно пропорционально площади его поперечного сечения*.

Проведя опыты с проводниками, одинаковыми по длине и площади поперечного сечения, но изготовленными из разных материалов (например, меди, алюминия, нихрома), убедимся, что *сопротивление проводника зависит от материала, из которого изготовлен проводник*.

Подводя итоги опытов, можно записать формулу:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где R — сопротивление проводника; l — длина проводника; S — площадь поперечного сечения проводника; ρ — коэффициент пропорциональности, зависящий от вещества (материала), из которого изготовлен проводник. Этот коэффициент называют *удельным сопротивлением вещества*.

2 Даём определение удельного сопротивления вещества

Обратимся к формуле для вычисления сопротивления проводника: $R = \rho \frac{l}{S}$. Из формулы следует, что $\rho = \frac{RS}{l}$. Если $l = 1$ м, а $S = 1$ м², то ρ численно равно R .

Удельное сопротивление вещества — это физическая величина, которая характеризует электрические свойства данного вещества и численно равна сопротивлению изготовленного из него проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 м².

Единица удельного сопротивления в СИ — **ом-метр**:

$$[\rho] = 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$



Рис. 30.2. Опыт, доказывающий, что сопротивление проводника обратно пропорционально площади его поперечного сечения

На практике в основном имеют дело с проводниками малой площади поперечного сечения. Поэтому часто как единицу удельного сопротивления вещества используют $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$. Поскольку $1 \text{ мм}^2 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$, то

$$1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Удельные сопротивления определяют опытным путем и заносят в таблицы (см. [табл. 7 Приложения](#)). Значение удельного сопротивления существенно зависит от температуры вещества, поэтому в таблицах обязательно указывают температуру, при которой получены приведенные значения.

? Воспользовавшись данными [табл. 7 Приложения](#), объясните, почему для изготовления электропроводки в помещениях обычно используют алюминий и медь, а не значительно более дешевую сталь. Почему резину, фарфор, эбонит используют в электротехнике как изоляторы?

3 Знакомимся с реостатами

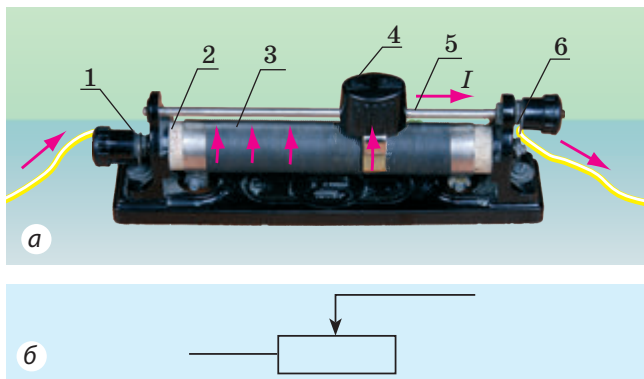
На том факте, что сопротивление проводника прямо пропорционально его длине, базируется принцип действия *реостатов*.

Реостат — это устройство с изменяемым сопротивлением, предназначенное для регулирования силы тока в электрической цепи.

Если ввести реостат в электрическую цепь, то, изменяя его сопротивление, можно изменять силу тока в цепи $\left(I = \frac{U}{R}\right)$, а значит, настраивать громкость звука радиоприемника, регулировать яркость свечения лампы и т. д.

С простейшим реостатом вы уже встречались, когда выясняли зависимость сопротивления проводника от его длины (см. [рис. 30.1](#)). Конечно, реостаты, которые применяют на практике, более удобны. Рассмотрим *двухконтактный ползунковый реостат* ([рис. 30.3](#)). Металлический провод (3) наматывают на керамический цилиндр (2) и таким образом

Рис. 30.3. Двухконтактный ползунковый реостат:
 а — общий вид;
 1, 6 — клеммы;
 2 — керамический цилиндр;
 3 — металлический провод (обмотка);
 4 — ползунок;
 5 — металлический стержень;
 б — условное обозначение на схемах



уменьшают габариты реостата. Над обмоткой закрепляют металлический стержень (5), на котором размещают ползунок (4).

Реостат имеет две клеммы (два контакта), одна из которых (1) соединена с обмоткой, а другая (6) — со стержнем. Когда реостат присоединен к цепи, электрический ток проходит от одной клеммы к другой (сначала в витках обмотки к ползунку, а затем в стержне).

Передвигая ползунок вдоль стержня, плавно увеличивают или уменьшают длину l участка обмотки, в котором проходит ток. Так как $R = \rho \frac{l}{S}$, сопротивление реостата тоже плавно увеличивается или уменьшается, а это, в свою очередь, приводит к плавному изменению силы тока.

На практике кроме ползунковых используют и другие типы реостатов, например *рычажные (секционные) реостаты* (рис. 30.4). Сопротивление рычажных реостатов (в отличие от ползунковых) изменяется скачками, соответственно скачками изменяется и сила тока. Рычажные реостаты применяют для включения и выключения электродвигателей.

❓ Рассмотрите рис. 30.4, б и выясните, во сколько раз уменьшится сопротивление секционного реостата, если рычаг переключить с контакта А на контакт Б.

Каждый реостат рассчитан на определенное напряжение. Максимальное сопротивление реостата и наибольшее возможное напряжение на нем указаны в специальной таблице на корпусе устройства. Обмотки реостатов обычно изготавливают из металлов (сплавов) с высоким удельным сопротивлением (константан, манганин, нихром, фехраль).

4 Учимся решать задачи

Задача 1. Медный провод имеет длину 10 м и площадь поперечного сечения $0,5 \text{ мм}^2$. Вычислите силу тока в этом проводе, если напряжение на его концах равно 34 мВ.

Анализ физической проблемы. Силу тока можно определить по закону Ома, а для этого необходимо вычислить сопротивление проводника. Для этого воспользуемся формулой для расчета сопротивления. Удельное сопротивление меди найдем в соответствующей таблице.

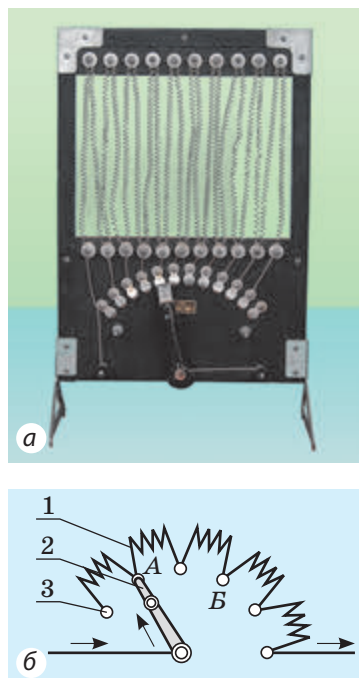


Рис. 30.4. Рычажный (секционный) реостат:
а — общий вид;
б — схема:
1 — металлический провод;
2 — рычаг;
3 — контакт.
Стрелками указано направление тока

Дано:

$l = 10 \text{ м}$

$S = 0,5 \text{ мм}^2$

$U = 0,034 \text{ В}$

$\rho = 0,017 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

Найти: $I - ?$ *Поиск математической модели, решение*

Согласно закону Ома: $I = \frac{U}{R} \Rightarrow R = \frac{U}{I}$.

Сопротивление провода определим по формуле

$R = \frac{\rho l}{S}$. Итак, имеем:

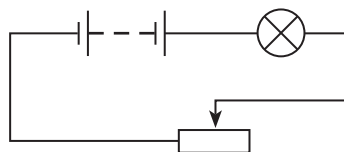
$$\frac{U}{I} = \frac{\rho l}{S} \Rightarrow I = \frac{US}{\rho l}.$$

Проверим единицу, найдем значение искомой величины:

$$[I] = \frac{\frac{\text{В} \cdot \text{мм}^2}{\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \cdot \text{м}}}{\frac{\text{В}}{\text{А}}} = \frac{\text{В} \cdot \text{мм}^2}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2} = \frac{\text{В}}{\text{В}} = \frac{\text{В} \cdot \text{А}}{\text{В}} = \text{А}; \quad I = \frac{0,034 \cdot 0,5}{0,017 \cdot 10} = 0,1 \text{ (А)}.$$

Ответ: $I = 0,1 \text{ А}$.

Задача 2. На рисунке изображена схема электрической цепи, состоящей из источника тока, электрической лампы и реостата. Как изменится сила тока в лампе, если ползунок реостата передвинуть вправо?



Анализ физической проблемы, решение. Если передвинуть ползунок реостата вправо, то длина обмотки, в которой течет ток, увеличится ($l \uparrow$). Сопротивление реостата тоже увеличится ($R_{\text{реост}} \uparrow$). Соответственно увеличится и общее сопротивление участка цепи ($R \uparrow$).

По закону Ома $I = \frac{U}{R}$. Напряжение на участке цепи не изменяется ($U = \text{const}$), а сопротивление участка увеличится, поэтому сила тока в участке, а следовательно, и в лампе, уменьшится ($I \downarrow$).

Ответ: сила тока в лампе уменьшится.

Подводим итоги

Сопротивление R проводника прямо пропорционально его длине l , обратно пропорционально площади S его поперечного сечения и зависит от вещества, из которого изготовлен проводник: $R = \rho \frac{l}{S}$, где ρ — удельное сопротивление вещества. Удельное сопротивление вещества — это физическая величина, которая характеризует электрические свойства данного вещества и численно равна сопротивлению изготовленного из него проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 м^2 .

Для регулирования силы тока в цепи применяют реостаты — устройства, сопротивление которых можно изменять.



Контрольные вопросы

1. Докажите, что проводник оказывает сопротивление электрическому току. 2. Как доказать, что сопротивление проводника прямо пропорционально его длине? 3. Зависит ли сопротивление проводника от площади его поперечного сечения? Если зависит, то как? 4. По какой формуле вычисляют сопротивление проводника? 5. Что такое удельное сопротивление вещества? 6. Что такое реостат? 7. Какие типы реостатов вы знаете? Чем они отличаются друг от друга? 8. Опишите устройство и принцип действия ползункового реостата.



Упражнение № 30

- На рис. 1 изображены проводники, имеющие одинаковую площадь поперечного сечения, но изготовленные из разных веществ (железа, меди, свинца). Определите, из какого вещества изготовлен каждый проводник, если известно, что их сопротивления одинаковы.
- Вычислите сопротивление медного провода длиной 2 м, если площадь его поперечного сечения равна $6,8 \text{ мм}^2$.
- Как изменятся сопротивление реостата и сила тока в цепи (рис. 2), если ползунк реостата передвинуть вправо?
- Какой длины должен быть нихромовый провод с площадью поперечного сечения $0,2 \text{ мм}^2$, чтобы при напряжении на его концах 4,4 В сила тока в нем была 0,4 А?
- Провод, имеющий сопротивление 25 Ом, разрезали пополам и половины свили. Как и во сколько раз изменилось сопротивление провода? Поясните свой ответ.
- Напряжение на концах алюминиевого провода длиной 100 м равно 7 В. Определите массу провода, если сила тока в нем 10 А.
- По рис. 3 опишите принцип действия штепсельного реостата.



Рис. 1

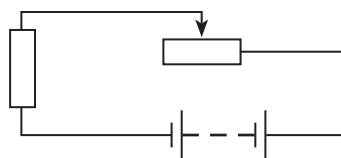


Рис. 2

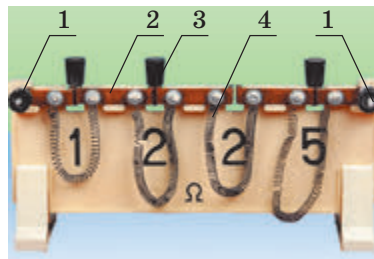


Рис. 3. Штепсельный реостат (магазин сопротивлений):
1 — зажимы;
2 — медная пластина;
3 — штепсель; 4 — спираль



Экспериментальное задание

Изготовьте из стального провода резистор, имеющий сопротивление 0,2 Ом. Опишите свои действия. Не забудьте указать диаметр и длину использованного провода.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3



Тема. Измерение сопротивления проводника с помощью амперметра и вольтметра.

Цель: научиться определять сопротивление проводника с помощью амперметра и вольтметра; убедиться на опыте в том, что сопротивление проводника не зависит от силы тока в нем и напряжения на его концах.

Оборудование: источник тока, резистор, ползунковый реостат, амперметр, вольтметр, ключ, соединительные провода.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ



Подготовка к эксперименту

- Прежде чем приступить к выполнению работы, убедитесь, что вы знаете:
 - требования безопасности при работе с электрическими цепями;
 - правила, которые необходимо соблюдать, выполняя измерения с помощью амперметра и вольтметра.
- Определите цену деления шкалы амперметра; вольтметра.

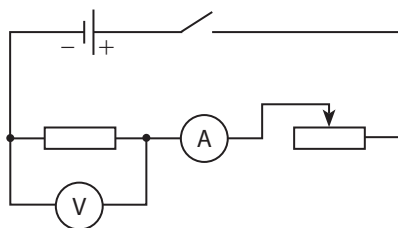


Эксперимент

Строго соблюдайте инструкцию по безопасности (см. форзац).

Результаты измерений сразу заносите в таблицу.

- Соберите электрическую цепь по приведенной схеме.



- Расположите ползунок реостата на середине обмотки.
- Замкните цепь и измерьте напряжение на концах резистора и силу тока в нем.
- Плавно передвигая ползунок реостата, увеличьте силу тока в цепи. Запишите показания вольтметра и амперметра.
- Передвигая ползунок реостата в противоположную сторону, еще дважды измерьте напряжение и силу тока.

Обработка результатов эксперимента

1. Вычислите сопротивление резистора для каждого случая.
2. Результаты вычислений занесите в таблицу.

Номер опыта	Сила тока I , А	Напряжение U , В	Сопротивление R , Ом
1			

Анализ эксперимента и его результатов

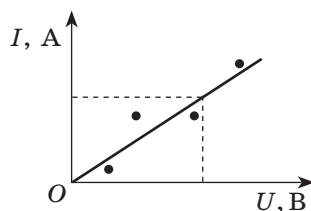
Проанализировав эксперимент и его результаты, сделайте вывод, в котором укажите:

- 1) какую физическую величину и с помощью каких приборов вы научились измерять;
- 2) зависит ли измеренная величина от силы тока в резисторе и напряжения на его концах;
- 3) какие факторы повлияли на точность измерения.

Творческое задание

По данным, полученным в ходе эксперимента, постройте график — вольт-амперную характеристику резистора. По графику определите сопротивление резистора.

Обратите внимание: из-за погрешности измерения точки могут не принадлежать одной прямой, проходящей через начало координат ($U=0$, $I=0$). В этом случае строите график так, чтобы он проходил через точку $(0, 0)$ и чтобы с обеих сторон от графика было примерно одинаковое количество экспериментальных точек. Для нахождения сопротивления резистора используйте любую точку полученного графика (см. рисунок).



Задание «со звездочкой»

Считая, что абсолютные погрешности измерения силы тока и напряжения равны цене деления шкалы соответствующего прибора, определите для опыта 1:

- 1) относительную погрешность измерения силы тока: $\varepsilon_I = \frac{\Delta I}{I}$;
- 2) относительную погрешность измерения напряжения: $\varepsilon_U = \frac{\Delta U}{U}$;
- 3) относительную погрешность измерения сопротивления: $\varepsilon_R = \varepsilon_I + \varepsilon_U$;
- 4) абсолютную погрешность измерения сопротивления: $\Delta R = \varepsilon_R \cdot R$.

§ 31. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

Представьте плеер без кнопки «Включение/выключение», то есть такой, который можно, например, выключить, только вынув аккумулятор. Очень неудобно, правда? Но отсутствие выключателя — это только неудобство в пользовании, а вот неправильное подключение выключателя к цепи может привести к неприятностям (плеер может выйти из строя). О том, как следует подключать выключатели к устройствам и приборам и какие особенности имеет такое соединение, вы узнаете из данного параграфа.

1 Изучаем свойства цепи, состоящей из последовательно соединенных проводников

Электрическая цепь, представленная на [рис. 31.1](#), не имеет разветвлений: элементы цепи расположены последовательно друг за другом. Такое соединение проводников называют *последовательным*. С последовательным соединением вы уже встречались (см. [рис. 26.3, 27.6](#)), а теперь рассмотрим его подробнее.

Обратите внимание: если один из последовательно соединенных проводников выйдет из строя, то в остальных ток тоже не будет идти, поскольку *цепь будет разомкнута*.

Поскольку цепь с последовательным соединением проводников не имеет разветвлений, то заряд, проходящий через поперечное сечение каждого проводника за определенное время t , одинаков:

$$q = q_1 = q_2,$$

где q — общий заряд, прошедший через цепь; q_1 — заряд, прошедший через спираль резистора; q_2 — заряд, прошедший через нить накала лампы.

Разделив полученное выражение на t , получим: $\frac{q}{t} = \frac{q_1}{t} = \frac{q_2}{t}$.

По определению силы тока: $\frac{q}{t} = I$, следовательно: $I = I_1 = I_2$.

При последовательном соединении проводников общая сила тока в цепи и сила тока в каждом проводнике одинаковы:

$$I = I_1 = I_2$$

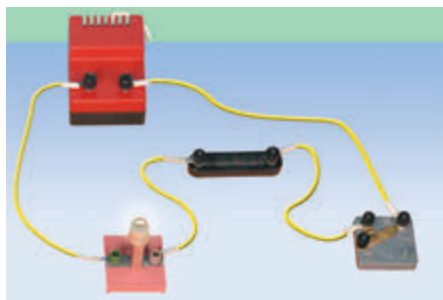


Рис. 31.1. Последовательное соединение нескольких проводников

Наши теоретические исследования легко проверить экспериментально ([рис. 31.2](#)).

Чтобы узнать, каким соотношением связаны общее напряжение U на двух последовательно соединенных проводниках и напряжения U_1 и U_2 на первом и втором проводниках соответственно, вспомним формулу для вычисления напряжения:

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

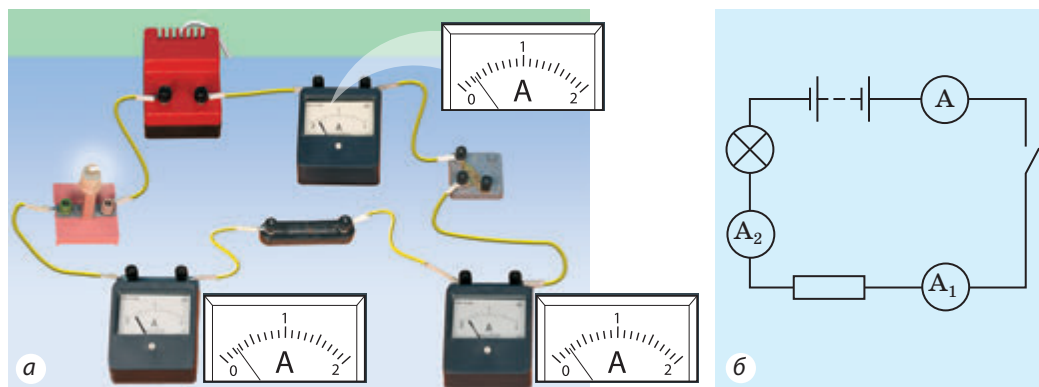


Рис. 31.2. Измерение силы тока в разных участках электрической цепи, состоящей из последовательно соединенных проводников: *а* — общий вид электрической цепи; *б* — схема. Сила тока во всех проводниках одинакова

Если электрическое поле выполняет работу A_1 по перемещению заряда q в первом проводнике и A_2 — во втором, то понятно, что для перемещения этого заряда через оба проводника будет выполнена работа $A = A_1 + A_2$. Разделив обе части равенства на q , получаем: $\frac{A}{q} = \frac{A_1}{q} + \frac{A_2}{q}$.

По определению напряжения $\frac{A}{q} = U$, следовательно, $U = U_1 + U_2$.

Общее напряжение U на двух последовательно соединенных проводниках равно сумме напряжений U_1 на первом проводнике и напряжений U_2 на втором проводнике:

$$U = U_1 + U_2$$

Данный вывод можно проверить экспериментально (рис. 31.3).

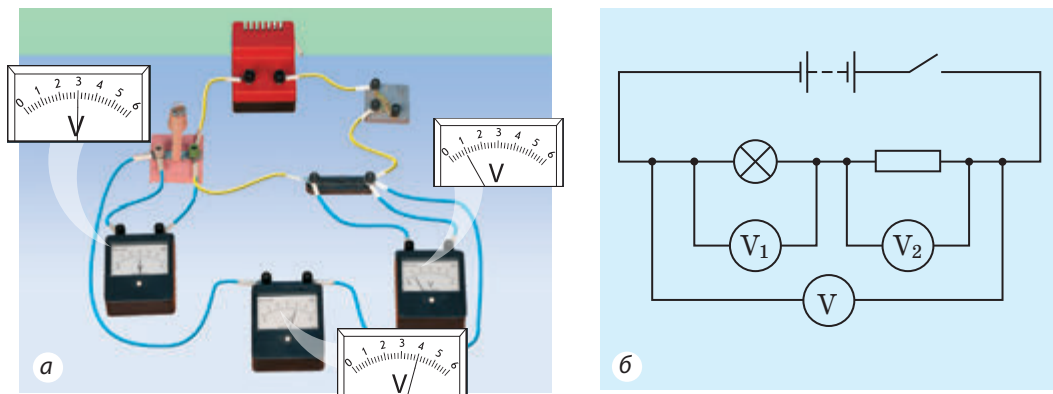


Рис. 31.3. Измерение напряжения на разных участках электрической цепи, состоящей из последовательно соединенных проводников: *а* — общий вид электрической цепи; *б* — схема. Напряжение на участке цепи, содержащем последовательно соединенные лампу и резистор, равно сумме напряжений на отдельных устройствах

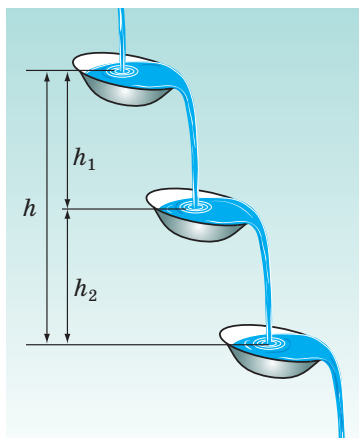


Рис. 31.4. Механическая модель последовательного соединения проводников

Полученные соотношения для тока и напряжения выполняются для любого количества последовательно соединенных проводников:

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n ;$$

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n ,$$

где n — количество проводников.

? Чтобы лучше понять свойства последовательного соединения проводников, воспользуйтесь механической аналогией (рис. 31.4); соответствующие параллели проведите самостоятельно.

2 Выводим формулу для расчета сопротивления

Для вычисления сопротивления R участка цепи, состоящего из двух последовательно соединенных проводников сопротивлениями R_1 и R_2 , воспользуемся соотношением $U = U_1 + U_2$.

Применив закон Ома, можем переписать данное соотношение так:

$$IR = I_1 R_1 + I_2 R_2 .$$

Поскольку при последовательном соединении $I_1 = I_2 = I$, получим: $IR = IR_1 + IR_2$, или $IR = I(R_1 + R_2)$. После сокращения на I окончательно имеем:

$$R = R_1 + R_2$$

Если участок цепи состоит из нескольких последовательно соединенных проводников, то сопротивление участка равно сумме сопротивлений отдельных проводников:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n ,$$

где n — количество проводников.

Проанализировав последнюю формулу, можно сделать следующие выводы:

- общее сопротивление последовательно соединенных проводников больше, чем сопротивление каждого из этих проводников;
- общее сопротивление последовательно соединенных проводников, имеющих одинаковое сопротивление, можно рассчитать по формуле:

$$R = n \cdot R_0 ,$$

где n — количество проводников; R_0 — сопротивление каждого проводника.

3 Учимся решать задачи

Задача. Три резистора сопротивлениями 2 Ом, 3 Ом и 7 Ом соединены последовательно. Каково сопротивление данного участка цепи? Определите напряжение на каждом резисторе и силу тока в участке, если на участок подано напряжение 36 В. Сопротивлением проводов пренебречь.

Анализ физической проблемы. В условии задачи указано сопротивление каждого резистора, поэтому можем найти общее сопротивление участка цепи. Воспользовавшись законом Ома, найдем силу тока в цепи. Зная, что сила тока в участке цепи, состоящем из последовательно соединенных проводников, везде одинакова, вычислим напряжение на каждом резисторе.

Дано:

$$R_1 = 2 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 3 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 7 \text{ Ом}$$

$$U = 36 \text{ В}$$

Найти:

$$R - ?$$

$$U_1 - ?$$

$$U_2 - ?$$

$$U_3 - ?$$

$$I - ?$$

Поиск математической модели, решение

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 2 \text{ Ом} + 3 \text{ Ом} + 7 \text{ Ом} = 12 \text{ Ом}.$$

$$\text{Согласно закону Ома: } I = \frac{U}{R} = \frac{36 \text{ В}}{12 \text{ Ом}} = 3 \text{ А}.$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = I, \text{ поэтому } I_1 = 3 \text{ А}; I_2 = 3 \text{ А}; I_3 = 3 \text{ А}.$$

$$U_1 = I_1 R_1 = 3 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом} = 6 \text{ В}; U_2 = I_2 R_2 = 3 \text{ А} \cdot 3 \text{ Ом} = 9 \text{ В};$$

$$U_3 = I_3 R_3 = 3 \text{ А} \cdot 7 \text{ Ом} = 21 \text{ В}.$$

Анализ результатов. Напряжение на участке цепи:
 $U = U_1 + U_2 + U_3 = 6 \text{ В} + 9 \text{ В} + 21 \text{ В} = 36 \text{ В}.$

Полученный результат совпадает со значением напряжения, данным в условии задачи, значит, задача решена правильно.

Ответ: $R = 12 \text{ Ом}; U_1 = 6 \text{ В}; U_2 = 9 \text{ В}; U_3 = 21 \text{ В}; I = 3 \text{ А}.$



Подводим итоги

Электрическая цепь, состоящая из последовательно соединенных проводников, не имеет разветвлений. Проводники присоединяются к цепи последовательно, друг за другом. Отключение одного из потребителей приводит к размыканию цепи.

Если участок цепи состоит из n последовательно соединенных проводников, то выполняются следующие соотношения:

— сила тока во всем участке цепи и в каждом проводнике одинакова:
 $I = I_1 = I_2 = \dots = I_n;$

— напряжение на всем участке цепи равно сумме напряжений на отдельных проводниках: $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n;$

— сопротивление участка цепи больше, чем сопротивление каждого проводника, и вычисляется по формуле $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n.$

— сопротивление участка цепи, состоящего из последовательно соединенных проводников одинакового сопротивления, можно рассчитать по формуле $R = n \cdot R_0$, где R — сопротивление участка; R_0 — сопротивление каждого проводника.



Контрольные вопросы

1. Какую особенность имеет электрическая цепь, состоящая из последовательно соединенных проводников? **2.** Почему выключатель всегда соединяют с потребителем последовательно? **3.** Участок цепи состоит из последовательно соединенных проводников. Каково соотношение между силой тока в участке и силой тока в каждом проводнике? между напряжением на участке и напряжением на каждом проводнике? Как вычислить общее сопротивление участка цепи? **4.** Как изменится сопротивление участка цепи, если к нему последовательно присоединить еще один проводник?



Упражнение № 31

Выполняя задания, сопротивлением проводов следует пренебречь.

- Участок цепи содержит два последовательно соединенных одинаковых резистора сопротивлением 2 Ом каждый. Определите сопротивление участка. Какое напряжение подано на участок, если сила тока в нем 0,5 А? Каково напряжение на каждом резисторе?
- Общее сопротивление двух ламп и реостата, соединенных последовательно, равно 65 Ом. Определите сопротивление реостата, если сопротивление каждой лампы 15 Ом.
- Участок цепи (рис. 1) содержит две последовательно соединенные лампы. Сопротивления ламп: $R_1 = 120$ Ом; $R_2 = 130$ Ом. Определите показания вольтметра, если напряжение на участке 100 В.
- Сопротивление одного из двух последовательно соединенных резисторов равно 650 Ом. Найдите сопротивление второго резистора, если сила тока в нем 80 мА, а общее напряжение на резисторах 72 В.
- Участок цепи (рис. 2) содержит три последовательно соединенных резистора. Сопротивления резисторов: $R_1 = 5$ Ом; $R_2 = 8$ Ом; $R_3 = 15$ Ом. Каково показание амперметра и чему равно напряжение между точками А и В, если вольтметр показывает 1,6 В?

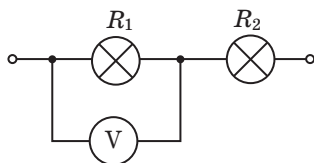


Рис. 1

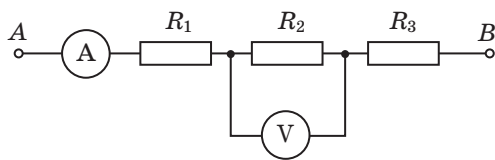


Рис. 2

- Можно ли лампу для карманного фонарика, рассчитанную на силу тока 0,3 А, включить в осветительную сеть последовательно с лампой, рассчитанной на напряжение 220 В и имеющей сопротивление 1100 Ом? Поясните свой ответ.
- Любой вольтметр рассчитан на измерение напряжения, не превышающего некоторого предела. Но если к вольтметру последовательно присоединить *дополнительное сопротивление* (R_d) — резистор (рис. 3), то предел измерения вольтметра увеличится. Это происходит потому, что измеряемое напряжение U делится на две части: одна часть (U_V) приходится на вольтметр, а другая (U_d) — на резистор: $U = U_V + U_d$.

Резистор какого сопротивления необходимо последовательно присоединить к школьному вольтметру сопротивлением 900 Ом, чтобы увеличить предел его измерения в 5 раз? (Например, вольтметр показывает 6 В, а напряжение на нагревателе 30 В.) Подумайте, где вам могут пригодиться знания, приобретенные при выполнении этого задания.



8. Кубик массой 240 г упал с полки шкафа сначала на стол, а затем на пол (рис. 4). Как изменялась энергия кубика во время падения? Какую работу выполнила сила тяжести на каждом этапе падения? за все время падения?

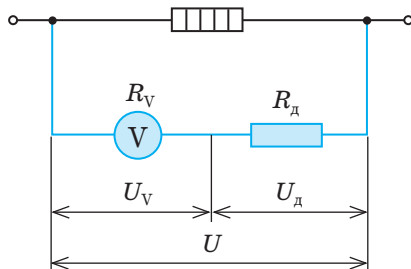


Рис. 3

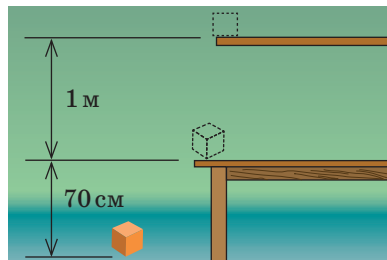


Рис. 4



Экспериментальное задание

Изготовьте устройство для проверки знаний (рис. 5). Для этого сделайте следующее.

1. На лист плотного картона наклейте в два столбика 10–16 прямоугольных полосок бумаги.
2. На полосках, расположенных в левом столбике, напишите вопросы.
3. На полосках в правом столбике напишите ответы, причем так, чтобы пара «вопрос — правильный ответ» не попадала на одну строку.
4. Рядом с каждым прямоугольником вставьте в картон кнопку с длинным острием.
5. На обратной стороне картона соедините кнопки проводами так, чтобы образовались пары «вопрос — правильный ответ» (рис. 6), и соберите электрическую цепь.
6. Проверьте знания своих одноклассников, попросив их прикоснуться свободными концами проводов к клемме с вопросом и клемме с ответом. Если ответ правильный, то лампа должна засветиться.

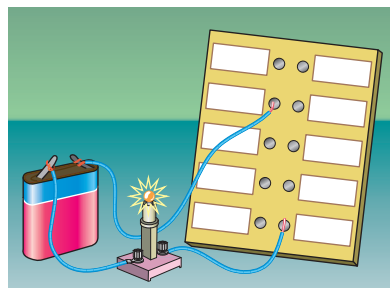


Рис. 5

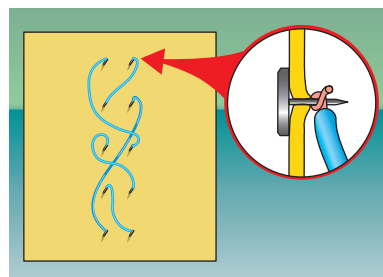


Рис. 6

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4



Тема. Исследование электрической цепи с последовательным соединением проводников.

Цель: экспериментально проверить, что при последовательном соединении двух проводников выполняются соотношения: $I = I_1 = I_2$; $U = U_1 + U_2$; $R = R_1 + R_2$.

Оборудование: источник тока, вольтметр, амперметр, ключ, два резистора, соединительные провода.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ



Подготовка к эксперименту

1. Прежде чем приступить к выполнению работы, убедитесь, что вы знаете требования безопасности при работе с электрическими цепями.
2. Начертите схему электрической цепи, состоящей из источника тока, двух резисторов и ключа, соединенных последовательно.
3. Составьте и запишите план эксперимента. Если сомневаетесь, то воспользуйтесь планом, приведенным ниже.



Эксперимент

Строго соблюдайте инструкцию по безопасности (см. форзац).

Опыт 1. Сравнение силы тока в разных участках цепи, содержащих последовательное соединение проводников.

1. Соберите электрическую цепь по начерченной вами схеме.
2. Измерьте силу тока, включив амперметр сначала между источником тока и первым резистором (I_1), потом между ключом и вторым резистором (I_2), а затем между ключом и источником тока (I). Начертите схемы соответствующих электрических цепей.
3. Результаты измерений занесите в табл. 1 и сделайте вывод.

Таблица 1

I_1 , А	I_2 , А	I , А	Вывод

Опыт 2. Сравнение напряжения на участке цепи, состоящем из последовательно соединенных резисторов, с суммой напряжений на отдельных резисторах.

1. В цепи, собранной для проведения опыта 1, измерьте напряжение сначала на первом резисторе (U_1), потом на втором резисторе (U_2), а затем на обоих резисторах (U). Начертите схемы соответствующих электрических цепей.

2. Результаты измерений занесите в табл. 2. Закончите заполнение таблицы, сделайте вывод.

Таблица 2

U_1 , В	U_2 , В	U , В	$(U_1 + U_2)$, В	Вывод

Обработка результатов эксперимента

- Используя результаты опытов 1 и 2, вычислите сопротивление первого резистора (R_1), второго резистора (R_2) и сопротивление участка цепи, содержащего оба резистора (R).
- Результаты вычислений занесите в табл. 3. Закончите заполнение таблицы, сделайте вывод.

Таблица 3

R_1 , Ом	R_2 , Ом	R , Ом	$(R_1 + R_2)$, Ом	Вывод

Анализ эксперимента и его результатов

Проанализировав эксперимент и его результаты, сделайте вывод, в котором укажите:

- какие соотношения для последовательно соединенных проводников вы проверяли и какие результаты получили;
- какие факторы могли повлиять на точность полученных вами результатов.

Творческое задание

Запишите план проведения эксперимента, с помощью которого можно определить сопротивление резистора, если у вас есть вольтметр, источник тока, резистор известного сопротивления и соединительные провода. Проведите соответствующий эксперимент.

Задание «со звездочкой»

Считая, что абсолютная погрешность измерения напряжения равна цене деления шкалы вольтметра, определите для опыта 2:

- относительную погрешность измерения напряжения на первом резисторе: $\varepsilon_{U_1} = \frac{\Delta U}{U_1}$;
- относительную погрешность измерения общего напряжения: $\varepsilon_U = \frac{\Delta U}{U}$;
- относительную погрешность эксперимента: $\varepsilon = \left| 1 - \frac{U_1 + U_2}{U} \right| \cdot 100\%$.



§ 32. ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

На практике к электрической цепи часто приходится присоединять сразу несколько потребителей. Так, электрическая цепь освещения школьного кабинета обязательно содержит несколько ламп, при этом выход из строя одной лампы не приведет к отключению остальных. Физики в таком случае говорят, что лампы соединены параллельно. А как вычислить силу тока, напряжение и сопротивление при параллельном соединении проводников?

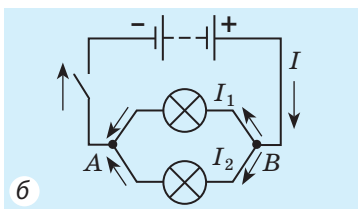
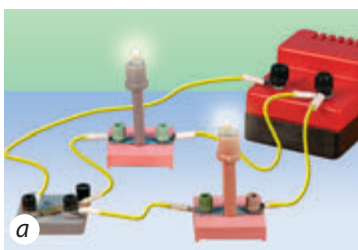


Рис. 32.1. Параллельное соединение нескольких потребителей тока: а — общий вид; б — схема; стрелками показано направление тока

1 Изучаем цепь, состоящую из параллельно соединенных проводников

Рассмотрим электрическую цепь, содержащую две параллельно соединенные лампы (рис. 32.1, а). Обратившись к схеме этой цепи (рис. 32.1, б), видим: во-первых, для прохождения тока в цепи есть два пути — две *ветви*, каждая из которых содержит одну лампу; во-вторых, обе ветви имеют общую пару точек — А и В. Такие точки называют *узловыми точками* (*узлами*)*. В узловых точках происходит разветвление цепи. *Разветвление является характерным признаком цепи с параллельным соединением проводников.*

Схема цепи может содержать не одну, а несколько пар узловых точек. При этом все проводники, присоединенные к любой паре узловых точек, считаются соединенными *параллельно* (рис. 32.2).

2 Выясняем, как рассчитать силу тока и напряжение при параллельном соединении проводников

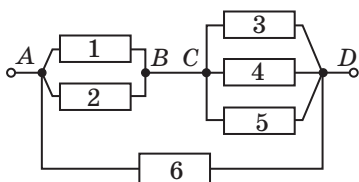


Рис. 32.2. Схема участка цепи, содержащего параллельное соединение проводников. Соединены параллельно: резисторы 1 и 2 (узлы А и В), резисторы 3, 4 и 5 (узлы С и D); резистор 6 присоединен параллельно участку AD (узлы А и D)

Чтобы определить напряжение на каждом из параллельно соединенных проводников, достаточно измерить напряжение между узловыми точками. Так, присоединив вольтметр к паре узловых точек А и В (рис. 32.3), сразу измерим напряжение и на участке АВ, и на каждой лампе.

Общее напряжение на участке и напряжение на каждом из параллельно соединенных проводников одинаковы:

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n,$$

где n — количество проводников.

* *Узловая точка* — точка на схеме цепи, в которой соединены не менее трех проводов.

Уже отмечалось, что при параллельном соединении проводников есть несколько путей для прохождения тока (см. рис. 32.1, б). Действительно, ток, дойдя до разветвления (узловая точка B), растекается по двум ветвям. Так как заряд в узловой точке не накапливается, то заряд q , «поступивший» в узел за определенное время t , равен сумме зарядов ($q_1 + q_2$), «вышедших» из этого узла за это же время: $q = q_1 + q_2$. Разделив обе части равенства на t , получим: $\frac{q}{t} = \frac{q_1}{t} + \frac{q_2}{t}$. Поскольку $\frac{q}{t} = I$, имеем:

$$I = I_1 + I_2$$

Данное соотношение выполняется для любого количества параллельно соединенных проводников.

При параллельном соединении проводников сила тока в неразветвленной части цепи равна сумме сил токов в ответвлениях (отдельных ветвях):

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n,$$

где n — количество проводников.

Данное утверждение можно доказать экспериментально, подключив в электрическую цепь, изображенную на рис. 32.1, три амперметра: один (A) в неразветвленную часть цепи, а два других (A_1 и A_2) — в каждое ответвление (рис. 32.4).

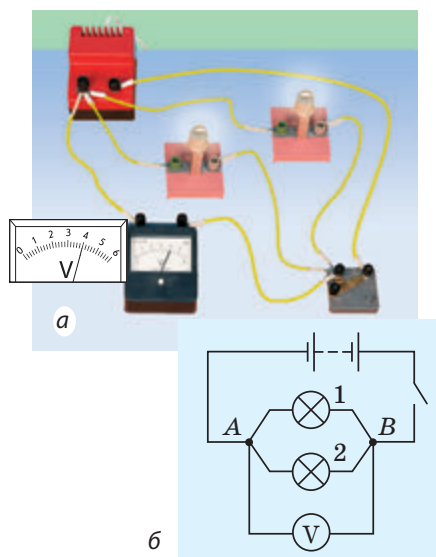


Рис. 32.3. Измерение напряжения при параллельном соединении проводников: a — внешний вид; b — схема. Вольтметр показывает напряжение на лампе 1, лампе 2 и на всем участке AB

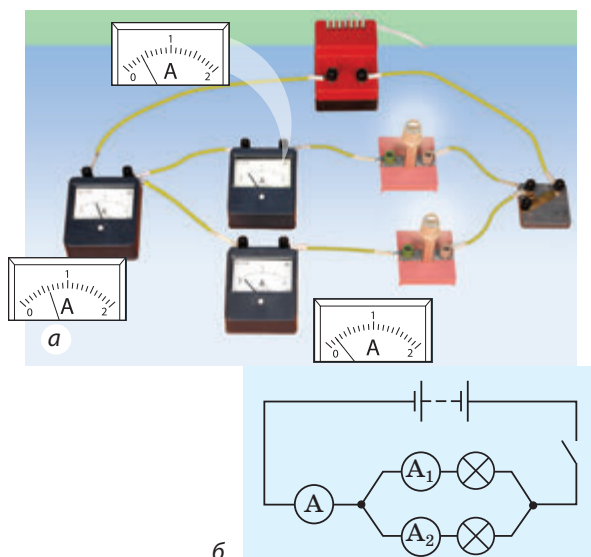


Рис. 32.4. Измерение силы тока при параллельном соединении проводников: сила тока в неразветвленном участке цепи, измеряемая амперметром A , равна сумме сил токов, измеряемых амперметрами A_1 и A_2 в каждой ветви разветвления

Обратите внимание: если одна из параллельно соединенных ламп выйдет из строя, то вторая продолжит светиться, потому что через ее нить накала все равно будет проходить ток.

- ❓ Попробуйте объяснить, почему потребители электрической энергии в вашем доме соединены параллельно?

3 Выводим формулу для расчета сопротивления участка цепи с параллельным соединением проводников

Чтобы вычислить сопротивление R участка цепи AB (см. рис. 32.1), состоящего из двух параллельно соединенных ламп, воспользуемся соотношением:

$$I = I_1 + I_2.$$

Обозначив сопротивления ламп как R_1 и R_2 и применив закон Ома, можем переписать данное соотношение в виде: $\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}$.

Поскольку при параллельном соединении проводников $U_1 = U_2 = U$, получим: $\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$. После сокращения на U окончательно имеем:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Из последнего выражения получаем формулу для расчета сопротивления участка цепи, состоящего из двух параллельно соединенных проводников:

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

В общем случае сопротивление R участка цепи, состоящего из n параллельно соединенных проводников, можно вычислить по формуле:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Проанализировав последнюю формулу, придем к следующим выводам:

- общее сопротивление параллельно соединенных проводников меньше, чем сопротивление каждого из этих проводников;
- общее сопротивление параллельно соединенных проводников, имеющих одинаковое сопротивление, можно рассчитать по формуле:

$$R = \frac{R_0}{n},$$

где R_0 — сопротивление каждого проводника; n — количество проводников.

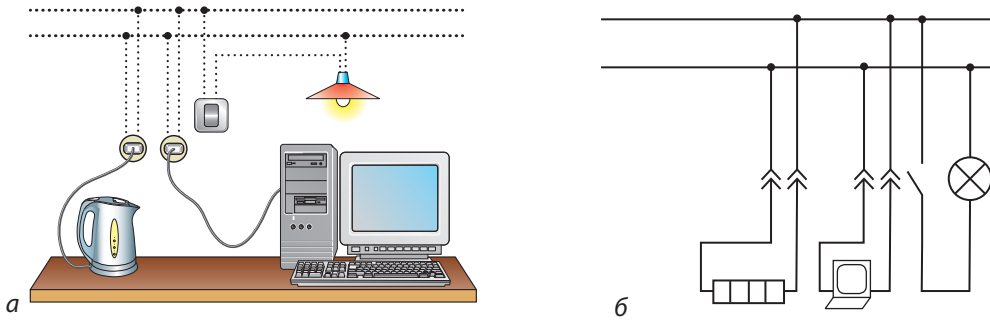


Рис. 32.5. Часть электрической проводки в квартире: *а* — общий вид; *б* — схематическое изображение. На практике электропроводку скрывают в стенах

? Найдите сопротивление участка цепи, содержащего пять проводников сопротивлением 15 кОм каждый, если проводники соединены: параллельно; последовательно. Какова сила тока в каждом проводнике, если на участок подано напряжение 300 В ?

4 Узнаём о некоторых важных фактах

Надеемся, что вы правильно ответили на вопрос в пункте 2 этого параграфа и пришли к следующему выводу. Разнообразные бытовые электрические устройства включают в электрическую сеть параллельно, поскольку: 1) только при таком подключении на каждом устройстве будет то напряжение, на которое оно рассчитано, а именно 220 В ; 2) отключение одного из потребителей не приведет к отключению других.

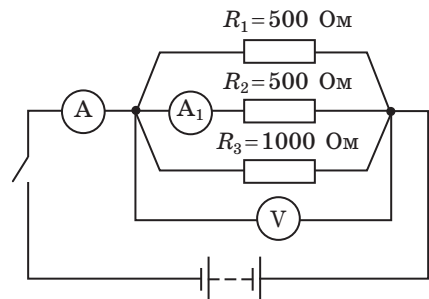
На [рис. 32.5](#) изображена часть электрической проводки в квартире. Горизонтальные линии — провода электросети. Эти скрытые в стенах провода охватывают всю квартиру. Напряжение между проводами составляет 220 В .

5 Учимся решать задачи

Задача 1. На [рисунке](#) приведена схема электрической цепи. Определите показания амперметров, если показание вольтметра 12 В . Сопротивления резисторов указаны на рисунке.

Анализ физической проблемы. Приведенная схема электрической цепи имеет два разветвления, следовательно, цепь содержит параллельное соединение проводников.

Амперметр A подключен перед разветвлением, а амперметр A_1 — в ответвление, содержащее резистор 2. Таким образом, необходимо найти общую силу тока в цепи и силу тока в резисторе 2. Значения искомых величин определим, воспользовавшись законом Ома и формулами для расчета силы тока и напряжения при параллельном соединении проводников.



Дано:

$$U = 12 \text{ В}$$

$$R_1 = 500 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 500 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 1000 \text{ Ом}$$

Найти:

$$I - ?$$

$$I_2 - ?$$

Поиск математической модели, решение

При параллельном соединении проводников $U_1 = U_2 = U_3 = U$, поэтому $U_1 = 12 \text{ В}$; $U_2 = 12 \text{ В}$; $U_3 = 12 \text{ В}$.

$$\text{Согласно закону Ома: } I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{12 \text{ В}}{500 \text{ Ом}} = 0,024 \text{ А};$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{12 \text{ В}}{500 \text{ Ом}} = 0,024 \text{ А}; \quad I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{12 \text{ В}}{1000 \text{ Ом}} = 0,012 \text{ А}.$$

Сила тока в неразветвленной части цепи:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 0,024 \text{ А} + 0,024 \text{ А} + 0,012 \text{ А} = 0,06 \text{ А}.$$

Анализ результатов. Из закона Ома сопротивление цепи:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12 \text{ В}}{0,06 \text{ А}} = \frac{1200 \text{ В}}{6 \text{ А}} = 200 \text{ Ом}.$$

При параллельном соединении проводников:

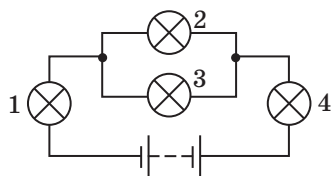
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{500 \text{ Ом}} + \frac{1}{500 \text{ Ом}} + \frac{1}{1000 \text{ Ом}} = \frac{5}{1000 \text{ Ом}}.$$

$$\text{Отсюда } R = \frac{1000 \text{ Ом}}{5} = 200 \text{ Ом}.$$

Результаты совпали, значит, задача решена правильно.

Ответ: $I = 60 \text{ мА}$; $I_2 = 24 \text{ мА}$.

Задача 2. Четыре лампы сопротивлением 6 Ом каждая соединены так, как показано на рисунке. Определите силу тока в каждой лампе, если напряжение на источнике 30 В.



Анализ физической проблемы. Цепь содержит **смешанное соединение проводников**: лампы 2 и 3 соединены параллельно; лампы 1 и 4 соединены последовательно с участком цепи, состоящим из ламп 2 и 3. Воспользовавшись законом Ома и соотношениями для силы тока, напряжения и сопротивления для последовательного и параллельного соединений проводников, определим значение искомых величин.

Дано:

$$U = 30 \text{ В}$$

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 6 \text{ Ом}$$

Найти:

$$I_1 - ?$$

$$I_2 - ?$$

$$I_3 - ?$$

$$I_4 - ?$$

Поиск математической модели, решение

Лампы 2 и 3 соединены параллельно и имеют одинаковое сопротивление, поэтому $R_{2,3} = \frac{R_2}{2} = \frac{6 \text{ Ом}}{2} = 3 \text{ Ом}$.
Общее сопротивление цепи:

$$R = R_1 + R_{2,3} + R_4 = 6 \text{ Ом} + 3 \text{ Ом} + 6 \text{ Ом} = 15 \text{ Ом}.$$

По закону Ома общая сила тока:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{30 \text{ В}}{15 \text{ Ом}} = 2 \text{ А}.$$

Поскольку $I_1 = I_{2,3} = I_4 = I$, то $I_1 = 2 \text{ А}$; $I_{2,3} = 2 \text{ А}$; $I_4 = 2 \text{ А}$.

$U_{2,3} = I_{2,3} R_{2,3} = 2 \text{ А} \cdot 3 \text{ Ом} = 6 \text{ В}$. $U_2 = U_3 = U_{2,3} \Rightarrow U_2 = 6 \text{ В}$; $U_3 = 6 \text{ В}$.

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{6 \text{ В}}{6 \text{ Ом}} = 1 \text{ А}; \quad I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{6 \text{ В}}{6 \text{ Ом}} = 1 \text{ А}.$$

Анализ результатов. С одной стороны, общая сила тока на участке, состоящем из ламп 2 и 3, равна 2 А, с другой стороны, $I_{2,3} = I_2 + I_3 = 1 \text{ А} + 1 \text{ А} = 2 \text{ А}$.

Результаты совпали, значит, задача решена правильно.

Ответ: $I_1 = I_4 = 2 \text{ А}$; $I_2 = I_3 = 1 \text{ А}$.

Обратите внимание: при расчетах сложных цепей со смешанным соединением проводников удобно пошагово упрощать схему. Так, в задаче 2 такое пошаговое упрощение будет иметь вид, представленный на рис. 32.6, а. Пошаговое упрощение более сложной схемы приведено на рис. 32.6, б.



Подводим итоги

Участок цепи, состоящий из параллельно соединенных проводников, обязательно имеет разветвление. Проводники считаются соединенными параллельно, если они подключены к паре узловых точек.

Отключение одного из параллельно соединенных проводников практически не влияет на работу остальных.

Если участок цепи состоит из n проводников, соединенных только параллельно, то справедливы утверждения:

- напряжение на каждом проводнике и на всем участке одинаково: $U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$;
- сила тока в неразветвленной части цепи равна сумме сил токов в ответвлениях: $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$;
- сопротивление участка цепи можно вычислить, воспользовавшись формулой $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$.

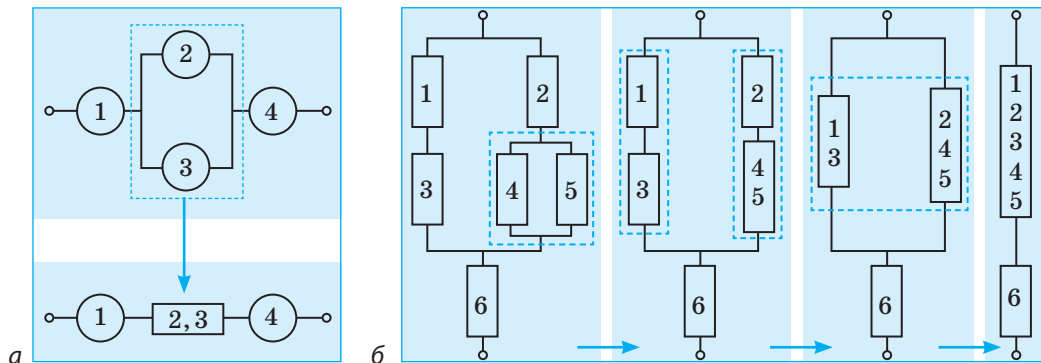


Рис. 32.6. Примеры пошагового упрощения электрической схемы при решении задач на смешанное соединение проводников



Контрольные вопросы

1. Назовите характерный признак цепи, содержащей параллельное соединение проводников. **2.** Сравните напряжение на участке цепи, содержащем параллельно соединенные проводники, и напряжения на каждом проводнике. **3.** Каково соотношение между силой тока в неразветвленной части цепи и силой тока в каждой ветви разветвления? **4.** С помощью какой формулы можно вычислить сопротивление участка цепи, состоящего из нескольких параллельно соединенных проводников? **5.** Почему потребители электроэнергии в вашем доме соединены параллельно?



Упражнение № 32

1. Электрическая цепь состоит из аккумулятора и соединенных параллельно трех ламп. Начертите схему цепи.

2. На рис. 1 изображена схема участка электрической цепи. Известно, что сопротивление R_1 равно 100 Ом, сопротивление R_2 — 150 Ом, показание амперметра — 2,4 А. Определите напряжение на участке.

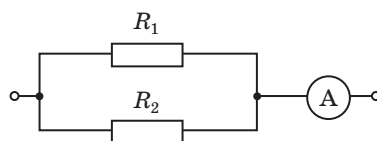


Рис. 1

3. Две электрические лампы соединили параллельно и подключили к источнику тока, напряжение на котором 120 В. Определите силу тока в каждой лампе и в неразветвленной части цепи, если сопротивление одной лампы равно 200 Ом, а второй — 300 Ом.

4. Одинаковые по длине и поперечному сечению провода — железный, медный и серебряный — соединили параллельно и подключили к источнику тока. В каком проводе сила тока будет наибольшей?

5. Определите сопротивление участка цепи, изображенного на рис. 32.6, б, если $R_1 = R_6 = 7$ Ом; $R_2 = 1$ Ом; $R_3 = 5$ Ом; $R_4 = 12$ Ом; $R_5 = 4$ Ом. Какой будет общая сила тока в участке цепи, если к нему приложить напряжение 4 В?

6. Чему равно напряжение на полюсах источника тока, питающего цепь (рис. 2), если $R_1 = 3$ Ом; $R_2 = 2$ Ом; $R_3 = 8$ Ом? Показание амперметра — 0,1 А.

7. Сопротивление всех резисторов на участке электрической цепи (рис. 3) одинаково и равно 5 Ом. К участку цепи приложено постоянное напряжение. Какой ключ нужно замкнуть, чтобы показание прибора A_2 было ниже показания прибора A_1 ? Какое значение силы тока будет показывать прибор A_1 , если замкнуть ключ K_1 ? Известно, что прибор A_2 показывает 300 мА, если все ключи разомкнуты.

8. У вас имеются 4 резистора сопротивлением R_0 каждый. Сколько разных сопротивлений и какие именно вы можете получить, используя все резисторы одновременно?

9. Чтобы измерить силу тока, превышающую ту, на которую рассчитан амперметр, можно воспользоваться тем же амперметром. Для этого параллельно амперметру подсоединяют резистор — *шунт* (рис. 4).

При наличии шунта ток делится на две части: одна идет через амперметр, а вторая — через шунт: $I = I_A + I_{\text{ш}}$.

Шунт какого сопротивления следует подключить параллельно амперметру сопротивлением 0,07 Ом, чтобы увеличить предел измерения амперметра от 2 до 10 А?

10. Составьте задачу по рис. 32.2 и решите ее.

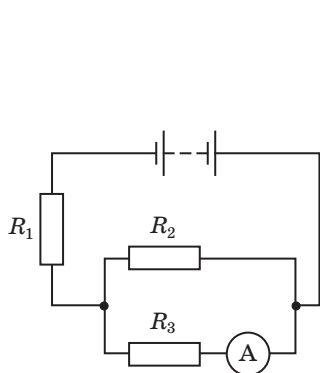


Рис. 2

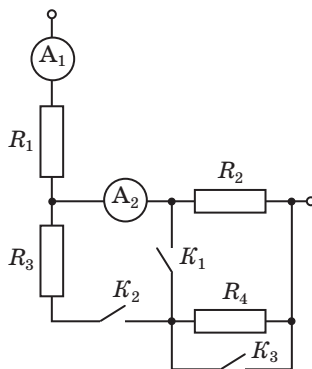


Рис. 3

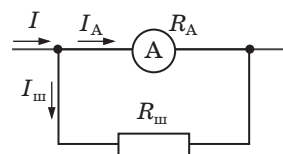


Рис. 4



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5



Тема. Исследование электрической цепи с параллельным соединением проводников.

Цель: экспериментально проверить, что сила тока в неразветвленной части цепи равна сумме сил токов в ответвлениях; доказать, что общее сопротивление проводников, соединенных параллельно, меньше, чем сопротивление каждого из них.

Оборудование: источник тока, вольтметр, амперметр, ключ, две электрические лампы на подставках, соединительные провода.

УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ



Подготовка к эксперименту

1. Прежде чем приступить к выполнению работы, убедитесь, что вы знаете требования безопасности при работе с электрическими цепями.
2. Начертите схему электрической цепи, содержащей две параллельно соединенные лампы, которые через ключ присоединены к источнику тока.

3. Составьте и запишите план проведения эксперимента. Если затрудняетесь, воспользуйтесь приведенным ниже планом.



Эксперимент

Строго соблюдайте инструкцию по безопасности (см. форзац).

Результаты измерений сразу заносите в таблицу.

1. Соберите электрическую цепь по начерченной вами схеме.
2. Измерьте силу тока I , проходящего в неразветвленной части цепи; силу тока I_1 в лампе 1; силу тока I_2 в лампе 2.
3. Измерьте напряжение U на лампах.
4. Начертите схемы соответствующих электрических цепей.



Обработка результатов эксперимента

Используя результаты измерений, вычислите сопротивления нити накала лампы 1 (R_1) и лампы 2 (R_2), а также сопротивление участка цепи, содержащего обе лампы (R). Результаты вычислений занесите в таблицу.

I , А	I_1 , А	I_2 , А	U , В	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R , Ом



Анализ эксперимента и его результатов

Проанализировав эксперимент и его результаты, сделайте вывод, в котором укажите:

- 1) какие соотношения для параллельно соединенных проводников вы проверяли и какие результаты получили;
- 2) какие факторы могли повлиять на точность полученных результатов.



Творческое задание

Запишите план проведения эксперимента, при помощи которого можно определить сопротивление резистора, если имеются амперметр, источник тока, резистор известного сопротивления и соединительные провода. Проведите соответствующий эксперимент.



Задание «со звездочкой»

Считая, что при выполнении лабораторной работы абсолютная погрешность измерения силы тока была равна цене деления шкалы амперметра, определите:

- 1) относительную погрешность измерения силы тока в лампе 1:

$$\varepsilon_{I_1} = \frac{\Delta I}{I_1};$$

- 2) относительную погрешность измерения общей силы тока: $\varepsilon_I = \frac{\Delta I}{I};$

- 3) относительную погрешность эксперимента: $\varepsilon = \left| 1 - \frac{I_1 + I_2}{I} \right| \cdot 100 \%$.

ЧАСТЬ 2. РАБОТА И МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗНЫХ СРЕДАХ

§ 33. РАБОТА И МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Каждый из вас видел счетчик электрической энергии (электросчетчик), и кто-то даже снимал его показания. А как вы думаете, какую физическую величину измеряет этот прибор? Чтобы проверить свои предположения, ознакомьтесь с содержанием данного параграфа.

1 Выясняем, значение какой физической величины определяют с помощью электросчетчика

На рис. 33.1 изображен электросчетчик. Запомним или запишем цифры, зафиксированные на датчике прибора (рис. 33.1, а), иначе говоря, снимем показание счетчика. Что означают эти цифры? Очевидно, что это числовое значение какой-то физической величины. А какой?

Для начала определим единицы этой величины. Рядом с цифровым табло написано: кВт·ч. Следовательно, физическая величина, значение которой показывает счетчик, измеряется в киловатт-часах. Известно, что $1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт}$ и $1 \text{ ч} = 3600 \text{ с}$, а $1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$. Таким образом, $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1000 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} \cdot 3600 \text{ с} = 3\,600\,000 \text{ Дж}$, или $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$.

Одна из физических величин, которые измеряют в джоулях, — это работа. Следовательно, можно предположить, что электросчетчиком измеряют *работу тока*.

Включим в цепь счетчика электрообогреватель. Спустя некоторое время снова снимем



Рис. 33.1. Снятие показаний счетчика: а — первоначальные данные (382 кВт·ч); б — данные счетчика после некоторого времени работы электрообогревателя (385 кВт·ч). Количество использованной за это время электроэнергии: $385 - 382 = 3 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}$

показание счетчика (рис. 33.1, б). Видим, что оно увеличилось. Электрический ток, проходя по спирали обогревателя, выполнил работу, которую зафиксировал счетчик.

■ **Электросчетчик** — это прибор для прямого измерения работы тока.

(Установленную стоимость единицы работы тока называют тарифом на электроэнергию. Например, на 1 января 2016 г. тариф на электроэнергию для определенной категории населения в Украине составлял 45,6 к. за 1 кВт·ч.)

2 Вычисляем работу тока

Выясним, можно ли работу тока измерить другим способом, не используя электросчетчик.

Из материала § 28 вы узнали, что напряжение U на концах участка электрической цепи определяют по формуле $U = \frac{A}{q}$. Следовательно, работу A тока по перемещению электрического заряда q на данном участке можно найти по формуле $A = Uq$. Выразив заряд q через силу тока I и время t его прохождения: $q = It$, — получим *формулу для расчета работы электрического тока на данном участке цепи*:

$$A = UIt$$

Таким образом, чтобы определить работу, которую выполняет ток в данном потребителе (на данном участке электрической цепи), достаточно измерить силу тока в потребителе, напряжение, поданное на потребитель, и время прохождения тока (рис. 33.2).

❓ Воспользовавшись рис. 33.2, измерьте работу электрического тока в лампе за 30 с.

Обратите внимание: из формулы для расчета работы тока следует, что $1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}$, — данное соотношение пригодится вам для проверки единиц при решении задач.

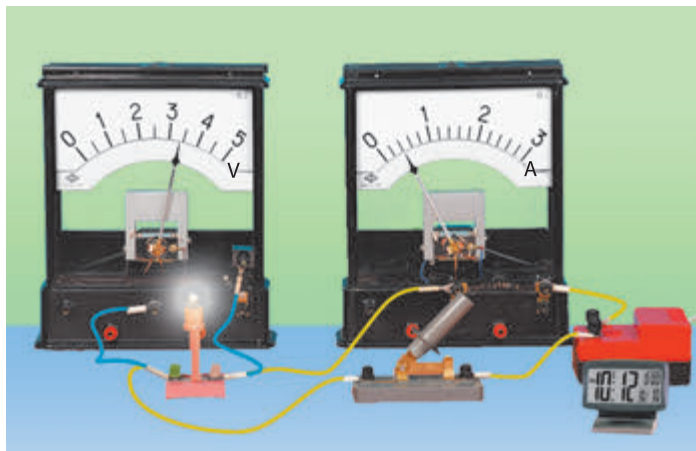


Рис. 33.2. Для измерения работы тока можно воспользоваться хорошо известными вам измерительными приборами: амперметром, вольтметром и часами

3 Вычисляем мощность тока

Мощность электрического тока — физическая величина, характеризующая скорость выполнения током работы и равная отношению работы тока ко времени, за которое эта работа выполнена:

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

где P — мощность тока; A — работа тока за время t .

Поскольку $A = UI t$, то

$$P = UI$$

Единица мощности в СИ — **ватт**: $1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$.

Из формулы для расчета мощности тока следует: $1 \text{ Вт} = 1 \text{ В} \cdot \text{А}$.

1 Вт — это мощность тока силой 1 А на участке цепи с напряжением 1 В.

Ватт — относительно небольшая единица мощности. На практике чаще используют кратные единицы мощности: *киловатт* ($1 \text{ кВт} = 10^3 \text{ Вт}$), *мегаватт* ($1 \text{ МВт} = 10^6 \text{ Вт}$), *гигаватт* ($1 \text{ ГВт} = 10^9 \text{ Вт}$).

4 Учимся различать номинальную и фактическую мощности

Обратившись к формуле для расчета мощности тока ($P = UI$), увидим, что мощность тока можно определить, воспользовавшись амперметром и вольтметром (сняв показания приборов, перемножить значения напряжения и силы тока). Существуют также приборы для *прямого измерения* мощности электрического тока — *ваттметры*.

Измеряя мощность тока в потребителе, мы определяем его **фактическую мощность**. Мощность, указанную в паспорте электрического устройства (или на самом устройстве), называют **номинальной мощностью**.

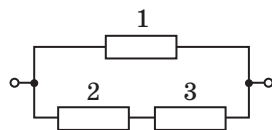
В паспорте электрического устройства указывают также напряжение, на которое рассчитано устройство. Однако напряжение в сети может немного изменяться. Например, оно может увеличиться — соответственно увеличится и сила тока. Увеличение силы тока и напряжения приведет к увеличению мощности тока в потребителе. То есть значения *фактической и номинальной мощностей потребителя могут отличаться*.

Если цепь состоит из нескольких потребителей, то *фактическая мощность тока во всей цепи равна сумме мощностей отдельных потребителей*.

Завершая знакомство с мощностью электрического тока, снова обратимся к рис. 33.1. На счетчике имеются значения еще двух физических величин: 220 В; 15 А. Первая показывает, в цепь с каким напряжением следует включать данный счетчик, вторая — максимально допустимую силу тока в нем. Перемножив эти значения, получим *максимально допустимую мощность потребителей, которые можно подключить через данный электросчетчик* ($UI = P_{\text{max}}$).

5 Учимся решать задачи

Задача 1. Участок электрической цепи состоит из трех одинаковых резисторов (см. рисунок). Определите общую мощность, потребляемую резисторами, если сопротивление каждого из них 5 Ом , а напряжение на участке — 10 В .



Анализ физической проблемы. Решить задачу можно двумя способами:
1) вычислить мощность, потребляемую каждым резистором, а затем найти сумму этих мощностей;

2) определить общую силу тока в участке цепи и, зная напряжение на участке, вычислить общую мощность.

Дано:

$$R_1 = R_2 = R_3 = 5\text{ Ом}$$

$$U = 10\text{ В}$$

Найти:
 $P = ?$

Поиск математической модели, решение

Способ 1

Участок цепи, содержащий резисторы 2 и 3, соединен с резистором 1 параллельно, поэтому $U_1 = U_{2,3} = U = 10\text{ В}$.

$$\text{По закону Ома } I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{10\text{ В}}{5\text{ Ом}} = 2\text{ А}.$$

Согласно формуле для расчета мощности:

$$P_1 = U_1 I_1 = 10\text{ В} \cdot 2\text{ А} = 20\text{ Вт}.$$

Поскольку резисторы 2 и 3 соединены последовательно, то

$$R_{2,3} = R_2 + R_3 = 5\text{ Ом} + 5\text{ Ом} = 10\text{ Ом}; \quad I_2 = I_3 = I_{2,3} = \frac{U_{2,3}}{R_{2,3}} = \frac{10\text{ В}}{10\text{ Ом}} = 1\text{ А}.$$

Воспользовавшись законом Ома, найдем напряжение на резисторах 2 и 3 и вычислим мощности, которые они потребляют:

$$U_2 = I_2 R_2 = 1\text{ А} \cdot 5\text{ Ом} = 5\text{ В}, \quad P_2 = U_2 I_2 = 5\text{ В} \cdot 1\text{ А} = 5\text{ Вт};$$

$$U_3 = I_3 R_3 = 1\text{ А} \cdot 5\text{ Ом} = 5\text{ В}, \quad P_3 = U_3 I_3 = 5\text{ В} \cdot 1\text{ А} = 5\text{ Вт}.$$

Таким образом, $P = P_1 + P_2 + P_3 = 20\text{ Вт} + 5\text{ Вт} + 5\text{ Вт} = 30\text{ Вт}$.

Способ 2

Сначала найдем общее сопротивление R участка цепи.

Резисторы 2 и 3 соединены последовательно, поэтому:

$$R_{2,3} = R_2 + R_3 = 5\text{ Ом} + 5\text{ Ом} = 10\text{ Ом}.$$

Участок цепи, содержащий резисторы 2 и 3, соединен с резистором 1 параллельно, следовательно:

$$R = \frac{R_{2,3} \cdot R_1}{R_{2,3} + R_1} = \frac{10\text{ Ом} \cdot 5\text{ Ом}}{15\text{ Ом}} = \frac{10}{3}\text{ Ом}.$$

По закону Ома: $I = \frac{U}{R} = 10\text{ В} : \frac{10}{3}\text{ Ом} = 3\text{ А}$. Согласно формуле для расчета мощности: $P = UI = 10\text{ В} \cdot 3\text{ А} = 30\text{ Вт}$.

Анализ результата. Решая задачу разными способами, мы получили одинаковое значение мощности, значит, задача решена правильно.

Ответ: $P = 30\text{ Вт}$.

Задача 2. Электровоз движется равномерно со скоростью $16 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, двигатель электровоза развивает силу тяги 300 кН . Определите КПД двигателя, если напряжение в электросети равно 3 кВ , а сила тока, потребляемого двигателем, — 2 кА .

Анализ физической проблемы. КПД показывает, какую часть работы, которую выполняет ток, протекая в обмотке электродвигателя, составляет полезная работа (механическая работа по перемещению электровоза). КПД найдем, воспользовавшись формулой для расчета механической работы и формулой для расчета работы тока.

Дано:

$$v = 16 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$F = 3 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$U = 3 \cdot 10^3 \text{ В}$$

$$I = 2 \cdot 10^3 \text{ А}$$

Найти:

η — ?

Поиск математической модели, решение

По определению КПД: $\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{полн}}}$.

$A_{\text{полезн}} = Fl$ — механическая работа по перемещению электровоза на расстояние l .

Электровоз движется равномерно, поэтому $l = vt$.

Таким образом, $A_{\text{полезн}} = Fvt$.

Работа тока в двигателе электровоза: $A_{\text{полн}} = UIt$.

Подставив выражения для $A_{\text{полезн}}$ и $A_{\text{полн}}$ в формулу для расчета КПД, получим:

$$\eta = \frac{Fvt}{UIt} = \frac{Fv}{UI}.$$

Проверим единицу, найдем значение искомой величины:

$$[\eta] = \frac{\text{Н} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{В} \cdot \text{А}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{Дж}}{\text{Дж}} = 1; \quad \eta = \frac{3 \cdot 10^5 \cdot 16}{3 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^3} = 0,8.$$

Анализ результата. КПД равен 80% — для электрических двигателей результат реальный.

Ответ: $\eta = 80\%$.



Подводим итоги

На участке цепи электрический ток выполняет работу, значение которой равно произведению напряжения U , силы тока I и времени t прохождения тока в цепи: $A = UIt$.

Единица работы тока в СИ — джоуль (Дж): $1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}$. В электротехнике используют внесистемную единицу работы тока — киловатт-час (кВт·ч); $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$.

Приборы для прямого измерения работы тока называются счетчиками электрической энергии.

Физическую величину, характеризующую скорость выполнения током работы, называют мощностью электрического тока и вычисляют по формуле $P = UI$. Единица мощности тока в СИ — ватт (Вт): $1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = 1 \text{ В} \cdot \text{А}$.

Мощность, на которую рассчитано электрическое устройство, называют номинальной мощностью. Обычно номинальную мощность указывают в паспорте электрического устройства. Реальную мощность тока в устройстве называют фактической мощностью.



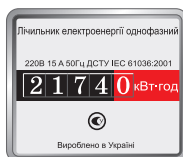
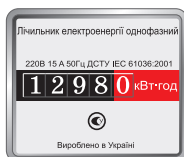
Контрольные вопросы

1. По какой формуле вычисляют работу электрического тока?
2. Назовите известные вам единицы работы тока.
3. Докажите, что $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$.
4. Как измеряют работу электрического тока?
5. Дайте определение мощности электрического тока.
6. По какой формуле можно вычислить мощность тока?
7. Что называют номинальной мощностью электрического устройства?
8. Что такое фактическая мощность электрического устройства?



Упражнение № 33

1. Используя показания электросчетчика (см. рисунок), определите израсходованную электроэнергию и вычислите ее стоимость по тарифу 45,6 к. за $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.



2. Докажите, что $1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с} = 1 \text{ Дж}$.
3. Вычислите работу, которую выполнит ток за 15 мин работы электродвигателя детской игрушки, если напряжение на двигателе равно 10 В, а сила тока в обмотке двигателя — 0,8 А.
4. Два проводника сопротивлениями 10 и 25 Ом подключены к сети, напряжение в которой равно 100 В. Выясните, какую работу выполнит ток в каждом проводнике за 5 мин, если проводники соединить: а) параллельно; б) последовательно.
5. Определите силу тока, потребляемого электродвигателем подъемного крана, если за 50 с кран поднимает груз массой 1 т на высоту 19 м. КПД электродвигателя — 80 %, напряжение на клеммах — 380 В.
6. Два электронагревателя, спирали которых имеют одинаковые сопротивления, сначала включили в сеть последовательно, а затем параллельно. В каком случае нагреватели потребляли большую мощность и во сколько раз?
7. Узнайте у родителей тариф на электроэнергию. Выясните мощность нескольких потребителей электроэнергии в вашем доме. Вычислите стоимость электроэнергии, потребляемой каждым устройством за 20 мин работы. Перенесите таблицу в тетрадь и заполните ее.

Устройство	Мощность P , Вт	Работа тока A		Стоимость, грн
		Дж	$\text{кВт} \cdot \text{ч}$	



8. Установите соответствие между физической ситуацией и формулой, которая ее описывает.

- 1 Работает тепловой двигатель.
- 2 В бойлере нагревается вода.
- 3 Лужа покрылась льдом.
- 4 Из колодца подняли ведро с водой.

А $A = mgh$

Б $Q = cm\Delta t$

В $E_k = \frac{mv^2}{2}$

Г $\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{Q_{\text{полн}}}$

Д $Q = \lambda t$



Экспериментальное задание

«Рачительный хозяин». В течение недели наблюдайте за потреблением электроэнергии в вашем доме. Для этого каждый день, в одно и то же время, записывайте показание счетчика и вычисляйте, сколько электроэнергии потребила ваша семья за сутки.

По результатам измерений и вычислений постройте график потребления электроэнергии в течение недели. Ответьте на следующие вопросы.

- 1) В какой день недели затраты электроэнергии были наибольшими? Почему?
- 2) Были ли включены потребители электроэнергии без необходимости?
- 3) Как можно уменьшить потребление электроэнергии в вашей семье?

Физика и техника в Украине



Институт термоэлектричества НАН Украины и МОН Украины (Черновцы) основан в 1990 г. Организатор и неизменный директор института — академик НАН Украины *Лукьян Иванович Анатychук*, специалист в области термоэлектричества и технологии материалов для преобразователей энергии.

Институт является мировым лидером в области изучения и практического применения термоэлектричества — одного из наиболее перспективных направлений современной физики.

На основе развития обобщенной теории термоэлектрического преобразования энергии в институте создан ряд новых термоэлементов. Разработки института используют не только в Украине, но и за границей. Так, институт принял участие в разработке мощных кондиционеров для подводных лодок Франции. Созданы надежные модули охлаждения для европейской космической системы микрогравитации и модули охлаждения чувствительных сенсоров для систем ориентации европейских спутников Земли. Разработаны эффективные блоки для бытовых холодильников в качестве альтернативы фреоновым компрессорным агрегатам.

Институт является базой для кафедры термоэлектричества Черновицкого национального университета имени Юрия Федьковича.



§ 34. ТЕПЛОВОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА. ЗАКОН ДЖОУЛЯ — ЛЕНЦА

Вы уже хорошо знаете, что при прохождении электрического тока нить лампы накаливания нагревается настолько сильно, что начинает излучать видимый свет. Благодаря действию электрического тока нагреваются утюг и электрическая плита. А вот вентилятор и пылесос нагреваются незначительно, не становятся очень горячими (конечно, если все в порядке) и подводящие провода. От чего же зависит тепловое действие тока?

1

Рассуждаем о тепловом действии тока

Прохождение электрического тока всегда сопровождается выделением теплоты, и этот факт нетрудно объяснить.

Когда в проводнике идет ток, то свободные заряженные частицы, двигаясь под действием электрического поля, сталкиваются с другими частицами и передают им часть своей энергии. Электроны в металлах сталкиваются с ионами, расположенными в узлах кристаллической решетки, ионы в электролитах — с другими ионами, атомами или молекулами. В результате средняя скорость хаотичного (теплого) движения частиц вещества увеличивается — проводник нагревается. По закону сохранения энергии кинетическая энергия, приобретенная свободными заряженными частицами в результате действия электрического поля, преобразуется во внутреннюю энергию проводника.

Очевидно: чем чаще сталкиваются частицы, то есть чем больше сопротивление проводника, тем больше энергии передается проводнику и тем сильнее он нагревается. Таким образом, *при неизменной силе тока количество теплоты, выделяющееся в проводнике при прохождении тока, прямо пропорционально сопротивлению проводника.*

Кроме того, с увеличением в проводнике силы тока количество выделяемой теплоты тоже увеличивается. Ведь чем больше частиц проходит через поперечное сечение проводника за единицу времени, тем больше столкновений частиц происходит.

2

Открываем закон Джоуля — Ленца

Тепловое действие тока изучали на опытах английский ученый Дж. Джоуль (рис. 34.1) и российский ученый немецкого происхождения Э. Х. Ленц (рис. 34.2). Независимо друг от друга они пришли к одинаковому выводу, который позже получил название **закон Джоуля — Ленца**:

Количество теплоты, выделяющееся в проводнике при прохождении тока, прямо пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени прохождения тока:

$$Q = I^2 R t$$



На рис. 34.3 изображена схема опыта, доказывающего справедливость закона Джоуля — Ленца. Попробуйте описать этот опыт.

Закон Джоуля — Ленца был установлен экспериментально. Теперь же, зная формулу для расчета работы тока ($A = UIt$), данный закон можно вывести с помощью простых математических выкладок.

Если на участке цепи, в котором течет ток, не выполняется механическая работа и не происходят химические реакции, результатом работы тока будет только нагревание проводника. Нагретый проводник путем теплопередачи отдает полученную энергию окружающим телам. Следовательно, в данном случае согласно закону сохранения энергии количество выделенной теплоты Q будет равно работе A тока: $Q = A$.

Так как $A = UIt$, а $U = IR$, имеем:

$$Q = UIt = IRIt = I^2Rt.$$

3 Обращаем внимание на некоторые особенности вычисления количества теплоты

Для получения математического выражения закона Джоуля — Ленца мы воспользовались некоторыми предположениями. Исследования показали, что *в любом случае количество теплоты, выделяющееся в участке цепи в результате прохождения тока, можно вычислить по формуле $Q = I^2Rt$.*

Возникает вопрос: что делать, если сила тока неизвестна, а известно напряжение на концах участка цепи? Казалось бы, можно воспользоваться законом Ома. Действительно,

$$Q = I^2Rt, \text{ а } I = \frac{U}{R}. \text{ Тогда } Q = \left(\frac{U}{R}\right)^2 Rt = \frac{U^2}{R^2} Rt.$$

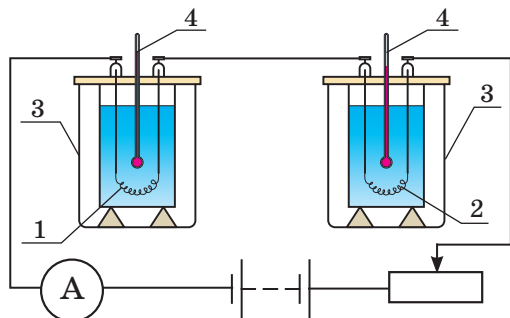


Рис. 34.1. Джеймс Прескотт Джоуль (1818–1889) — английский физик, один из основателей современной теории тепловых явлений. В 1841 г. установил зависимость количества теплоты, выделяющегося в проводнике с током, от силы тока и сопротивления проводника



Рис. 34.2. Эмилий Христианович Ленц (1804–1865) — российский физик немецкого происхождения, профессор Петербургского университета. Независимо от Дж. Джоуля в 1842 г. установил закон теплового действия электрического тока

Рис. 34.3. Схема опыта, доказывающего закон Джоуля — Ленца: 1, 2 — электрические нагреватели (сопротивление нагревателя 1 больше сопротивления нагревателя 2); 3 — калориметры с одинаковым количеством воды; 4 — термометры

После сокращения на R получим:

$$Q = \frac{U^2}{R} t.$$

Однако этой формулой, впрочем как и формулой $Q = UIt$, можно воспользоваться только в том случае, когда вся электрическая энергия расходуется на нагревание.

Если же на участке цепи есть потребители энергии, в которых выполняется механическая работа или происходят химические реакции, формулы $Q = \frac{U^2}{R} t$ и $Q = UIt$ использовать нельзя. В таких случаях применяют более сложные математические выражения, учитывающие всю совокупность явлений.

4 Учимся решать задачи

Задача. Определите сопротивление нагревателя, с помощью которого можно за 5 мин довести до кипения 1,5 кг воды, взятой при температуре 12 °С. Напряжение в сети равно 220 В, КПД нагревателя — 84 %.

Анализ физической проблемы. Когда в нагревателе проходит электрический ток, выделяется количество теплоты $Q_{\text{полн}}$. Часть ее ($Q_{\text{полезн}}$) расходуется на нагревание воды до кипения, то есть до 100 °С.

Выразив $Q_{\text{полн}}$ и $Q_{\text{полезн}}$ через указанные в условии задачи величины, найдем искомую величину. Значение удельной теплоемкости c воды найдем в соответствующей таблице (см. табл. 1 Приложения).

Дано:

$$\tau = 5 \text{ мин} = 300 \text{ с}$$

$$m = 1,5 \text{ кг}$$

$$t_1 = 12 \text{ °С}$$

$$t_2 = 100 \text{ °С}$$

$$U = 220 \text{ В}$$

$$\eta = 84 \% = 0,84$$

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

Найти:

R — ?

Поиск математической модели, решение

По определению КПД нагревателя: $\eta = \frac{Q_{\text{полезн}}}{Q_{\text{полн}}}$.

Здесь $Q_{\text{полезн}} = cm(t_2 - t_1)$; $Q_{\text{полн}} = \frac{U^2 \cdot \tau}{R}$.

Подставим выражения для $Q_{\text{полезн}}$ и $Q_{\text{полн}}$ в формулу КПД:

$$\eta = \frac{cm(t_2 - t_1)}{\frac{U^2 \cdot \tau}{R}} \Rightarrow \eta = \frac{cm(t_2 - t_1) \cdot R}{U^2 \cdot \tau}.$$

Из последнего выражения найдем R :

$$\eta U^2 \cdot \tau = cm(t_2 - t_1) \cdot R \Rightarrow R = \frac{\eta U^2 \cdot \tau}{cm(t_2 - t_1)}.$$

Проверим единицу, найдем значение искомой величины:

$$[R] = \frac{\text{В}^2 \cdot \text{с}}{\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}} \cdot \text{кг} \cdot \text{°С}} = \frac{\text{В}^2 \cdot \text{с}}{\text{Дж}} = \frac{\text{В}^2 \cdot \text{с}}{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{Ом};$$

$$R = \frac{0,84 \cdot 220^2 \cdot 300}{4200 \cdot 1,5 \cdot (100 - 12)} = \frac{84 \cdot 220 \cdot 220 \cdot 3}{420 \cdot 15 \cdot 88} = 22 \text{ (Ом)}.$$

Ответ: $R = 22 \text{ Ом}$.



Подводим итоги

Прохождение тока в проводнике сопровождается выделением теплоты. Количество теплоты, выделяющееся в проводнике при прохождении тока, прямо пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени прохождения тока: $Q = I^2 R t$ (закон Джоуля — Ленца).

Существуют еще две формулы для расчета количества теплоты: $Q = \frac{U^2 t}{R}$ и $Q = U I t$, — однако этими формулами можно пользоваться только в случае, когда вся электрическая энергия идет на нагревание.



Контрольные вопросы

1. Почему нагреваются проводники, в которых течет электрический ток?
2. Сформулируйте закон Джоуля — Ленца. Почему он имеет такое название?
3. Как математически записывается закон Джоуля — Ленца?
4. Какие формулы для расчета количества теплоты, выделяющегося в проводнике при прохождении тока, вы знаете? Всегда ли можно ими пользоваться?



Упражнение № 34

1. Сколько теплоты выделится за 10 мин в электроплите, если сопротивление нагревательного элемента плиты равно 30 Ом, а сила тока в нем 4 А?
2. Два проводника сопротивлениями 10 и 20 Ом включены в сеть напряжением 100 В. Какое количество теплоты выделится за 5 с в каждом проводнике, если они соединены параллельно?
3. Почему электрические провода, по которым подается напряжение к электрической лампе накаливания, не нагреваются, а нить накала лампы нагревается и ярко светится?
4. Электрокипятильник за 5 мин нагревает 0,2 кг воды от 14 °С до кипения при условии, что в его обмотке течет ток силой 2 А. Определите напряжение, поданное на электрокипятильник. Потерями энергии пренебречь.
5. В каждый из двух калориметров налили 200 г воды при температуре 20 °С. В один калориметр поместили нагреватель сопротивлением 24 Ом, во второй — сопротивлением 12 Ом. Нагреватели соединили последовательно и подключили к источнику тока (см. рис. 34.3). Определите температуру воды в каждом калориметре после нагревания, если оно длилось 7 мин при неизменной силе тока в цепи 1,5 А. Потерями энергии пренебречь.
6. Какой длины нихромовый провод нужно взять, чтобы сделать электрический камин, работающий при напряжении 120 В и выделяющий 1 МДж теплоты в час? Диаметр провода 0,5 мм.
7. Сравните количества теплоты, которые необходимо затратить, чтобы расплавить медный и свинцовый провода, если эти провода имеют одинаковую массу и взяты при температуре 27 °С.





§ 35. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА. ПРЕДОХРАНИТЕЛИ

Статистические данные говорят о том, что среди причин возникновения пожаров второе место после неосторожного обращения с огнем занимает загорание проводки в результате короткого замыкания. О том, что такое короткое замыкание и как обезопасить себя от возгорания проводов, если замыкание все же произошло, вы узнаете из этого параграфа.



Рис. 35.1. Чтобы увеличить теплоотдачу, поверхность обогревателя делают ребристой, а нагревательную поверхность электроплиты изготавливают из темных металлов

1 Изучаем электронагревательные устройства

Электрические нагревательные устройства широко используют в сельском хозяйстве, промышленности, на транспорте, в быту.

? Приведите примеры использования электрических нагревательных устройств.

Несмотря на внешнее многообразие, все электронагреватели имеют общие черты.

Во-первых, работа всех электрических нагревателей *основана на тепловом действии тока*: в таких устройствах энергия электрического тока преобразуется во внутреннюю энергию нагревателя, который, в свою очередь, отдает энергию окружающей среде путем теплопередачи (рис. 35.1).

Во-вторых, основной частью любого электронагревателя является *нагревательный элемент* — проводник, нагревающийся при прохождении тока (рис. 35.2). Нагревательные элементы должны выдерживать очень высокую температуру, поэтому их *изготавливают из тугоплавких материалов, то есть материалов, имеющих высокую температуру плавления* (рис. 35.3). Чтобы избежать поражения током, нагревательный элемент *изолируют от корпуса нагревательного устройства*.

По закону Джоуля — Ленца количество теплоты Q , выделяющееся в нагревательном элементе, вычисляется по формуле $Q = I^2 R t$, следовательно, изменяя время нагревания или силу тока в нагревательном элементе, можно *регулировать температуру нагревателя* (рис. 35.4).

Подводящие провода и нагревательный элемент соединены последовательно, поэтому



Рис. 35.2. Основная часть любого электрического нагревательного устройства — нагревательный элемент

сила тока в них одинакова. При этом подводящие провода нагреваются намного меньше, чем нагревательный элемент. Это означает, что сопротивление подводящих проводов во много раз меньше сопротивления нагревательного элемента. Обычно *нагревательные элементы изготавливают из веществ с большим удельным сопротивлением, а подводящие провода — из веществ с малым удельным сопротивлением.*

2 Выясняем причины резкого увеличения силы тока в цепи

Сопротивление подводящих проводов достаточно мало, однако при значительном увеличении силы тока они сильно нагреваются, и это может стать причиной пожара.

Почему может резко увеличиться сила тока в электрической цепи обычной квартиры? Вспомним закон Ома: $I = \frac{U}{R}$. Поскольку напряжение в сети постоянно, увеличение силы тока возможно только при условии уменьшения общего сопротивления цепи. Потребители тока в квартире соединены параллельно, поэтому, если включить сразу несколько мощных потребителей, общее сопротивление цепи существенно уменьшится, соответственно значительно увеличится сила тока в цепи.

Резко увеличивается сила тока в цепи и в случае *короткого замыкания* — соединения концов участка цепи проводником, сопротивление которого очень мало по сравнению с сопротивлением данного участка. Так, короткое замыкание может возникнуть при нарушении изоляции проводов или во время ремонта элементов электрической цепи, находящихся под напряжением (напомним, что это смертельно опасно!).

3 Применяем предохранители

Чтобы избежать пожара в случае короткого замыкания или перегрузки электрической цепи, а также не допустить порчи потребителей электрической энергии при опасном увеличении силы тока, используют *предохранители* — устройства, которые размыкают цепь, если сила тока в ней увеличится сверх нормы (рис. 35.5, 35.6).



Рис. 35.3. Нагревательный элемент электрической лампы накаливания изготавливают из вольфрама, температура плавления которого 3387 °С. Нагреваясь до температуры 3000 °С, тонкая вольфрамовая нить начинает ярко светиться



Рис. 35.4. Поворачивая тумблер, мы настраиваем утюг на определенный температурный режим работы

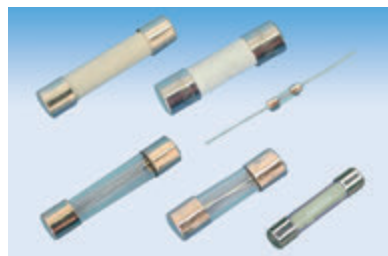


Рис. 35.5. Автоматические предохранители. Рабочая часть автоматического предохранителя — биметаллическая пластина. В случае увеличения силы тока сверх нормы биметаллическая пластина выгибается, в результате чего цепь размыкается. После охлаждения предохранитель снова можно вернуть в рабочее состояние

Рис. 35.6. Плавкие предохранители, применяемые в радиотехнике. Внутри стеклянной трубочки с металлическими наконечниками натянута тонкая проволока из легкоплавкого материала

? Надеемся, вам будет несложно объяснить, как работают плавкие предохранители (см. рис. 35.6).

Внимание! Очень опасно применять неисправные предохранители или самодельные предохранительные устройства. Если при увеличении силы тока сверх нормы цепь вовремя не разомкнется, возникнет пожар.

4 Учимся решать задачи

Задача. Автоматический предохранитель в квартирном электросчетчике рассчитан на силу тока 10 А. Сработает ли предохранитель, если одновременно включить лампу мощностью 200 Вт, стиральную машину мощностью 800 Вт, электрический чайник мощностью 1400 Вт?

Анализ физической проблемы. Для решения задачи нужно определить общую мощность $P_{\text{общ}}$ включенных потребителей. Если $P_{\text{общ}}$ потребителей меньше максимально возможной мощности тока P_{max} , на которую рассчитан предохранитель, то предохранитель не сработает, если больше — предохранитель разомкнет цепь. Максимально возможную мощность тока P_{max} определим, зная напряжение в сети (220 В) и силу тока, на которую рассчитан предохранитель.

Дано:

$$I_{\text{max}} = 10 \text{ А}$$

$$P_1 = 200 \text{ Вт}$$

$$P_2 = 800 \text{ Вт}$$

$$P_3 = 1400 \text{ Вт}$$

$$U = 220 \text{ В}$$

Найти:

$$P_{\text{max}} — ?$$

$$P_{\text{общ}} — ?$$

Поиск математической модели, решение

При любом соединении потребителей их общая мощность равна сумме мощностей отдельных потребителей:

$$P_{\text{общ}} = P_1 + P_2 + P_3.$$

Согласно формуле для расчетов мощности:

$$P_{\text{max}} = UI_{\text{max}}.$$

Проверим единицу, найдем значения искоемых величин:

$$[P] = \text{В} \cdot \text{А} = \text{Вт}; \quad P_{\text{max}} = 220 \cdot 10 = 2200 \text{ (Вт)};$$

$$P_{\text{общ}} = 200 + 800 + 1400 = 2400 \text{ (Вт)}.$$

Анализ результатов. Сравнив общую мощность подключенных потребителей ($P_{\text{общ}} = 2400 \text{ Вт}$) и мощность, на которую рассчитан предохранитель ($P_{\text{max}} = 2200 \text{ Вт}$), видим, что нагрузка в цепи превысит максимально возможное значение. Следовательно, предохранитель сработает, и цепь разомкнется.

Ответ: предохранитель разомкнет цепь.



Подводим итоги

Работа различных электронагревательных устройств основана на тепловом действии тока.

Во время работы электронагревательных устройств некоторое количество теплоты выделяется и в подводящих проводах. Значительное нагревание проводов может стать причиной пожара, поэтому, если есть опасность чрезмерного увеличения силы тока, к электрической цепи присоединяют предохранитель. Предохранитель представляет собой устройство, которое размыкает электрическую цепь, если сила тока превысит значение, допустимое для этой цепи.



Контрольные вопросы

1. Какие преобразования энергии происходят в электронагревателе при его включении в электрическую цепь? **2.** Какие свойства должен иметь металл, из которого изготавливают нагревательный элемент? **3.** Почему нагревательный элемент должен быть изолирован от корпуса нагревательного прибора? **4.** Что может стать причиной чрезмерного увеличения силы тока в электрической цепи? К чему это может привести? **5.** Что такое короткое замыкание? **6.** С какой целью применяют предохранители? **7.** Объясните принцип действия автоматического предохранителя.



Упражнение № 35

- Какова максимально допустимая мощность тока в устройстве, если его плавкий предохранитель рассчитан на максимальный ток 6 А при напряжении 220 В ?
- Почему для предупреждения возгорания электропроводки особое внимание следует уделять качественному соединению проводов друг с другом и с приборами, включенными в сеть?
- Каким требованиям должно отвечать вещество, из которого изготавливают провод для плавкого предохранителя?
- Для присоединения сварочного аппарата, который потребляет ток силой 100 А , молодой рабочий решил воспользоваться осветительным шнуром. Почему вы, зная физику, никогда этого не сделаете?
- Утюг — одно из самых распространенных нагревательных устройств, издавна используемых человеком. Воспользовавшись дополнительными источниками информации, узнайте об истории создания утюга и подготовьте краткое сообщение.



6. Какие из приведенных утверждений истинны?

- Атом состоит из ядра и расположенных вокруг него электронов.
- Размер ядра атома почти в 10 раз меньше размера самого атома.
- В нейтральном атоме число электронов равно числу протонов.
- Вследствие действия электрического поля свободные электроны в металлах движутся к положительному полюсу источника тока, а протоны — к отрицательному.



Экспериментальное задание

По инструкциям и паспортам разных потребителей тока в вашем доме выясните их мощности. Узнайте у родителей, на какую силу тока рассчитаны предохранители, установленные в электросчетчике. Определите, сколько потребителей и какие именно можно одновременно включить в одно ответвление проводки.

Физика и техника в Украине



История **Львовского национального университета им. И. Франко** начинается в XVII в.: в 1661 г. польский король подписал диплом, который предоставлял иезуитской коллегии во Львове «достоинство академии и титул университета».

В 1773 г. орден иезуитов был запрещен, а университет закрыт. В 1784 г. император Иосиф II возобновил работу университета с латинским языком преподавания.

За столетия, прошедшие с того времени, университет стал одним из самых престижных образовательных заведений Украины, завоевал международный авторитет, стал мощным научным центром. Сначала университет имел два факультета — философский и богословский (теологический). Сегодня в университете 19 факультетов, среди которых особой популярностью пользуются факультеты электроники, механико-математический, прикладной математики и информатики, физический.

Основа научного потенциала университета — известные в Украине и мире научные школы: физика твердого тела, теоретическая физика, физико-химия полимеров, кристаллохимия, биоэнергетика и электрофизиология секреторных клеток, минералогическая школа академика Е. К. Лазаренко.

Ректор университета — *Владимир Петрович Мельник*.



§ 36. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В МЕТАЛЛАХ

Электрический ток могут проводить жидкости и твердые вещества, при определенных условиях электрический ток проводят и газы. Изучение электрического тока в разных средах мы начнем с изучения тока в металлах. Во-первых, все без исключения металлы хорошо проводят электрический ток, а во-вторых, именно с проводимостью металлов связано широкое применение электрической энергии в жизни человека.

1 Выясняем природу электрического тока в металлах

Из курса химии вы знаете, что валентные электроны в металлах легко покидают «свой» атом и становятся свободными, а в узлах кристаллической решетки остаются положительные ионы. При отсутствии электрического поля свободные электроны внутри металлического проводника движутся хаотично. Их движение напоминает движение молекул газа, поэтому свободные электроны в металлах называют *электронным газом* (рис. 36.1).

Если же в проводнике создано электрическое поле, то электроны, не прекращая хаотичного движения, начинают смещаться в сторону положительного полюса источника тока. Движение электронов становится направленным — в металле возникает электрический ток.

Электрический ток в металлах представляет собой направленное движение свободных электронов.

Природа тока в металлах экспериментально установлена известными учеными *Леонидом Исааковичем Мандельштамом* и *Николаем Дмитриевичем Папалекси* (1913 г.) во время работы в Страсбургском университете; методику опытов усовершенствовали американские физики *Ричард Толмен* и *Томас Стюарт* (1916 г.).

Ученые рассуждали примерно так. Если металлический провод привести в быстрое движение (рис. 36.2), а потом резко остановить, то свободные заряженные частицы в проводе будут двигаться по инерции (так в случае резкой остановки транспорта в нем продолжают движение незакрепленные предметы). В результате в проводе возникнет кратковременный ток — его зафиксирует гальванометр; по направлению отклонения стрелки гальванометра можно узнать знак заряда частиц, движение которых послужило причиной появления тока.

? Рассмотрите рис. 36.2. Определите направление движения электронов после остановки катушки и направление кратковременного тока, который при этом возникает.

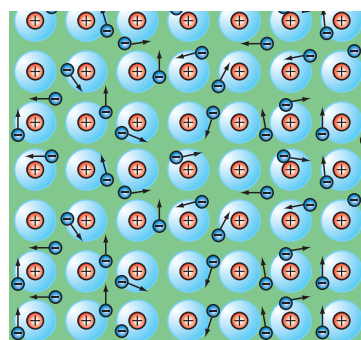


Рис. 36.1. При отсутствии электрического поля свободные электроны в металлах движутся хаотично

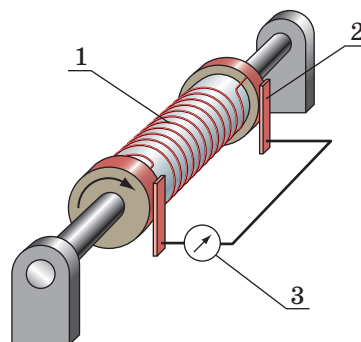


Рис. 36.2. Схема устройства для изучения природы электрического тока в металлах: 1 — катушка с металлическим проводом; 2 — скользящие контакты; 3 — чувствительный гальванометр. Катушке придать быстрое вращение и резко останавливают. В результате в цепи возникает электрический ток, который регистрируется гальванометром

2 Убеждаемся, что сопротивление металлов зависит от температуры

Проведем опыт. Соединим стальную спираль с источником постоянного напряжения и будем подогревать ее в пламени спиртовки (рис. 36.3). Опыт покажет, что по мере нагревания спирали сила тока в ней уменьшается, а это значит, что сопротивление спирали возрастает. Проведя подобные опыты со спиралями, изготовленными из других металлов, увидим, что с увеличением температуры сопротивление всех спиралей увеличивается, но изменение сопротивления каждый раз будет иным.

Сопротивление металлического проводника увеличивается при повышении температуры и уменьшается при ее снижении. Изменение сопротивления зависит от материала, из которого изготовлен проводник.

Зная, как зависит сопротивление металлического проводника от температуры, можно, измерив сопротивление проводника, определить его температуру. Этот факт положен в основу работы *термометров сопротивления*. Датчик — чаще всего платиновый провод — размещают в среде, температуру которой нужно измерить. Сопротивление провода измеряется специальным прибором, и по этому сопротивлению определяют температуру среды. На практике шкалу прибора сразу градуируют в единицах температуры.

3 Знакомимся с явлением сверхпроводимости

В 1911 г. нидерландский ученый *Г. Камерлинг-Оннес* (рис. 36.4), исследуя, как ведет себя ртуть при температурах, близких к абсолютному нулю ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$), заметил странное явление: при снижении температуры ртути до $4,15\text{ K}$ ($-269\text{ }^{\circ}\text{C}$) ее удельное сопротивление скачком падало до нуля. Подобное происходило с оловом, свинцом и другими металлами. Это явление называли *сверхпроводимостью*. Сверхпроводимость невозможно объяснить с точки зрения элементарной электронной проводимости металлов. В 1957 г. группа американских ученых (рис. 36.5) и независимо от них советский ученый *Н. Н. Боголюбов* (рис. 36.6) разработали квантовую теорию сверхпроводимости.



Рис. 36.3. Опыт, демонстрирующий зависимость сопротивления металлов от температуры. Во время нагревания спирали сила тока в ней уменьшается, следовательно, сопротивление спирали возрастает



Рис. 36.4. Гейке Камерлинг-Оннес (1853–1926) — нидерландский физик, лауреат Нобелевской премии (1913 г.). Открыл явление сверхпроводимости металлов



Рис. 36.5. Джон Бардин (1908–1991), Леон Нил Купер (род. в 1930 г.), Джон Роберт Шриффер (род. в 1931 г.) — лауреаты Нобелевской премии по физике (1972 г.) за разработку квантовой теории сверхпроводимости

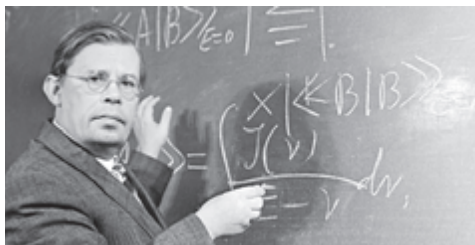


Рис. 36.6. Боголюбов Николай Николаевич (1909–1992) — выдающийся физик-теоретик и математик. В 1929–1973 гг. работал в Академии наук Украины. Основатель научных школ в области нелинейной механики, статистической физики и квантовой теории поля



Подводим итоги

Электрический ток в металлах представляет собой направленное движение свободных электронов. При отсутствии электрического поля свободные электроны в металлах движутся хаотично. Если же в металлическом проводнике создать электрическое поле, то свободные электроны, прекращая своего хаотичного движения, начинают двигаться направленно.

Сопротивление металлических проводников зависит от температуры. Этот факт положен в основу работы термометров сопротивления.

При снижении температуры некоторых металлов до температур, близких к абсолютному нулю ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$), их сопротивление скачком падает до нуля. Это явление называют явлением сверхпроводимости.



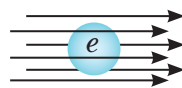
Контрольные вопросы

1. Опишите характер движения свободных электронов в металлах при отсутствии электрического поля; при наличии электрического поля.
2. Что представляет собой электрический ток в металлах?
3. Опишите суть опыта по изучению природы электрического тока в металлах.
4. Зависит ли сопротивление металлов от температуры? Если зависит, то как?
5. В чем заключается явление сверхпроводимости?



Упражнение № 36

1. Электрон находится в электрическом поле, силовые линии которого изображены на рисунке. Как направлена сила, с которой поле действует на электрон?
2. Какое утверждение из приведенных истинно?
 - а) С увеличением температуры сопротивление металлов увеличивается.
 - б) С увеличением температуры сопротивление металлов уменьшается.
 - в) Направление электрического тока в металлическом проводнике совпадает с направлением движения электронов.
3. Металлическая нить накала электрической лампы постепенно становится тоньше из-за испарения металла с ее поверхности и в конце концов перегорает. Объясните, почему нить перегорает в самом тонком месте и чаще всего в тот момент, когда лампу включают.



4. В металлическом проводнике длиной 10 см и с площадью поперечного сечения $0,4 \text{ см}^2$ течет ток силой 80 А. Какова средняя скорость направленного движения электронов в проводнике, если в каждом кубическом сантиметре проводника $2,5 \cdot 10^{22}$ свободных электронов?
5. Определите значение и знак заряда полученного иона, если: а) нейтральный атом Купрума утратил два электрона; б) нейтральный атом Хлора присоединил один электрон.



Физика и техника в Украине



Лев Васильевич Шубников (1901–1937) — выдающийся физик-экспериментатор с мировым именем. Значительную часть своей недолгой жизни Л. В. Шубников жил и работал в Харькове, где возглавлял созданную им лабораторию низких температур при Харьковском физико-техническом институте. Лев Васильевич начал исследование металлов в так называемом сверхпроводящем состоянии, в котором электрическое сопротивление материала равно нулю. Важное значение имели также эксперименты по получению сжиженных газов, в частности водорода, азота и кислорода.

Высшая награда для ученого — это использование его фамилии в названии открытого им явления. «Эффект Шубникова — де Хааза», «фаза Шубникова», «метод Обреимова — Шубникова» — это лишь несколько примеров вклада выдающегося ученого в современную физику.

В 2001 г. в честь Л. В. Шубникова названа научная премия НАН Украины за выдающиеся научные работы в области экспериментальной физики.

§ 37. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ЭЛЕКТРОЛИТАХ

Дистиллированная вода — диэлектрик, поскольку в ней почти нет свободных заряженных частиц; диэлектриком является и поваренная соль. Но если крупинку поваренной соли бросить в дистиллированную воду, то полученный раствор хорошо будет проводить ток. Почему это так? Откуда в растворе взялись свободные частицы, имеющие электрический заряд?

1

Знакомимся с электролитами

Многие кристаллические вещества представляют собой положительные и отрицательные ионы, соединенные в одно целое силой электрического притяжения. Так, кристаллы натрия хлорида — поваренной соли (NaCl) — состоят из положительных ионов Натрия (Na^+) и отрицательных ионов Хлора (Cl^-) (рис. 37.1), кристаллы купрум(II) сульфата (CuSO_4) — из положительных ионов Купрума (Cu^{2+}) и отрицательных ионов сульфата (SO_4^{2-}). Если такие вещества растворить в воде, они могут распасться на отдельные ионы.

Процесс распада веществ на ионы рассмотрим на примере распада поваренной соли (NaCl) в воде (H_2O). Как вы уже знаете из курса химии, молекулы воды являются *полярными*: атомы Гидрогена и атом Оксигена в молекуле воды расположены несимметрично, поэтому с одной стороны молекулы доминирует положительный заряд, а с другой стороны — такой же отрицательный (рис. 37.2, а). Следовательно, молекулу воды можно представить как *электрический диполь** (рис. 37.2, б).

Когда кристаллик соли попадает в воду, диполи воды окружают ионы Натрия и ионы Хлора, ориентируясь определенным образом (рис. 37.3, а). Некоторые диполи воды попадают в промежутки между ионами и значительно ослабляют силу их притяжения. В результате данного процесса и вследствие теплового движения молекул воды ионы отделяются от кристаллика (рис. 37.3, б).

Распад веществ на ионы в результате действия полярных молекул растворителя называют **электролитической диссоциацией** (от латин. *dissociatio* — разъединение, разделение).

В результате электролитической диссоциации в растворе появляются свободные заряженные частицы — положительные и отрицательные ионы, поэтому раствор начинает проводить ток.

Опыты показывают, что распад веществ на ионы может быть вызван не только растворителем. Некоторые соли и оксиды металлов могут распадаться на ионы в результате значительного увеличения температуры. Поэтому расплавы этих веществ тоже проводят электрический ток. Растворы и расплавы веществ, проводящие электрический ток, относят к **электролитам**.

* *Электрический диполь* — совокупность двух одинаковых по значению разноименных зарядов, расположенных на некотором расстоянии друг от друга.

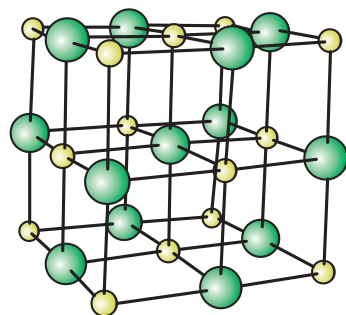


Рис. 37.1. Модель кристаллической решетки поваренной соли (NaCl): положительные ионы Натрия (Na^+) — желтые шарики; отрицательные ионы Хлора (Cl^-) — зеленые шарики

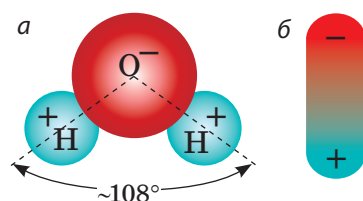


Рис. 37.2. Схематическое изображение молекулы воды

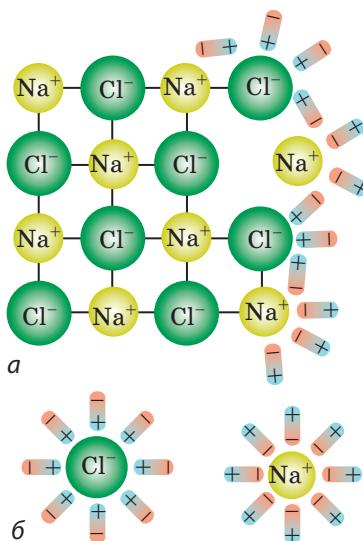


Рис. 37.3. Механизм электролитической диссоциации поваренной соли

2 Исследуем природу электрического тока в электролитах

Возьмем два угольных электрода и соединим их с полюсами источника тока (см. [рис. 37.4](#)). Электрод, соединенный с положительным полюсом источника тока, называют **анодом**, а электрод, соединенный с отрицательным полюсом, — **катодом**. Опустим электроды в сосуд с электролитом, например, с водным раствором купрум(II) хлорида (CuCl_2), и замкнем цепь. В растворе возникнет электрическое поле, из-за действия которого свободные положительные ионы Купрума (Cu^{2+}) направятся к катоду, а свободные отрицательные ионы Хлора (Cl^-) — к аноду ([рис. 37.4](#)). Таким образом в растворе возникнет направленное движение свободных заряженных частиц — электрический ток.

Электрический ток в электролитах представляет собой направленное движение положительных и отрицательных ионов.

Ионный механизм проводимости имеют не только некоторые растворы и расплавы, но и некоторые твердые вещества, например аргентум(I) йодид (AgI), калий йодид (KI), аргентум(I) сульфид (Ag_2S). В твердых веществах с ионной проводимостью перемещаются ионы только одного знака — или только положительные, или только отрицательные.

Электролиты — это твердые или жидкие вещества, обладающие ионной проводимостью.

Заметим, что с увеличением температуры количество свободных ионов в электролитах увеличивается, соответственно увеличивается и сила тока. Это означает, что с *увеличением температуры сопротивление электролитов уменьшается*.

3 Даём определение электролиза

При прохождении тока через электролит (в отличие от прохождения тока через металл) происходит перенос химических составляющих электролита и те выделяются на электродах — оседают в виде твердого слоя или выделяются в газообразном состоянии. Например, если через водный раствор купрум(II) хлорида в течение нескольких минут пропускать ток, то поверхность катода покроет тонкий слой меди ([рис. 37.5](#)), а на аноде выделится газообразный хлор. Наличие хлора можно обнаружить по характерному запаху.

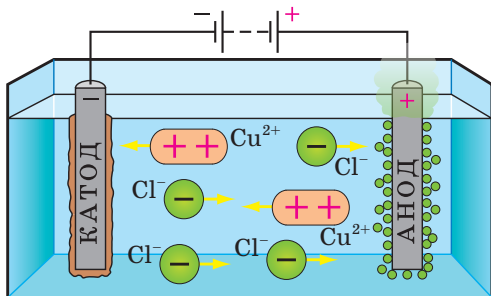


Рис. 37.4. Схема исследования электрического тока в жидкостях. В ванну с раствором электролита (CuCl_2) погружены катод и анод. После замыкания цепи положительные ионы движутся к катоду, отрицательные ионы — к аноду

Объясним, почему так происходит. При прохождении тока свободные положительные ионы Купрума (Cu^{2+}) движутся к катоду, а свободные отрицательные ионы Хлора (Cl^-) — к аноду (см. рис. 37.4). Достигнув катода, положительные ионы Купрума «берут» с его поверхности электроны, которых им «не хватает», то есть происходит *химическая реакция восстановления*. В результате этой реакции ионы Купрума превращаются в нейтральные атомы; на поверхности катода оседает медь. В то же время отрицательные ионы Хлора, достигнув поверхности анода, наоборот, «отдают» ему «избыточные» электроны — происходит *химическая реакция окисления*; на аноде выделяется хлор.

Процесс выделения веществ на электродах, который связан с окислительно-восстановительными реакциями, происходящими на электродах при прохождении тока, называют **электролизом**.

4

Открываем закон Фарадея

Впервые явление электролиза подробно изучил английский физик *М. Фарадей* (рис. 37.6). Он сформулировал закон, который позже был назван **законом электролиза**, или **первым законом Фарадея**:

Масса вещества, выделяющегося на электроде, прямо пропорциональна заряду, прошедшему через электролит:

$$m = kq,$$

где m — масса вещества; k — коэффициент пропорциональности, который называют электрохимическим эквивалентом; q — значение электрического заряда.

Электрохимический эквивалент численно равен массе данного вещества, выделяющегося на электроде в результате прохождения через электролит заряда 1 Кл.

Единица электрохимического эквивалента в СИ — килограмм на кулон:

$$[k] = 1 \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}.$$



Рис. 37.5. Через несколько минут после начала прохождения тока через раствор купрум (II) хлорида поверхность катода покрывается тонким слоем меди



Рис. 37.6. Майкл Фарадей (1791–1867) — английский физик, основатель учения об электромагнитном поле. Обнаружил химическое действие электрического тока, установил законы электролиза и сделал много других выдающихся открытий

Электрохимические эквиваленты в миллионы раз меньше $1 \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$, поэтому в таблицах (см. табл. 8 *Приложения*) их чаще выражают в миллиграммах на кулон: $1 \frac{\text{мг}}{\text{Кл}} = 1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$. Так, электрохимический эквивалент серебра (Ag^+) равен $1,12 \frac{\text{мг}}{\text{Кл}}$, а электрохимический эквивалент алюминия (Al^{3+}) — $0,09 \frac{\text{мг}}{\text{Кл}}$.

Обратите внимание: первый закон электролиза можно записать также в виде:

$$m = kIt,$$

где m — масса вещества; k — электрохимический эквивалент; I — сила тока в электролите; t — время, в течение которого длился электролиз.

? Докажите идентичность формул $m = kq$ и $m = kIt$.

5 Учимся решать задачи

Задача. Для определения электрохимического эквивалента меди через раствор купрум(II) сульфата в течение 30 мин пропускали ток силой 0,5 А. Какое значение электрохимического эквивалента получили, если масса катода до начала опыта была 75,20 г, а после опыта — 75,47 г?

Анализ физической проблемы. Для решения задачи воспользуемся законом электролиза. Массу меди, выделившейся на катоде, найдем как разность масс катода после опыта и до него. Электрохимические эквиваленты чаще подают в миллиграммах на кулон, поэтому массы катода выразим в миллиграммах.

Дано:

$$t = 1800 \text{ с}$$

$$I = 0,5 \text{ А}$$

$$m_1 = 75\,200 \text{ мг}$$

$$m_2 = 75\,470 \text{ мг}$$

Найти:

$$k — ?$$

Поиск математической модели, решение

Согласно первому закону Фарадея имеем: $m = kIt$, следовательно, $k = \frac{m}{It}$; при этом $m = m_2 - m_1$. Получаем:

$$k = \frac{m_2 - m_1}{It}.$$

Проверим единицу, найдем значение искомой величины:

$$[k] = \frac{\text{мг}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{мг}}{\text{Кл}}; \quad k = \frac{75\,470 - 75\,200}{0,5 \cdot 1800} = \frac{270}{900} = 0,30 \left(\frac{\text{мг}}{\text{Кл}} \right).$$

Анализ результата. Сравнив полученное значение электрохимического эквивалента меди с табличным $\left(k = 0,33 \frac{\text{мг}}{\text{Кл}} \right)$, видим, что значения практически совпали. Погрешность возникла из-за неточности измерения массы. Следовательно, задача решена правильно.

Ответ: $k = 0,30 \frac{\text{мг}}{\text{Кл}}$.



Подводим итоги

Электролиты — это твердые и жидкие вещества, обладающие ионной проводимостью. Распад электролитов на ионы вследствие действия полярных молекул растворителя называют электролитической диссоциацией. В результате диссоциации в растворе появляются свободные заряженные частицы — положительные и отрицательные ионы.

Электрический ток в электролитах — это направленное движение положительных и отрицательных ионов.

При прохождении электрического тока через электролит химические составляющие электролита оседают на электродах или выделяются в газообразном состоянии — происходит электролиз. Электролиз — это процесс выделения веществ на электродах, связанный с окислительно-восстановительными реакциями, происходящими на электродах при прохождении тока.

Для электролиза выполняется первый закон Фарадея (закон электролиза): масса m вещества, выделяющегося на электроде, прямо пропорциональна заряду q , который прошел через электролит: $m = kq$, или $m = kIt$. Коэффициент пропорциональности k называют электрохимическим эквивалентом.



Контрольные вопросы

1. В чем заключается явление электролитической диссоциации? Приведите примеры.
2. Что такое электролит?
3. Что представляет собой электрический ток в электролитах?
4. Опишите процесс электролиза.
5. Сформулируйте первый закон Фарадея.
6. Каков физический смысл электрохимического эквивалента?



Упражнение № 37

1. Воспользовавшись законом электролиза, выведите единицу электрохимического эквивалента в СИ.
2. Дистиллированная вода не является проводником. А почему водопроводная, речная и морская вода проводит электрический ток?
3. Почему раствор соли в воде хорошо проводит электрический ток, а раствор сахара в воде — плохо?
4. Во время электролиза, где электролитом был раствор аргентум(I) нитрата, на катоде выделилось 25 г серебра. Сколько времени длился электролиз, если сила тока была неизменной и составляла 0,5 А?
5. Во время электролиза, где электролитом был раствор сульфатной кислоты, за 50 мин выделилось 3 г водорода. Определите потери мощности на нагревание электролита, если его сопротивление 0,4 Ом.
6. Сын кузнеца и ученик переплетчика Майкл Фарадей смог стать выдающимся ученым. Воспользуйтесь дополнительными источниками информации и узнайте о жизни М. Фарадея и истории его открытий.
7. При серебрении стальной ложки на ее поверхность был нанесен тонкий слой серебра толщиной 55 мкм. Определите массу серебра, если площадь поверхности ложки равна 40 см².





§ 38. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛИЗА

Существует легенда, что в конце XVIII в. король Англии прислал в подарок российской императрице Екатерине II... алюминиевую кружку. Сейчас это сложно представить, но императрица была поражена таким ценным подарком! Дело в том, что в те времена алюминий был редким металлом и стоил намного дороже золота. Со временем благодаря применению электролиза алюминий стал общедоступным. О том, как с помощью электролиза получают металлы и где еще применяют электролиз, пойдет речь в этом параграфе.

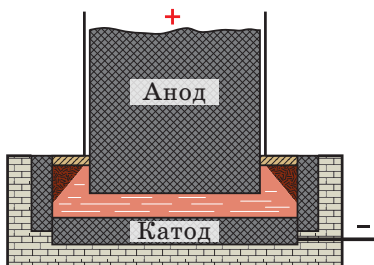


Рис. 38.1. Производство алюминия (схема промышленной установки). Дно и стенки ванны служат катодом; алюминий собирается на дне ванны. Угольный блок служит анодом, на нем выделяется кислород

1 Применяем электролиз для получения металлов

Электролиз широко используют в промышленности. С помощью электролиза из солей и оксидов получают многие металлы: медь, никель, алюминий и др. Например, чтобы получить алюминий, в качестве электролита используют алюминий оксид (Al_2O_3), растворенный в расплавленном криолите (Na_3AlF_6) при температуре 950°C . Раствор помещают в специальные электролитические ванны; катодом обычно служат дно и стенки ванны, выложенные графитом, а анодом — погруженные в электролит угольные блоки. При прохождении тока через электролит на катоде выделяется алюминий (рис. 38.1).

2 Получаем чистые металлы

Металлы, полученные в результате электролиза (или иным способом), обычно содержат некоторое количество примесей, поскольку сырье не может быть «идеальным». Так, в расплаве всегда имеются соли и оксиды других металлов, которые тоже могут выделиться на катоде. Для очистки металлов от примесей можно снова использовать электролиз.

Способ очистки металлов с помощью электролиза называют **рафинированием**.

Таким способом очищают медь, алюминий, свинец, серебро и некоторые другие металлы. В качестве примера рассмотрим очищение меди.

В ванну с раствором купрум(II) сульфата (CuSO_4) опускают два электрода. Анодом служит толстая пластинка неочищенной меди, а катодом — тонкая пластинка чистой меди (рис. 38.2).

В растворе купрум(II) сульфат распадается на ионы Купрума (Cu^{2+}) и ионы сульфата (SO_4^{2-}). Ионы Купрума движутся к катоду и оседают на нем. Ионы сульфата движутся к аноду и «забирают» у него ионы Купрума. Вновь образовавшийся купрум(II) сульфат попадает в раствор, и там распадается. В итоге чистая медь переносится с анода на катод. Анод при этом растворяется, а примеси оседают на дне или остаются в растворе.

3 Знакомимся с гальваностегией

С помощью электролиза можно нанести тонкий слой металла на поверхность изделия — сделать серебрение, золочение, никелирование, хромирование и т. д. Такой слой может защищать от коррозии, увеличивать прочность изделия или просто быть его украшением.

Электролитический способ покрытия изделия тонким слоем металла называют **гальваностегией**.

Изделие, которое хотят покрыть слоем какого-либо металла, опускают в ванну с раствором электролита, в состав которого входит данный металл. Изделие служит катодом, а пластинка металла, которым покрывают изделие, — анодом. Во время прохождения тока металл оседает на изделии (катоде), а анодная пластинка постепенно растворяется (рис. 38.3).

4 Изучаем гальванопластику

Гальванопластика — это получение с помощью электролиза точных копий рельефных изделий.

Сначала из воска или другого пластичного материала делают слепок рельефного изделия. Чтобы поверхность слепка проводила ток, ее покрывают тонким слоем графита. Затем слепок помещают в ванну с раствором электролита. Слепок будет служить катодом, а пластинка металла — анодом. Во время электролиза на слепке образуется довольно толстый слой металла, который заполняет все неровности слепка. После прекращения электролиза восковой слепок отделяют от слоя металла и в результате получают точную копию изделия (рис. 38.4).

Понятно, что применение электролиза в современной технике не ограничено рассмотренными примерами. С помощью электролиза можно осуществить полировку поверхности анода; электролиз лежит в основе зарядки и разрядки кислотных и щелочных аккумуляторов и др.

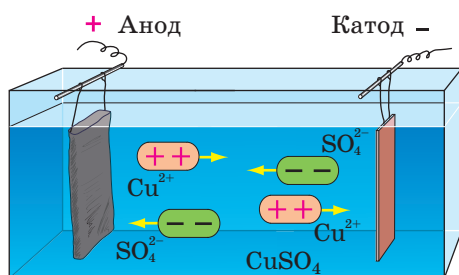


Рис. 38.2. Рафинирование меди: тонкая пластинка чистой меди является катодом, толстая пластинка неочищенной меди — анодом; ванна наполнена водным раствором купрум (II) сульфата

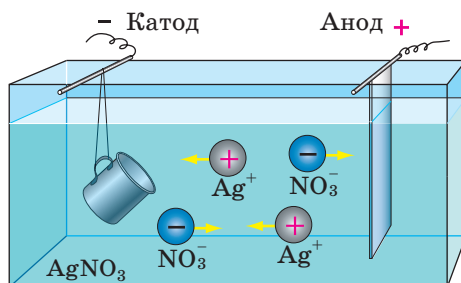


Рис. 38.3. Гальваническое серебрение. Предмет, который покрывают серебром (кружка), является катодом, серебряная пластинка — анодом; ванна наполнена раствором аргентум (I) нитрата

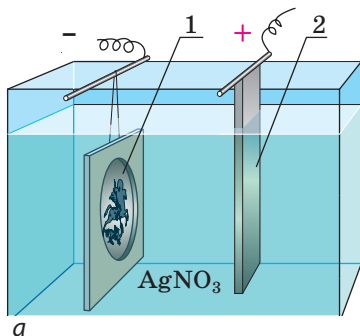


Рис. 38.4. Получение рельефных копий с помощью электролиза: а — схема устройства: восковой слепок, покрытый тонким слоем графита, является катодом (1), серебряная пластинка — анодом (2); ванна наполнена раствором аргентум (I) нитрата; б — полученная копия

5 Учимся решать задачи

Задача. При никелировании на каждый 1 дм² поверхности никелируемого изделия подают силу тока 0,4 А. За какое время на изделие будет нанесен слой никеля толщиной 0,02 мм?

Анализ физической проблемы. Время протекания электролиза вычислим, воспользовавшись первым законом Фарадея; массу вещества, выделившегося на катоде, выразим через плотность и объем слоя никеля. Электрохимический эквивалент и плотность никеля найдем соответственно в табл. 8 и 9 Приложения. Решая задачу, плотность удобно представить в граммах на кубический сантиметр, а следовательно, толщину слоя — в сантиметрах, площадь поверхности — в квадратных сантиметрах, электрохимический эквивалент — в граммах на кулон.

Дано:

$$S = 100 \text{ см}^2$$

$$I = 0,4 \text{ А}$$

$$d = 0,002 \text{ см}$$

$$\rho = 8,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$k = 0,30 \frac{\text{мг}}{\text{Кл}} = 0,0003 \frac{\text{г}}{\text{Кл}}$$

Найти:
 t — ?

Поиск математической модели, решение

Согласно закону Фарадея: $m = kIt$.

Поскольку $m = \rho V$, а $V = Sd$, то $m = \rho Sd$.

Подставив выражение для m в закон Фарадея, имеем:

$$\rho Sd = kIt. \text{ Отсюда } t = \frac{\rho Sd}{kI}.$$

Проверим единицу, найдем значение искомой величины:

$$[t] = \frac{\frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{см}}{\frac{\text{г}}{\text{Кл}} \cdot \text{А}} = \frac{\text{г} \cdot \text{Кл}}{\text{г} \cdot \text{А}} = \frac{\text{А} \cdot \text{с}}{\text{А}} = \text{с}; \quad t = \frac{8,9 \cdot 100 \cdot 0,002}{0,0003 \cdot 0,4} \approx 14\,800 \text{ (с)};$$

$$t = 14\,800 \text{ с} \approx 4 \text{ ч } 7 \text{ мин.}$$

Ответ: $t \approx 4 \text{ ч } 7 \text{ мин.}$



Подводим итоги

Электролиз широко применяют в промышленности. С помощью электролиза из солей и оксидов получают многие металлы (медь, никель, алюминий и др.), а также очищают их. Способ очистки металлов с помощью электролиза называют рафинированием.

С помощью электролиза можно нанести тонкий слой металла на поверхность изделия (осуществить серебрение, золочение, никелирование, хромирование и т. д.), изготовить точные копии рельефных изделий. Электролитический способ покрытия изделия тонким слоем металла называют гальваностегией, а получение с помощью электролиза точных копий рельефных изделий — гальванопластикой.



Контрольные вопросы

1. Приведите примеры применения электролиза.
2. Опишите процесс получения алюминия с помощью электролиза.
3. Как можно очистить металлы от примесей?
4. Для чего поверхность металлов покрывают тонким слоем другого металла?
5. Что такое гальваностегия? гальванопластика?



Упражнение № 38

1. На рис. 1 приведено схематическое изображение электрической цепи.
 - 1) Назовите основные элементы цепи.
 - 2) Какой электрод служит катодом, а какой — анодом?
 - 3) На каком электроде оседает серебро?
 - 4) Какова сила тока в цепи?
 - 5) За какое время на электроде образуется слой серебра массой 2,52 г?
 - 6) Какая энергия будет израсходована при серебрении, если напряжение на электродах равно 11 В?
2. На рис. 2 приведено схематическое изображение электрической цепи, в состав которой входит сосуд с водным раствором цинк (II) сульфата. По данным рисунка вычислите толщину слоя цинка, который образуется на катоде в результате электролиза.
3. Для серебрения ложек через раствор аргентум (I) нитрата пропускали ток силой 1,8 А. Катодом служили 12 ложек, каждая из которых имела площадь поверхности 50 см². Сколько времени длился электролиз, если на ложках образовался слой серебра толщиной 58 мкм?

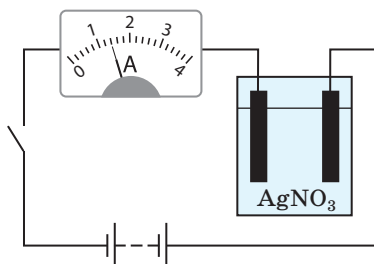


Рис. 1

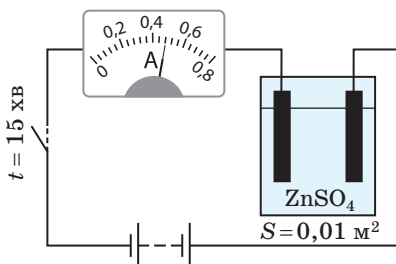


Рис. 2

4. При рафинировании меди анодом служит пластина неочищенной меди массой 2 кг, содержащая 12 % примесей. Сколько энергии необходимо затратить для очистки этой меди, если процесс протекает при напряжении 6 В?
5. Какие из приведенных веществ и материалов являются проводниками, а какие — диэлектриками: 1) дистиллированная вода; 2) медь; 3) воздух; 4) морская вода; 5) золото; 6) ртуть; 7) резина; 8) фарфор?



§ 39. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ГАЗАХ

Прочитав название параграфа, некоторые из вас удивятся, ведь в начале раздела мы говорили о том, что газы являются диэлектриками, а это значит, что в них нет свободных заряженных частиц. Так о каком электрическом токе может идти речь?

Дело в том, что газы являются диэлектриками при обычных условиях. Однако существует условия, при которых газы могут становиться проводниками. Когда это происходит и что собой представляет электрический ток в газах?

1 Проводим эксперимент

Сложим электрическую цепь из мощного источника тока, гальванометра и двух металлических пластин, разделенных воздушным промежутком. Замкнув цепь, увидим, что стрелка гальванометра не отклоняется (рис. 39.1, а). А это значит, что в цепи нет электрического тока или ток настолько слабый, что даже чувствительный гальванометр его не регистрирует. Итак, делаем вывод: *при обычных условиях в воздухе почти нет свободных заряженных частиц и он не проводит электрический ток.*

Поместим между металлическими пластинами зажженную спиртовку — стрелка гальванометра отклонится (рис. 39.1, б). Это значит, что в воздухе появились свободные заряженные частицы и он начал проводить электрический ток. Выясним, что это за частицы, откуда и как они появились.

2 Знакомимся с механизмом проводимости газов

В отличие от металлов и электролитов газы состоят из электрически нейтральных частиц (атомов и молекул), поэтому при обычных условиях воздух является изолятором.

Когда пламя спиртовки нагревает воздух, кинетическая энергия теплового движения частиц воздуха увеличивается настолько, что в случае их столкновения от частицы может оторваться электрон и стать свободным. Потеряв электрон, молекула (или атом) становится положительным ионом (рис. 39.2).

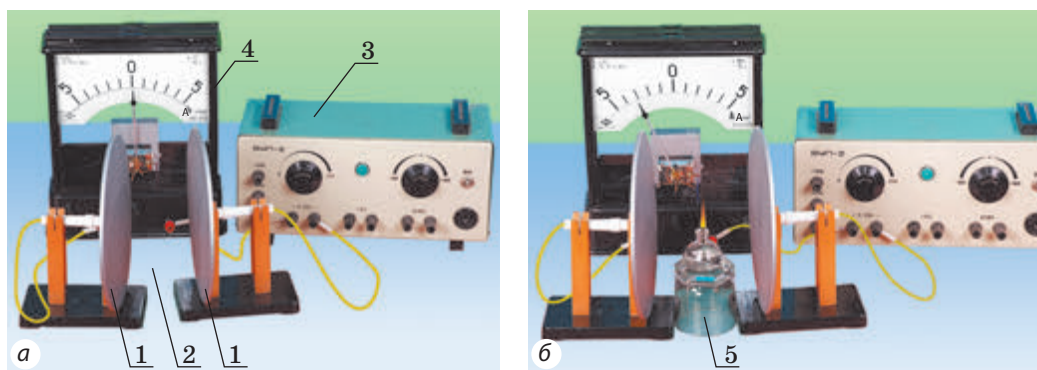


Рис. 39.1. Эксперимент по изучению проводимости газов: 1 — металлические пластины; 2 — воздушный промежуток; 3 — мощный источник тока; 4 — гальванометр; 5 — спиртовка. При обычных условиях воздух не проводит электрический ток (а); при внесении в воздушный промежуток зажженной спиртовки воздух становится проводником (б)

Осуществляя тепловое движение, электрон может столкнуться с нейтральной частицей и «прилипнуть» к ней — образуется отрицательный ион (рис. 39.3).

Процесс образования положительных и отрицательных ионов и свободных электронов из молекул (атомов) газа называют **ионизацией**.

Если *ионизированный* газ поместить в электрическое поле, в результате действия этого поля положительные ионы будут двигаться в направлении силовых линий поля, а электроны и отрицательные ионы — в противоположном направлении (рис. 39.4). В газе возникнет электрический ток.

Электрический ток в газах представляет собой направленное движение свободных электронов, положительных и отрицательных ионов.

Электрический ток в газах иначе называют **газовым разрядом**. Следует обратить внимание на тот факт, что газ может стать ионизированным не только в результате повышения его температуры, но и вследствие влияния других факторов. Например, верхние слои атмосферы Земли ионизируются под действием космических лучей; сильное ионизирующее влияние на газ имеют рентгеновские лучи и т. д.

3 Даём определение несамостоятельного газового разряда

Опыты показывают: если устранить причину, которая вызвала ионизацию газа (убрать горелку, выключить источник рентгеновского излучения и т. д.), то газовый разряд обычно прекращается.

Газовый разряд, который происходит только при наличии внешнего ионизатора, называют **несамостоятельным газовым разрядом**.

Выясним, почему после окончания действия ионизатора газовый разряд прекращается.

Во-первых, в процессе теплового движения электронов и положительных ионов может произойти *рекомбинация* — объединение их в нейтральную молекулу (атом) (рис. 39.5).

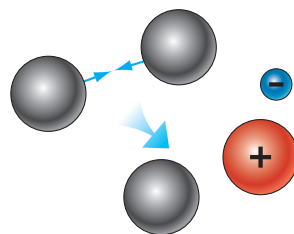


Рис. 39.2. Схема ионизации молекулы газа. Потеряв в результате столкновения электрон, молекула становится положительным ионом

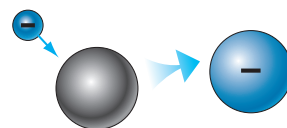


Рис. 39.3. Схема образования отрицательных ионов в газе: электрон «прилипает» к нейтральной молекуле

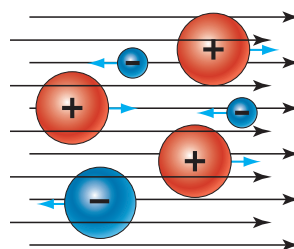


Рис. 39.4. При наличии электрического поля в ионизированном газе возникает направленное движение свободных заряженных частиц — электрический ток

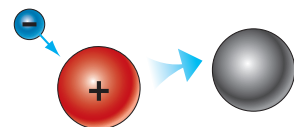


Рис. 39.5. Схема рекомбинации (восстановления) молекул газа

Во-вторых, под действием поля свободные электроны движутся к положительному электроду (аноду) и поглощаются им; отрицательные ионы движутся к аноду, «отдают» ему «лишние» электроны и превращаются в нейтральные частицы; положительные ионы, достигнув отрицательного электрода (катода), «забирают» у него электроны и тоже превращаются в нейтральные частицы. Нейтральные молекулы и атомы возвращаются в газ.

Таким образом, если ионизатор «работает», в газе непрерывно появляются новые ионы; после прекращения действия ионизатора количество свободных заряженных частиц в газе быстро уменьшается и газ перестает проводить ток.

4 Узнаём об ионизации электронным ударом

При определенных условиях газ может проводить электрический ток и после прекращения действия ионизатора.

Газовый разряд, происходящий без действия внешнего ионизатора, называют **самостоятельным газовым разрядом**.

Рассмотрим, как происходит самостоятельный газовый разряд.

При движении в электрическом поле скорость электрона постепенно увеличивается. Однако это увеличение не может происходить бесконечно, так как электрон сталкивается с частицами газа. Если между столкновениями электрон успеет набрать достаточно большую скорость, то, столкнувшись с нейтральным атомом или молекулой, он может выбить из них электрон, иными словами, может их *ионизировать*. В результате ионизации образуются положительный ион и еще один электрон. Последовательность таких столкновений приводит к образованию *электронной лавины* (рис. 39.6). Описанный процесс называют **ударной ионизацией** или **ионизацией электронным ударом**.

Электроны, образовавшиеся вследствие ударной ионизации, движутся к аноду и в конце концов поглощаются им. Но газовый разряд не прекратится, если будут появляться новые электроны. Одним из источников новых электронов может быть поверхность катода. Дело в том,

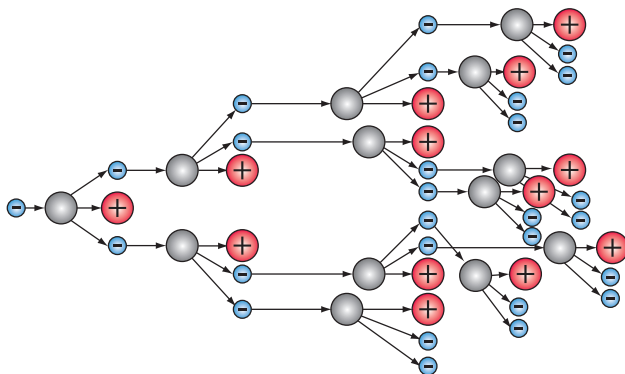


Рис. 39.6. Схема развития электронной лавины. Свободный электрон, ускоренный электрическим полем, ионизирует молекулу или атом и высвобождает еще один электрон. Разогнавшись, два электрона высвобождают еще два. К аноду летят уже четыре электрона, и т. д. Число свободных электронов увеличивается лавинообразно до тех пор, пока они не достигнут анода

что положительные ионы движутся к катоду и выбивают из него новые электроны. Другими словами, вследствие бомбардировки катода положительными ионами происходит *эмиссия (испускание) электронов с поверхности катода*.

Таким образом, *самостоятельный газовый разряд поддерживается за счет ударной ионизации и за счет эмиссии электронов с поверхности катода*.

5

Выясняем, когда возможна ионизация электронным ударом

Чтобы электрон смог при столкновении выбить электрон из нейтрального атома или молекулы, он должен приобрести достаточную кинетическую энергию. Это может произойти в двух случаях: если электрон будет очень долго разгоняться или если он будет разгоняться очень быстро.

При нормальном давлении электроны в газах очень часто испытывают столкновения с частицами газа, поэтому *электрическое поле*, в котором движется электрон, *должно быть достаточно сильным*, чтобы электрон успел до столкновения приобрести энергию, необходимую для ионизации.

Если же давление газа очень мало, то есть *газ достаточно разрежен*, то время между столкновениями значительно увеличивается и электрон может приобрести энергию, необходимую для ионизации молекулы (атома), в более слабом поле.



Подводим итоги

При обычных условиях газ практически не содержит свободных заряженных частиц, поэтому не проводит электрический ток. Чтобы газ начал проводить ток, его необходимо ионизировать. Ионизацией газа называют процесс образования положительных и отрицательных ионов и свободных электронов из электрически нейтральных атомов и молекул.

Электрический ток в газах представляет собой направленное движение свободных электронов, положительных и отрицательных ионов.

Газовый разряд, происходящий только при наличии внешнего ионизатора, называют несамостоятельным газовым разрядом. Разряд в газе, происходящий без действия внешнего ионизатора, называют самостоятельным газовым разрядом — он возможен за счет ионизации электронным ударом и за счет эмиссии электронов с поверхности катода.



Контрольные вопросы

1. Почему при обычных условиях газ не проводит электрический ток?
2. Какой газ называют ионизированным?
3. Что такое ионизация?
4. Какой разряд в газе называют несамостоятельным?
5. Почему после окончания действия ионизатора несамостоятельный газовый разряд быстро прекращается?
6. Дайте определение самостоятельного газового разряда.
7. Опишите механизм ударной ионизации.
8. Каким еще путем, кроме ионизации электронным ударом, восполняется недостаток свободных электронов при самостоятельном газовом разряде?



Упражнение № 39

1. В электрическом поле, созданном двумя разноименно заряженными пластинами (рис. 1), находится ионизированный газ. Перенесите рисунок в тетрадь. Изобразите силовые линии электрического поля между пластинами. Покажите направление движения электронов; положительных ионов; отрицательных ионов. Как движутся нейтральные частицы?
2. Почему при охлаждении газов их проводимость падает?
3. Чем ионизация газов отличается от электролитической диссоциации?
4. Что общего и в чем различие между электрическим током в газах, жидкостях и металлах?
5. Интересным примером несамостоятельного газового разряда является газовый разряд в плазменном шаре (рис. 2). Те из вас, кто видел, как работает такая лампа, наверное, вспомнят: если к шару прикоснуться рукой, то лучи притягиваются к руке. Воспользуйтесь дополнительными источниками информации и узнайте, почему это происходит, что общего между этим явлением и работой сенсорного экрана, кто был изобретателем плазменного шара.

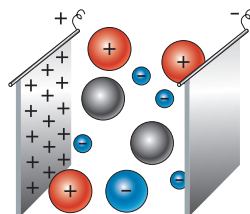


Рис. 1



Рис. 2

Физика и техника в Украине



Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (Киев)

Практически ежедневно мы сталкиваемся с дугowym разрядом или результатами его действия. Это и маленькие «солнца», которые пылают в руках рабочих на стройплощадках, и обычные петли, приваренные ко входным дверям вашего дома. Именно благодаря сварке дуговой разряд получил такое распространение. Безусловный мировой авторитет Украины в этой области обеспечила работа ученых Института электросварки им. Е. О. Патона.

Мировое признание институт получил благодаря новейшей для своего времени технологии сварки под флюсом, которую разработал основатель и первый директор института академик *Евгений Оскарович Патон*.

На фото — известный цельносварной мост Патона в Киеве. Этот мост Американское общество по сварке признало выдающейся сварочной конструкцией XX в.

Президент НАНУ академик *Борис Евгеньевич Патон*, который сейчас возглавляет институт, достойно продолжил дело своего отца. Под его руководством разработаны не только традиционные способы сварки для промышленности, — новейшие технологии применяют в космосе и даже для сваривания живых тканей.

§ 40. ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ ГАЗОВЫХ РАЗРЯДОВ

Яркие, а порой и опасные явления: молния, полярное сияние, пугающие неосведомленного человека «огни святого Эльма», разноцветное свечение газоразрядных трубок, ослепительный свет при сварке металла — всё это примеры различных самостоятельных газовых разрядов. От чего зависит и как возникает тот или иной электрический разряд в газах, вы узнаете из этого параграфа.

1 Знакомимся с искровым газовым разрядом

При атмосферном давлении и большом напряжении между электродами возникает **искровой газовый разряд**. Искорки, появляющиеся, когда вы снимаете синтетический свитер; молния во время грозы; искра, возникающая между заряженными кондукторами электрофорной машины (рис. 40.1), — все это примеры искрового разряда.

Искровой разряд выглядит как яркие разветвляющиеся зигзагообразные полосы. Он длится всего несколько десятков микросекунд и обычно сопровождается характерными звуковыми эффектами (потрескивание, треск, гром и т. п.). Дело в том, что температура газа, а следовательно, и давление в области разряда резко повышаются, в результате чего воздух быстро расширяется и возникают звуковые волны.

В технике искровой разряд используют, например, в свечах зажигания бензиновых двигателей (рис. 40.2), для обработки особо прочных металлов.

Пример грандиозного искрового разряда в природе — *молния*.

Было установлено, что во время грозы происходит перераспределение зарядов в грозовой туче, поэтому разные части тучи заряжаются зарядами противоположных знаков. Обычно нижние слои тучи имеют отрицательный заряд, а верхние — положительный.

Напряжение между двумя тучами, обращенными друг к другу разноименно заряженными частями, или напряжение между тучей и Землей достигают нескольких сотен миллионов вольт. Благодаря ударной



Рис. 40.1. Искровой разряд между заряженными кондукторами электрофорной машины



Рис. 40.2. Электрическое напряжение между электродами свечи зажигания составляет 12–15 тыс. вольт



Рис. 40.3. Михаил Васильевич Ломоносов (1711–1765) — выдающийся российский ученый; один из основателей физической химии; поэт, художник, историк



Рис. 40.4. Бенджамин Франклин (1706–1790) — американский ученый, выдающийся государственный деятель. Один из первых исследователей атмосферного электричества; предложил конструкцию молниеотвода

ионизации, а далее — ионизации излучением, которое сопровождает разряд, в электрическом поле между тучами появляются лавины свободных ионов и электронов, то есть возникает кратковременный самостоятельный газовый разряд — молния. Сила тока в канале молнии достигает сотен тысяч ампер.

Электрические свойства молнии первыми начали изучать независимо друг от друга российский ученый *М. В. Ломоносов* (рис. 40.3) и американский исследователь *Б. Франклин* (рис. 40.4).

2 Защищаемся от удара молнии

Подсчитано, что в атмосфере земного шара каждую секунду проскакивает около 100 молний, и каждая двадцатая из них ударяет в землю, принося порой немалый вред. Удар молнии может вызвать лесные пожары, вывести из строя линии электропередачи и даже привести к гибели людей.

Чтобы не стать жертвой удара молнии, следует помнить, что молния чаще ударяет в относительно высокие предметы. Во время грозы нужно соблюдать следующие основные **правила**.

- Оказавшись во время грозы в поле, нельзя бежать, — наоборот, нужно лечь, чтобы не вышаться над местностью.
- Во время грозы в лесу нельзя прятаться под высокими деревьями, а в поле — под одиночно стоящим деревом, копной сена и т. п.
- Во время грозы нельзя купаться в открытых водоемах, а находясь высоко в горах, лучше прятаться в пещере или под глубоким уступом.
- Если гроза застала в автомобиле, не нужно выходить из него; следует закрыть окна и двери и переждать непогоду.
- Во время грозы нельзя запускать воздушного змея: мокрая веревка становится проводником электричества, и молния может ударить в змея. При этом заряды пройдут через руку и тело человека в землю. Именно так во время эксперимента погиб друг и коллега М. В. Ломоносова российский ученый *Георг Рихман* (1711–1753) (рис. 40.5).



Рис. 40.5. Трагическая гибель Георга Вильгельма Рихмана 6 августа 1753 г. (гравюра)



Рис. 40.6. «Огни святого Эльма» — коронный разряд около острых концов корабельных мачт — много веков вызывали ужас у мореплавателей, которые не могли правильно объяснить их природу

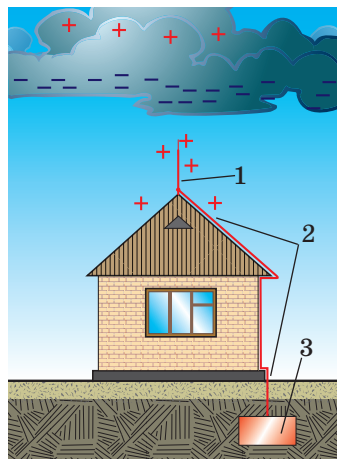


Рис. 40.7. Молниеотвод (громоотвод): 1 — заостренный металлический стержень; 2 — проводник — толстый соединительный провод; 3 — металлический предмет, закопанный глубоко в землю

3

Знакомимся с коронным газовым разрядом

Перед грозой или во время грозы у острых выступов предметов иногда можно наблюдать слабое фиолетовое свечение в виде короны, охватывающей острие. Исследования показывают, что причина этого явления — самостоятельный газовый разряд, который назвали *коронным* (рис. 40.6). Выясним, почему и как возникает **коронный газовый разряд**.

На поверхности Земли под действием электрического поля грозовой тучи скапливаются (индуцируются) заряды, по знаку противоположные заряду нижнего слоя тучи. Особенно плотно такие заряды расположены на острых частях предметов. В результате электрическое поле у острия оказывается настолько сильным, что заряд стекает с заостренного предмета, ионизируя окружающий воздух. Поле является сильным только около острия, поэтому коронные разряды наблюдаются лишь возле острых частей предметов.

На возникновении коронного разряда основано действие *молниеотвода*. Молниеотвод представляет собой заостренный металлический стержень, соединенный толстым проводником с металлическим предметом (см. рис. 40.7). Стержень устанавливают выше самой высокой точки защищаемого дома, а металлический предмет закапывают глубоко в землю (на уровне грунтовых вод). Во время грозы на конце молниеотвода возникает коронный разряд. В результате заряд не скапливается на доме, а стекает с острия молниеотвода.

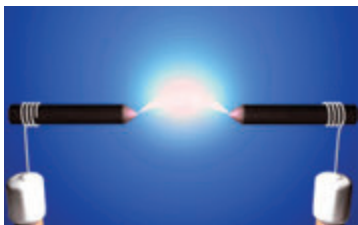


Рис. 40.8. Дуговой газовый разряд

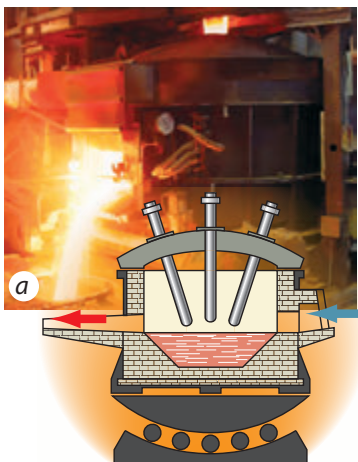


Рис. 40.9. Применение дугового газового разряда для плавки (а) и сварки (б) металлов

Считается, что молниеотвод изобрел Б. Франклин в 1752 г. Однако подобные конструкции существовали и раньше. Так, для защиты от молнии моряки Древней Греции привязывали веревку к лезвию меча, сам меч прикрепляли к мачте, а конец веревки опускали в море.

4

Наблюдаем дуговой газовый разряд

В 1802 г. российский физик *Василий Владимирович Петров* (1761–1834) провел следующий опыт. Он присоединил два угольных электрода к полюсам большой электрической батареи, соединил электроды друг с другом, а потом немного раздвинул. Между кончиками электродов ученый наблюдал яркое дугообразное пламя, а сами кончики накалялись, излучая ослепительный белый свет. Так был получен еще один вид самостоятельного газового разряда — **дуговой газовой разряд (электрическая дуга)** (рис. 40.8). Какова же причина его возникновения?

Когда электроды соединены, электрическая цепь замкнута и в ней идет достаточно сильный электрический ток. В месте соединения сопротивление цепи наибольшее, следовательно, именно здесь, согласно закону Джоуля — Ленца, выделяется наибольшее количество теплоты. Концы электродов накаляются до $4000\text{--}7000\text{ }^{\circ}\text{C}$, и с поверхности катода начинают «испаряться» электроны.

Теперь, даже если электроды развести, через газовый промежуток между ними будет проходить ток, так как в газе между электродами будет достаточно количество свободных заряженных частиц (свободные электроны, «испарившиеся» с катода, а также свободные электроны и ионы, появившиеся в результате ионизации газа из-за высокой температуры). В дальнейшем высокая температура катода и анода поддерживается бомбардировкой электродов положительными и отрицательными ионами и электронами, ускоренными электрическим полем.

Высокая температура ионизированного газа при дуговом разряде, а также излучение

света, сопровождающее такой разряд, обеспечили широкое применение электрической дуги в науке, технике, промышленности. Электрическая дуга «работает» как мощный источник света в прожекторах. В металлургии применяют электропечи, в которых используют дуговой разряд; жаром электрической дуги сваривают металлы и т. д. (рис. 40.9).

5 Выясняем условия возникновения тлеющего газового разряда

При низком давлении, составляющем десятые и сотые доли миллиметра ртутного столба, можно наблюдать свечение разреженного газа — **тлеющий газовый разряд**. Напомним, что при низком давлении расстояние между частицами настолько велико, что даже в слабом электрическом поле электроны успевают за время между столкновениями с частицами газа приобрести энергию, достаточную для ударной ионизации.

Тлеющий разряд используют в лампах дневного света (люминесцентных трубках), в квантовых источниках света — газовых лазерах. Кроме того, его применяют в цветных газоразрядных трубках: цвет свечения при тлеющем разряде определяется природой газа, а следовательно, может быть разным.



Подводим итоги

Различают четыре основных вида самостоятельных газовых разрядов. Искровой газовый разряд возникает при атмосферном давлении и большом напряжении между электродами. Он представляет собой яркие разветвленные зигзагообразные полосы. Пример гигантского искрового разряда — молния. Удар молнии может привести к гибели, поэтому во время грозы необходимо строго соблюдать правила безопасности.

Самостоятельный газовый разряд, образующийся в сильном электрическом поле вблизи острых выступов предметов, называют коронным газовым разрядом.

При температуре 4000–7000 °С между электродами, разведенными на небольшое расстояние, возникает газовый разряд, сопровождающийся очень ярким свечением в форме дуги, — дуговой газовый разряд.

При низком давлении (десятые и сотые доли миллиметра ртутного столба) можно наблюдать свечение разреженного газа вследствие тлеющего разряда.



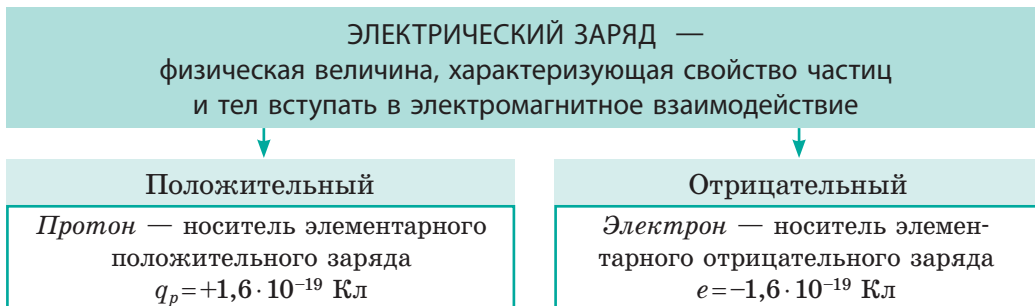
Контрольные вопросы

1. Перечислите основные виды самостоятельных газовых разрядов.
2. Приведите примеры искрового газового разряда. При каких условиях он возникает?
3. Что такое молния? Когда и почему она возникает?
4. Назовите основные правила безопасности, которые следует соблюдать во время грозы.
5. Что представляет собой коронный разряд? Где его применяют?
6. Какие особенности дугового разряда обеспечили его широкое применение?
7. При каких условиях возникает тлеющий разряд? Где его используют?

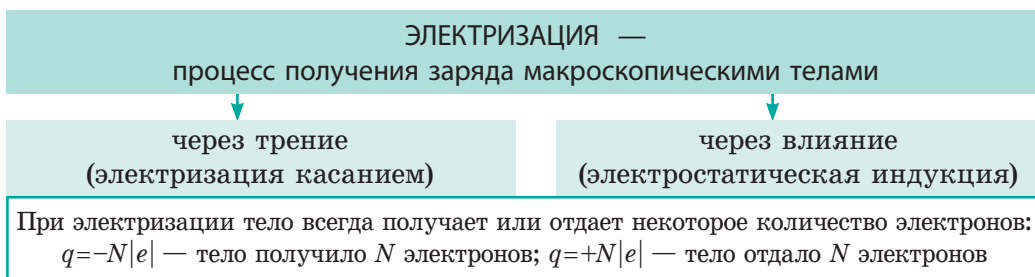
ПОДВОДИМ ИТОГИ РАЗДЕЛА II

«Электрические явления. Электрический ток»

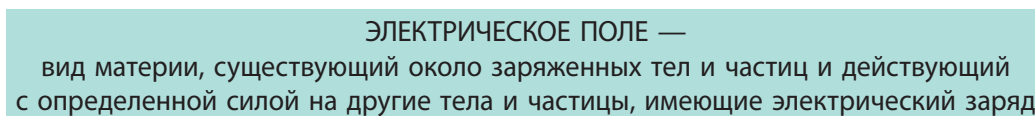
- В разделе II вы ознакомились с новыми для вас физическими величинами. Одна из них — *электрический заряд*.



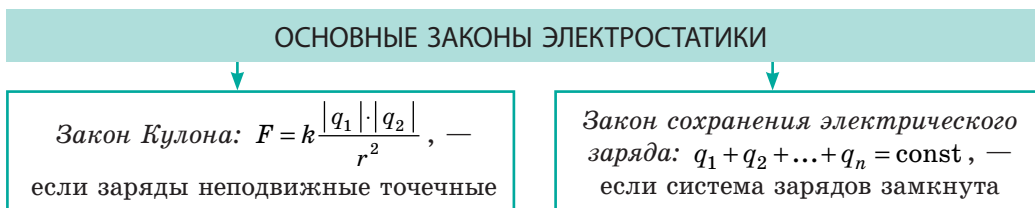
- Вы выяснили, что такое *электризация* и как *наэлектризовать тело*.



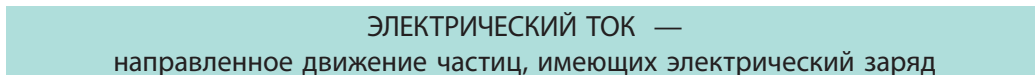
- Вы узнали, что заряженный объект является источником электриче-
ского поля.



- Вы изучили *основные законы электростатики*.



- Вы узнали об *электрическом токе* и *условиях его существования*.



УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Наличие свободных заряженных частиц

В металлах — свободные электроны, которые присутствуют всегда

В газах — свободные электроны, положительные и отрицательные ионы, образующиеся в результате ионизации

В электролитах — свободные положительные и отрицательные ионы, образующиеся в результате электролитической диссоциации

Наличие электрического поля

Создается источниками тока, внутри которых происходит преобразование разных видов энергии в энергию электрического поля

ИСТОЧНИКИ ТОКА

химические

механические

световые

тепловые

ЗАКОН ФАРАДЕЯ: $m = kIt = kq$

6. Вы изучили физические величины, характеризующие прохождение тока в участке цепи, и проследили связь между ними.

Физическая величина	Символ для обозначения	Единица в СИ	Формула для определения	Прибор для измерения
Сила тока	I	А (ампер)	$I = q/t$	Амперметр
Напряжение	U	В (вольт)	$U = A/q$	Вольтметр
Сопротивление	R	Ом (ом)	$R = \rho l/S$	Омметр

ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ: $I = \frac{U}{R}$

7. Вы узнали о разных видах соединения проводников.

Физическая величина	Вид соединения проводников	
	Последовательное	Параллельное
Сила тока	$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$	$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$
Напряжение	$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$	$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$
Сопротивление	$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

8. Вы наблюдали действие электрического тока и узнали, как вычислить работу и мощность тока; количество теплоты.

Работа тока: $A = UIt$

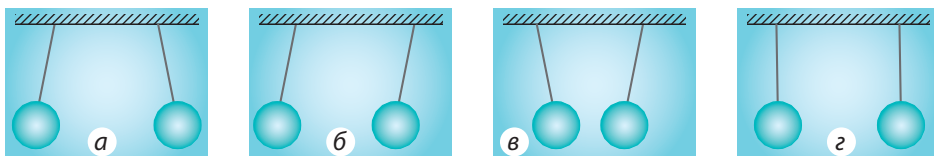
Мощность тока: $P = UI$

Количество теплоты, выделяющееся за время прохождения тока (закон Джоуля — Ленца): $Q = I^2 Rt$

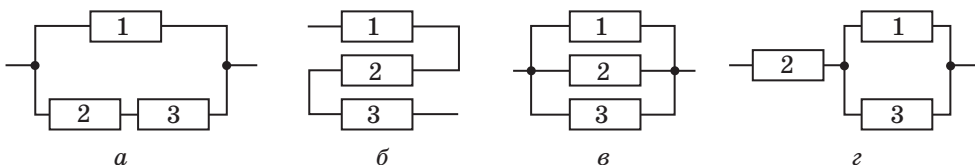
ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ К РАЗДЕЛУ II «Электрические явления. Электрический ток»

Часть 1. Электрический заряд. Электрическое поле. Электрический ток

1. (1 балл) На каком рисунке изображена пара шариков, имеющих одноименный заряд?



2. (1 балл) На каком рисунке резисторы 1 и 2 соединены последовательно?



3. (1 балл) На рис. 1 изображены силовые линии электрического поля, образованного двумя заряженными шариками. Какое утверждение истинно?

- а) Оба шарика имеют положительный заряд.
б) Оба шарика имеют отрицательный заряд.
в) Шарик 1 заряжен отрицательно, шарик 2 — положительно.
г) Заряд шарика 1 больше заряда шарика 2.

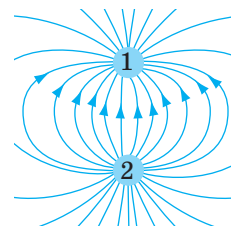


Рис. 1

4. (1 балл) Установите соответствие между элементом электрической цепи и его обозначением на схеме.

1 Нагревательный элемент	2 Лампа	3 Ключ	4 Гальванический элемент
А	Б	В	Г
Д			

5. (2 балла) Установите соответствие между прибором и символом физической величины.

1 Амперметр	2 Вольтметр	3 Омметр	4 Динамометр
А F	Б I	В R	Г ρ
Д U			

6. (2 балла) На цоколе электрической лампы написано: «4,4 В; 0,22 А». Определите сопротивление нити накала лампы при свечении.

- а) 0,05 Ом; б) 0,968 Ом; в) 4,18 Ом; г) 20 Ом.

7. (2 балла) Определите сопротивление нихромового провода длиной 20 см и площадью поперечного сечения 2 мм².

- а) 0,11 Ом; б) 11 Ом; в) 22 Ом; г) 44 Ом.

8. (2 балла) Установите соответствие между преобразованием энергии, происходящим в техническом устройстве, и названием устройства.
- | | |
|--|--------------------|
| 1 Химическая энергия — в электрическую | А Фотоэлемент |
| 2 Электрическая энергия — в механическую | Б Аккумулятор |
| 3 Электрическая энергия — в тепловую | В Электродвигатель |
| 4 Световая энергия — в электрическую | Г Нагреватель |
| | Д Термопара |
9. (3 балла) За 10 с через участок цепи прошел заряд 15 Кл, при этом электрическое поле на участке выполнило работу 315 Дж. Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими прохождение тока в участке цепи, и их значениями в единицах СИ.
- | | | |
|--------------|-------------|-----------------|
| 1 Напряжение | 2 Сила тока | 3 Сопротивление |
| А 1,5 | Б 14 | В 21 |
| | | Г 31,5 |
10. (3 балла) Как с помощью положительно заряженного проводящего шарика 1 зарядить отрицательно такой же, но незаряженный шарик 2, не увеличивая и не уменьшая заряда шарика 1?
11. (3 балла) Как изменилось расстояние между двумя точечными зарядами, если сила их взаимодействия уменьшилась в 16 раз?
12. (3 балла) Резисторы сопротивлением 3 и 6 Ом соединены последовательно. Определите силу тока в цепи и напряжение на каждом резисторе, если общее напряжение на резисторах 1,8 В.
13. (3 балла) Три резистора сопротивлением 9 Ом каждый соединены параллельно и присоединены к источнику тока, напряжение на зажимах которого 12 В. Какова сила тока в цепи?
14. (4 балла) Маленький проводящий шарик с зарядом $6 \cdot 10^{-9}$ Кл коснулся такого же шарика, но незаряженного. С какой силой взаимодействуют шарики после соприкосновения, если они разошлись на расстояние 9 см?
15. (4 балла) По рис. 2 определите показания каждого вольтметра.
16. (4 балла) Как изменятся показания приборов (рис. 3), если ползунок реостата переместить влево?

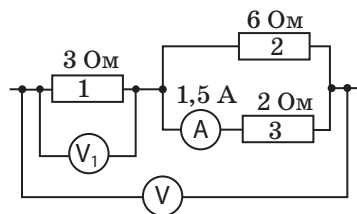


Рис. 2

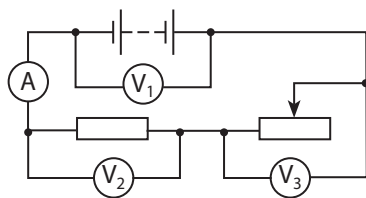


Рис. 3

Сверьте ваши ответы с приведенными в конце учебника. Отметьте задания, которые вы выполнили правильно, и подсчитайте сумму баллов. Потом эту сумму разделите на три. Полученный результат будет соответствовать уровню ваших учебных достижений.



Тренировочные тестовые задания с компьютерной проверкой вы найдете на электронном образовательном ресурсе «Интерактивное обучение».

Часть 2. Работа и мощность электрического тока. Электрический ток в разных средах

В заданиях 1, 2 укажите правильное окончание предложения.

- (1 балл) В газах свободные заряженные частицы могут появиться в результате...
 - а) электролитической диссоциации
 - б) поляризации молекул газа
 - в) действия внешнего ионизатора
 - г) рекомбинации молекул газа
- (1 балл) Очистку металлов с помощью электролиза называют...
 - а) гальваностегия
 - б) гальванопластика
 - в) электролитическая диссоциация
 - г) рафинирование
- (2 балла) Установите соответствие между видом самостоятельного газового разряда, лежащим в основе действия технического устройства, и названием устройства.

1 Дуговой разряд	А Молниеотвод
2 Искровой разряд	Б Свеча зажигания
3 Коронный разряд	В Газоразрядная лампа
4 Тлеющий разряд	Г Лампа накаливания
	Д Сварочный аппарат
- (2 балла) На рис. 1 схематически изображены три провода, присоединенные к источнику тока. Провода изготовлены из разных материалов, при этом их длины и площади поперечных сечений одинаковы. В каком проводе выделяется наибольшее количество теплоты?

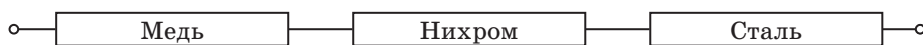


Рис. 1

- а) в стальном; б) в медном; в) в нихромовом; г) в проводах выделяется одинаковое количество теплоты.
- (2 балла) В течение 10 с в проводнике протекал электрический ток силой 0,3 А. Какую работу выполнил ток, если напряжение на концах проводника было 4 В?
 - а) 0,12 Дж;
 - б) 0,74 Дж;
 - в) 3,6 Дж;
 - г) 12 Дж.
 - (2 балла) Сила тока в нагревательном элементе электрического утюга равна 5 А, сопротивление элемента — 40 Ом. Какое количество теплоты выделяется в нагревательном элементе утюга за 5 мин?
 - а) 2 Дж;
 - б) 200 Дж;
 - в) 300 кДж;
 - г) 5 кДж.
 - (2 балла) Какова сила тока в нити накала электрической лампы (рис. 2) при номинальном напряжении?
 - а) около 0,45 А;
 - б) 2,2 А;
 - в) 22 кА;
 - г) определить невозможно.



Рис. 2

8. (2 балла) При серебрении изделия за 1 ч на катоде выделилось 2 г серебра. Какой приблизительно была сила тока во время серебрения?

а) 0,3 А; б) 0,4 А; в) 0,5 А; г) 0,6 А.

9. (3 балла) Три резистора соединены в электрическую цепь (рис. 3). Сколько теплоты выделится в цепи за 2 с, если сила тока в резисторе 1 равна 1 А, а сопротивление каждого резистора 2 Ом?

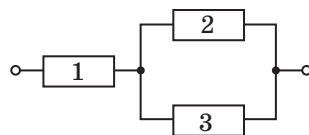


Рис. 3

а) 1 Дж; б) 2 Дж; в) 6 Дж; г) 12 Дж.

10. (3 балла) Два резистора сопротивлениями 3 и 6 Ом соединены параллельно и подключены к источнику тока. Определите мощность тока в каждом резисторе и на всем участке, если напряжение на зажимах источника тока 12 В.

11. (4 балла) Транспорт поднимает груз массой 300 кг на высоту 16 м за 2 мин. Определите силу тока в электродвигателе транспорта, если напряжение в сети равно 380 В, а КПД транспорта составляет 60 %.

12. (4 балла) В электрический чайник, сопротивление спирали которого 110 Ом, налили 2 л воды. Чайник включили в электрическую сеть напряжением 220 В и через 0,5 мин выключили. На сколько градусов увеличилась температура воды в чайнике, если КПД чайника составляет 70 %?

13. (4 балла) Три резистора соединены так, как показано на рис. 4, и подключены к батарее гальванических элементов. Напряжение на зажимах батареи равно 12 В, сопротивление каждого резистора — 6 Ом. Определите мощность, потребляемую каждым резистором.

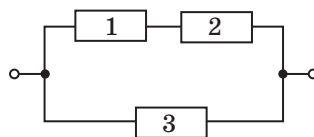


Рис. 4

14. (4 балла) Никелирование металлической пластины происходило при силе тока 0,89 А и продолжалось 1 ч 36 мин. Определите толщину слоя никеля, покрывшего пластину, если площадь поверхности пластины 96 см².

Сверьте ваши ответы с приведенными в конце учебника. Отметьте задания, которые вы выполнили правильно, и подсчитайте сумму баллов. Потом эту сумму разделите на три. Полученный результат будет соответствовать уровню ваших учебных достижений.



Тренировочные тестовые задания с компьютерной проверкой вы найдете на электронном образовательном ресурсе «Интерактивное обучение».

От лейденских банок до суперконденсаторов

На XVIII–XIX вв. приходится ряд изобретений, которые дошли до нашего времени (разумеется, определенным образом модернизированными).

Например, изучая влияние электрического поля на разные объекты, английский ученый *Майкл Фарадей* сконструировал клетку в виде куба с ребром 4 м, покрыл ее стенки материалом, являющимся хорошим проводником, и изолировал клетку от земли. По мнению ученого, это сооружение должно было стать надежной защитой от влияния электрического поля. Чтобы проверить эффективность устройства, ученый взял сверхчувствительный электроскоп и зашел с ним в клетку. Ассистенты создавали извне мощные электрические разряды, но электроскоп не зарегистрировал наличие электрического заряда в клетке. Устройство получило название *клетка Фарадея*, и сейчас ее модернизированный аналог применяется для защиты от действия электромагнитных полей.

Клеткой Фарадея «наоборот» пользуется большинство из нас, разогревая еду в микроволновой печи. Металлический корпус печи и сетка, нанесенная на стекло дверцы, «не выпускают» электромагнитные волны наружу.

Электрический заряд и связанная с ним энергия имеют очень большой недостаток — их сложно накапливать. Мы все знаем «емкости для электричества» — батареи и аккумуляторы. Еще одно устройство для накопления электрического заряда — *лейденская банка* (рис. 1), созданная в середине XVIII в. в городе Лейден (Голландия).

Устройство представляет собой стеклянную банку, обклеенную изнутри и снаружи металлической фольгой. Соединение с внутренней оболочкой осуществляется с помощью металлического стержня, закрепленного внутри банки. Чтобы зарядить лейденскую банку, нужно прикоснуться к стержню заряженным телом (при этом банку необходимо держать в руке — так внешняя оболочка банки соединяется с землей). Если проделать эту операцию



Рис. 1



Рис. 2

несколько раз, в банке можно накопить значительный заряд (рис. 2).

Принцип действия лейденской банки положен в основу конструкции, которая по имени изобретателя названа *генератор Ван де Граафа* (рис. 3). Это устройство работает следующим образом. Внутри изолированного шара (1), изготовленного из проводника, введена лента (2) транспортера, находящаяся в постоянном движении. Двигаясь, лента заряжается и передает заряд на шар. Генератор Ван де Граафа является «сердцем» некоторых современных ускорителей, используемых для изучения микромира (рис. 4).

А может ли лейденская банка быть полезна в повседневной жизни? Оказывается, да!

Известно, что автомобильный аккумулятор весит свыше десяти килограммов, причем это тяжелое устройство работает на полную мощность всего несколько секунд — когда нужно завести двигатель. Остальные потребности электрической системы автомобиля удовлетворяет генератор, а для питания ламп на парковке достаточно маленькой батарейки. Зачем же возить лишние килограммы? Таким вопросом задались и инженеры. На сегодня они уже изобрели способ существенно уменьшить размеры аккумулятора, применив *современный аналог лейденской банки* — *суперконденсатор* (рис. 5), энергия которого используется только при запуске двигателя. Размеры и масса суперконденсатора намного меньше аккумулятора автомобиля.

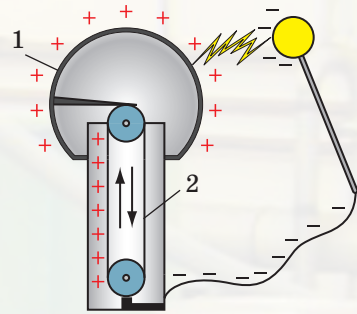


Рис. 3



Рис. 4



Рис. 5

Ориентировочные темы проектов

1. Электричество в жизни человека.
2. Современные бытовые и промышленные электрические устройства.
3. Применение электролиза в практической деятельности человека.
4. Применение газового разряда в практической деятельности человека.
5. Влияние электрического тока на организм человека.

Темы рефератов и сообщений

1. Из истории изучения электрических явлений.
2. Статическая электрика в нашей жизни и в живой природе.
3. Электросmog вокруг нас.
4. Георг Симон Ом: история жизни.
5. Современные источники питания для электронных устройств.
6. Применение электричества в медицине.
7. Действие электрического тока на клетки растений, живых существ.
8. История электрической лампы.
9. Азбука Морзе и электрический телеграф.
10. Основные правила монтажа осветительной и силовой сетей.
11. Сверхпроводимость: история открытия и перспективы применения.
12. История электролиза.
13. Вклад украинских ученых в развитие электросварки.
14. Как работает сенсорный экран.
15. Электрический ток в полупроводниках.
16. Как был изобретен молниеотвод.

Темы экспериментальных исследований

1. Создание электроскопа и исследование электростатических явлений.
2. Интересные опыты по электростатике.
3. Визуализация силовых линий электрического поля с помощью соломенных «стрелок», манной крупы, семян фенхеля.
4. Создание различных источников электропитания.
5. Влияние электрического поля на качество семян и урожайность.
6. Исследование электропроводности разных жидкостей.
7. Исследование электроснабжения квартиры.

Перед началом работы над проектом, рефератом, экспериментальным исследованием внимательно ознакомьтесь с советами на с. 227–228 учебника.

ЭТАПЫ РАБОТЫ НАД УЧЕБНЫМ ПРОЕКТОМ

1. Организационный этап. Выбор темы учебного проекта, обсуждение цели и задач проекта, составление плана его реализации.

План проекта — это документ, который содержит заранее намеченный порядок действий, необходимых для достижения цели проекта.

План помогает оценить собственные возможности и выявить проблемы, которые могут возникнуть во время работы.

Целесообразно определить содержание этапов работы над проектом, виды работ на каждом этапе, сроки их выполнения, обязанности и ответственность каждого участника проекта.

2. Подготовительный этап. Поиск информации по теме учебного проекта, а также информации, помогающей в решении задач проекта.

Отобранные материалы следует сразу сортировать. Для этого часто используют портфолио.

Портфолио проекта — это упорядоченная подборка материалов, собранных с определенной целью.

Электронное портфолио проекта — это сборник электронных материалов проекта, упорядоченных в соответствии с определенной структурой.

Электронное портфолио позволяет осуществлять быстрый поиск документов; его легко редактировать, дополнять, переносить, хранить и т. д.

Используя дополнительную литературу, интернет-ресурсы и т. п., не забывайте сохранять ссылку на каждый источник информации — записывать название ресурса, имя автора. Помните об авторском праве!

3. Проектный этап. Обработка собранной информации, создание моделей, формулирование выводов и предложений.

Для уточнения собранной информации и получения дополнительной можно обращаться к справочникам, словарям, а также к учителю.

4. Этап оформления. Оформление результатов работы над учебным проектом, создание презентации для защиты проекта.

Чтобы презентация проекта прошла успешно, нужно отвести время для ее тщательной подготовки. Убедитесь, что все задания проекта выполнены. Подготовьте доклад. Для доклада выбирайте самое главное, излагайте свои мысли кратко, четко, понятно.

Если вы планируете презентацию проекта с компьютерной поддержкой, то заранее составьте план, в котором укажите последовательность слайдов и их соответствие тексту доклада. Ориентировочно это можно сделать так:

Содержание слайда	Содержание доклада
Тема проекта, исполнители	Сообщение темы проекта, представление исполнителей
Ключевой вопрос	Сообщение ключевого вопроса, отражающего тему и цель проекта
Материалы проекта	Рассказ об исследовании
Выводы	Оглашение выводов
Список источников	Презентация источников, использованных при работе над проектом
Благодарность	Благодарность всем, кто помогал в работе над проектом. Благодарность всем присутствующим за внимание, пожелание успехов

5. Презентационный этап. Демонстрация результатов учебного проекта, защита идеи проекта и полученных результатов.

6. Итоговый этап. Анализ выполнения задач учебного проекта, определение результатов проекта: какую пользу принес или может принести проект.

Общие правила презентации проекта

1. Делать доклад следует с хорошим настроением. Не забывайте о своем внешнем виде, следите за осанкой.
2. В начале выступления нужно представиться, сообщить о теме доклада и проблеме, над которой вы работали.
3. Во время доклада смотрите на аудиторию.
4. Слова произносите громко и четко.
5. Не читайте доклад с листа, а только сверяйтесь с заметками, чтобы ничего не пропустить.
6. Следите за временем выступления. Оно не должно превышать регламент.

Регламент — это время, отведенное на выступление. О своем регламенте следует узнать заранее, еще при подготовке к выступлению.

7. Будьте готовы ответить на вопросы. Ответ на любой вопрос желательно начинать с благодарности тому, кто его задал.
8. После завершения доклада и ответов на вопросы поблагодарите всех присутствующих за внимание.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1. Удельная теплоемкость c некоторых веществ
в разных агрегатных состояниях
Вещества в твердом состоянии

Вещество	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Вещество	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Вещество	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
Алюминий	920	Кирпич	880	Свинец	140
Графит	750	Лагунь	400	Серебро	250
Дерево (дуб)	2400	Лед	2100	Сталь	500
Железо	460	Медь	400	Цинк	400
Золото	130	Олово	230	Чугун	540

Вещества в жидком состоянии

Вещество	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Вещество	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Вещество	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
Алюминий	1080	Железо	830	Ртуть	140
Вода	4200	Керосин	2100	Спирт	2500
Гелий	4190	Масло растительное	1700	Эфир	2350

*Вещества в газообразном состоянии
(при условии неизменного давления)*

Вещество	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Вещество	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Вещество	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
Водород	14 300	Воздух	1000	Кислород	920
Водяной пар	2200	Гелий	5210	Углекислый газ	830

Таблица 2. Температура t плавления и кристаллизации
некоторых веществ (при нормальном атмосферном давлении)

Вещество	$t, ^\circ\text{C}$	Вещество	$t, ^\circ\text{C}$	Вещество	$t, ^\circ\text{C}$
Алюминий	660	Медь	1087	Серебро	962
Водород	-256	Нафталин	80	Спирт	-115
Вольфрам	3387	Олово	232	Сталь	1400
Железо	1535	Парафин	55	Титан	1660
Золото	1065	Ртуть	-39	Цинк	420
Лед	0	Свинец	327	Чугун	1200

Таблица 3. Удельная теплота плавления λ некоторых веществ*

Вещество	$\lambda, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	Вещество	$\lambda, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	Вещество	$\lambda, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Алюминий	393	Медь	213	Ртуть	12
Вольфрам	185	Никель	300	Свинец	25
Железо	270	Олово	59	Серебро	87
Золото	67	Парафин	150	Спирт	105
Лед	332	Платина	113	Сталь	84

Таблица 4. Температура кипения $t_{\text{кип}}$ некоторых веществ*

Вещество	$t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$	Вещество	$t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$	Вещество	$t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$
Вода	100	Кислород	-183	Ртуть	357
Водород	-253	Масло растительное	310	Свинец	1740
Глицерин	290	Медь	2567	Спирт	78
Железо	2750	Молоко	100	Эфир	35

Таблица 5. Удельная теплота парообразования r некоторых веществ* (при температуре кипения)

Вещество	$r, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Вещество	$r, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Вещество	$r, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$
Азот	0,2	Вода	2,3	Спирт	0,9
Аммиак	1,4	Ртуть	0,3	Эфир	0,4

Таблица 6. Удельная теплота сгорания q некоторых видов топлива

Топливо	$q, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Топливо	$q, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Паливо	$q, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$
Антрацит	30	Дрова сухие	10	Пропан	46
Бензин	46	Каменный уголь	27	Солома	14
Бурый уголь	12	Керосин	46	Спирт	27
Водород	120	Нефть	44	Сухое топливо	30
Дизельное топливо	42	Порох	4	Торф	15
Древесный уголь	34	Природный газ	44	Тротил	15

* При нормальном атмосферном давлении — 760 мм рт. ст.

Таблица 7. Удельное электрическое сопротивление ρ некоторых веществ (при температуре 20 °С)

Вещество	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Вещество	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Вещество	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
Алюминий	0,028	Никелин (сплав)	0,42	Вода дистиллированная	$10^9 - 10^{10}$
Вольфрам	0,055	Нихром (сплав)	1,1	Вода морская	$3 \cdot 10^5$
Графит	13	Олово	0,12	Воздух	$10^{21} - 10^{24}$
Железо	0,10	Платина	0,10	Древесина сухая	$10^{15} - 10^{16}$
Золото	0,024	Ртуть	0,96	Резина	$10^{17} - 10^{18}$
Константан (сплав)	0,50	Свинец	0,21	Слюда	$10^{17} - 10^{21}$
Латунь (сплав)	0,07–0,08	Серебро	0,016	Стекло	$10^{15} - 10^{19}$
Манганин (сплав)	0,43	Сталь	0,10–0,13	Фарфор	10^{19}
Медь	0,017	Фехраль (сплав)	1,3	Эбонит	$10^{18} - 10^{20}$

Таблица 8. Электрохимические эквиваленты $k, \frac{\text{мг}}{\text{Кл}}$

Алюминий (Al^{3+})	0,09	Медь (Cu^+)	0,66	Серебро (Ag^+)	1,12
Водород (H^+)	0,01	Медь (Cu^{2+})	0,33	Хлор (Cl^-)	0,37
Железо (Fe^{3+})	0,19	Натрий (Na^+)	0,24	Хром (Cr^{3+})	0,18
Кислород (O^{2-})	0,08	Никель (Ni^{2+})	0,30	Цинк (Zn^{2+})	0,34

Таблица 9. Плотность ρ некоторых веществ (при температуре 15–20 °С)
Вещества в твердом состоянии

Вещество	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\rho, \text{г/см}^3$	Вещество	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\rho, \text{г/см}^3$
Алюминий	2700	2,70	Парафин	900	0,90
Железо	7800	7,80	Платина	21 500	21,50
Золото	19 300	19,30	Свинец	11 300	11,30
Иридий	22 400	22,40	Серебро	10 500	10,50
Латунь	8500	8,50	Сосна сухая	440	0,44
Лед	900	0,90	Сталь	7800	7,80
Медь	2700	2,70	Стекло	2500	2,50
Мрамор	8900	8,90	Фарфор	2300	2,30
Никель	8900	8,90	Цинк	7100	7,10
Олово	7300	7,30	Чугун	7000	7,00

Окончание таблицы 9

Вещества в жидком состоянии

Вещество	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³	Вещество	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³
Бензин	710	0,71	Масло растительное	900	0,90
Вода	1000	1,00	Мед	1420	1,42
Дизельное топливо	840	0,84	Нефть	800	0,80
Керосин	800	0,80	Ртуть	13 600	13,60
Масло машинное	900	0,90	Спирт	800	0,80

Таблица 10. Префиксы для образования названий кратных и дольных единиц

Префикс	Символ	Множитель	Префикс	Символ	Множитель
тера-	Т	10 ¹²	санти-	с	10 ⁻²
гига-	Г	10 ⁹	милли-	м	10 ⁻³
мега-	М	10 ⁶	микро-	мк	10 ⁻⁶
кило-	к	10 ³	нано-	н	10 ⁻⁹
гекто-	г	10 ²	пико-	п	10 ⁻¹²
деци-	д	10 ⁻¹	фемто-	ф	10 ⁻¹⁵

Определяем абсолютную и относительную погрешности результата измерения

Абсолютная погрешность результата измерения — это отклонение результата измерения от истинного значения физической величины.

Абсолютная погрешность результата измерения показывает, на сколько максимально может ошибиться исследователь, правильно измеряя физическую величину.

Определить абсолютную погрешность результата измерения непросто. Нужны анализ метода измерения, качества измерительного прибора, условий опыта, знание высшей математики и т. д. Поэтому пока примем следующее: *при одном прямом измерении абсолютная погрешность будет равна цене деления шкалы измерительного прибора.*

Для записи значения абсолютной погрешности используют символ Δ (дельта), рядом приводят символ измеренной физической величины. Например, запись $\Delta V = 2 \text{ см}^3$ означает, что абсолютная погрешность результата измерения объема составляет 2 см³.

Относительная погрешность результата измерения равна отношению абсолютной погрешности к измеренному значению физической величины.

Относительную погрешность обозначают символом ε (эпсилон) и чаще всего выражают в процентах. Например, при измерении длины карандаша ученической линейкой получили результат 122 мм. В данном случае относительная погрешность результата измерения длины карандаша составляет:

$$\varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\% = \frac{1 \text{ мм}}{122 \text{ мм}} \cdot 100\% \approx 0,8\%.$$

Иногда относительную погрешность экспериментальной проверки равенства типа $X=Y$ рассчитывают по формуле $\varepsilon = \left| 1 - \frac{X}{Y} \right| \cdot 100\%.$

ОТВЕТЫ К УПРАЖНЕНИЯМ И ЗАДАНИЯМ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

Раздел I «Тепловые явления»

Часть 1. Температура. Внутренняя энергия. Теплопередача

№ 1. 2. Жидкость. 3. Иначе термометр изменит температуру тела. 5. а) 1 °С, 22 °С; б) 5 °С, 15 °С.

№ 2. 1. а, б. 2. Увеличится, так как увеличится расстояние между атомами и молекулами. 3. Объем увеличивается, масса не изменяется, плотность уменьшается, средняя скорость движения частиц увеличивается. 4. При температуре ниже 0 °С вода превратится в лед, а при температуре от 0 до 4 °С столбик термометра будет опускаться. 5. С изменением температуры изменяются размеры деталей прибора, поэтому точность прибора снижается. 6. Стакан может лопнуть; внутренние слои стекла расширятся сильнее, чем внешние. 7. Потенциальная → кинетическая; переходит в энергию теплового движения атомов и молекул.

№ 3. 1. Нет. 2. Внутренняя энергия не изменяется, кинетическая энергия уменьшается, потенциальная увеличивается. 3. Заходите в дом — внутренняя энергия увеличивается, механическая не изменяется; поднимаетесь — внутренняя энергия не изменяется, механическая (потенциальная) увеличивается; ускоряете движение — внутренняя энергия не изменяется, механическая (кинетическая) увеличивается. 4. Внутренняя энергия увеличилась, механическая (потенциальная) уменьшилась. 5. 1–Д, 2–А, 3–Г, 4–В.

№ 4. 1. Речь идет о двух способах изменения внутренней энергии рук: осуществление работы и теплопередача. 2. а) потереть головку спички о коробку; б) зажечь в пламени. 3. Чтобы не получить ожогов из-за трения рук о поверхность каната. 4. Нет. 5. Да, может.

№ 5. 1. Шуба не греет, а сохраняет тепло. 2. Воздух, находящийся между рамами, плохо проводит тепло. 3. Солома плохо проводит тепло и препятствует попаданию солнечных лучей. 4. Снег плохо проводит тепло и защищает растения от низких температур. 5. Более высокая теплопроводность металлов по сравнению с деревом приводит к тому, что металлы быстрее отводят тепло от нашей руки или передают ей тепло. Поэтому при температуре, которая ниже нашей собственной, металлы будут казаться более холодными, чем дерево, а при температуре, которая выше нашей собственной, — более теплыми. При температуре, равной нашей собственной, и металлические, и деревянные предметы будут казаться нагретыми одинаково. 6. При увеличении температуры шар будет подниматься, при уменьшении температуры — опускаться.

№ 6. 1. Температура языков пламени выше температуры окружающего воздуха. 2. Вода плохо проводит тепло, а конвекция отсутствует. 3. Чтобы нагреть — над нагревателем, чтобы охладить — под льдом. 4. Облака «держатся» конвекционными потоками воздуха.

№ 7. 1. Тела с темной поверхностью лучше излучают тепло. 2. В белый или серебристый. 3. Тела с темной поверхностью лучше поглощают тепло. 4. В солнечный день. 5. Отсутствие воздуха служит причиной отсутствия теплопроводности и конвекции, а зеркальная поверхность мешает передаче тепла излучением. 6. Воздух нагревается от поверхности Земли; степень нагретости зависит, в частности, от цвета поверхности. 7. Масса, m , кг; температура, t , °С; плотность, ρ , кг/м³; количество теплоты, Q , Дж.

№ 8. 1. Чтобы нагреть 1 кг серебра на 1 °С, нужно передать ему 250 Дж теплоты. 2. Вода имеет наибольшую теплоемкость, поэтому, охлаждаясь, она отдает окружающей среде значительное количество теплоты. 3. 1,2 кДж. 4. Из стали. 5. Не зависит ни от массы, ни от изменения температуры, ни от количества переданной теплоты. 6. 540,8 кДж. 7. 10,5 м.

№ 9. 1. 16 л. 2. 70 °С. 3. 130 °С. 4. $250 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$.

Часть 2. Изменение агрегатного состояния вещества. Тепловые двигатели

№ 10. 1. в. 2. Молекулы не изменились. Расстояние между молекулами увеличилось. В воде молекулы в основном колебались возле положений равновесия, время от времени пере-

мещаая по жидкости. В паре молекулы воды стали двигаться по ломаным траекториям, изменяя направление своего движения при столкновениях. 3. Нет; газ займет весь предоставленный ему объем. 4. Нет; над поверхностью воды есть водяной пар. 5. Нет; мы видим туман — очень маленькие капельки воды. 7. а, г.

№ 11. 1. Вольфрам имеет высокую температуру плавления. 2. А — твердому, В — жидкому, С — жидкому, D — часть вещества еще находится в жидком состоянии, часть — уже в жидком. 3. 1 — нафталин, 2 — вода; большую температуру плавления имеет нафталин; в начале опыта более высокую температуру имел нафталин. 4. Если температура окружающей среды меньше 0 °С, вода будет замерзать; больше 0 °С — лед будет таять; 0 °С — ни лед, ни вода не будут изменять своего состояния. 6. а, б, в, д.

№ 12. 1. 106,5 кДж. 2. 1 кг расплавленного алюминия; на 393 кДж. 3. 78,4 МДж. 4. ≈10,1 кДж. 5. 79 °С. 6. Выше температура плавления — у вещества 1; больше удельная теплота плавления — у вещества 2; больше теплоемкость — у вещества 2. 7. 0,12. 8. Да, уменьшится.

№ 13. 1. В теплую; средняя кинетическая энергия молекул больше. 2. Спирт быстрее испаряется. 3. При испарении вода поглощает энергию. 4. Потовые железы собаки расположены только на языке, вследствие испарения воды животное охлаждается. 5. Мы видим туман: водяной пар, который содержится в выдыхаемом нами воздухе, конденсируется. 6. Снег тает, образовавшаяся вода испаряется, а затем конденсируется в холодном воздухе.

№ 14. 1. С увеличением высоты уменьшается атмосферное давление, поэтому уменьшается температура кипения воды. 2. Внутренняя энергия 1 кг водяного пара при температуре 100 °С больше внутренней энергии 1 кг воды при той же температуре на 2,3 МДж. 3. 23 МДж. 4. При конденсации водяного пара выделяется энергия. 5. 30,52 МДж. 6. Нет; для поддержания кипения нужна энергия, а теплообмен не происходит.

№ 15. 1. Порох сгорает быстрее. 2. 270 МДж. 3. 2 г. 4. 35 %. 5. 100 °С, часть воды превратится в пар. 6. Часть энергии расходуется на испарение. 7. 1—Б, 2—В, 3—Г, 4—Д.

№ 16. 1. 25 %. 2. 33,3 %. 3. 65,32 МДж. 4. 11,5 кВт.

№ 17. 1. Энергия, «скрытая» в топливе → внутренняя энергия пара → кинетическая энергия вращательного движения турбины → электрическая энергия. На каждом этапе часть энергии передается окружающей среде. 2. 45,5 %. 3. Над смесью выполняют работу, поэтому ее внутренняя энергия, а следовательно, и температура увеличиваются. 4. Пар выполнил работу, поэтому его внутренняя энергия, а следовательно, и температура уменьшаются.

Задания для самопроверки к разделу I

Часть 1

Номер задания	1	2	3	4	5	7	9
Ответ	г	б	б	а	а	в	а, б

6. Темная одежда лучше поглощает солнечное излучение. 8. И ватный халат, и шуба плохо проводят тепло, ведь между ворсинками содержится много воздуха; житель Севера не отдаст много тепла окружающей среде, а житель пустыни — не получает. 10. 369 кДж. 11. 5,1 кДж. 12. На 600 °С. 13. На 50,4 °С. 14. 43,75 м. 15. 5 °С.

Часть 2

Номер задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	г	г	в	а	б	в	г	в	1—В, 2—А, 3—Б	в

11. В легких активно испаряется вода, и на этот процесс тратится довольно большая энергия. 12. При сжатии над смесью выполняется работа, поэтому ее внутренняя энергия, а следовательно, и температура увеличиваются; во время рабочего хода газ, расширяясь, выполняет работу, поэтому его внутренняя энергия уменьшается. 13. 75 %. 14. 8,94 кДж. 15. 250 °С. 16. 1,95 г. 17. 40,3 кВт, 1 кН.

Раздел II «Электрические явления. Электрический ток»

Часть 1. Электрический заряд. Электрическое поле. Электрический ток

№ 19. 1. 1 — положительный, 2 — отрицательный. 2. Потереть палочку о шерсть (палочка приобретет отрицательный заряд) и поднести ее к бумажному шару. Если шар оттолкнется, то он заряжен отрицательно, если притянется — заряжен положительно. 3. 10 электронов. 4. $6,25 \cdot 10^{18}$ электронов. 6. Сила тяжести; $F_{\text{тяж}} = 50$ мН; вертикально вниз.

№ 20. 1. Между пластинами 3 и 4; пластины 1 и 3 заряжены положительно, 2 и 4 — отрицательно. 2. 1) Начинаются в бесконечности, заканчиваются на отрицательном заряде (а), начинаются на положительном заряде, заканчиваются на отрицательном (б); 2) на обоих рисунках — тот, что справа. 3. 32 мкН; верхняя пластина заряжена положительно, нижняя — отрицательно. 4. 32 мН. 6. Может, потеряла 5 электронов; не может; может, потеряла 15 электронов.

№ 21. 1. Масса положительно заряженной палочки меньше. 2. Может, если передать электроскопу такой же по модулю, но противоположный по знаку заряд. 3. Заряжена положительно. 4. $q_1 = q_2 = 3 \cdot 10^{-9}$ Кл. 5. Сначала заземлить незаряженный шарик и поднести к нему, не прикасаясь, заряженный — первый шарик приобретет положительный заряд. Потом убрать заземление и повторить опыт с шариком, заряженным положительно, и еще с одним незаряженным шариком — последний приобретет отрицательный заряд.

№ 22. 1. а — силы отталкивания; б — силы притяжения. 2. Увеличится в 4 раза. 3. Увеличилась в 3 раза. 4. 3,6 мкН. 5. 0,625 мкН. 6. Сильнее в случае а: заряды не являются точечными, и в шариках произойдет перераспределение зарядов. 7. 1—Б, 2—Д, 3—В, 4—А.

№ 23. 2. Материал должен быть диэлектриком. 3. Влажный воздух является проводником. 4. Металл является проводником; чтобы заряд не перетекал на руку исследователя; второй электроскоп останется незаряженным. 5. Движутся хаотично. 7. 1) А — отрицательный, Б — положительный; 2) а) останутся, б) не останутся.

№ 24. 3. Воздух в канале молнии нагревается (ток оказывает тепловое действие) и резко расширяется. 5. 18 кг.

№ 25. 1. а) Электрическая энергия → химическая энергия; б) химическая энергия → электрическая энергия. 2. Соединить один электроскоп с отрицательным полюсом источника тока, второй — с положительным. 3. Механическая энергия → электрическая энергия. 4. Элемент не будет работать. 6. $\approx 84,8$ тыс. т.

№ 26. 6. Время, t , секунда (с); сила, F , ньютон (Н); электрический заряд, q , кулон (Кл); механическая работа, A , джоуль (Дж).

№ 27. 2. 2 мин. 3. Тока не будет; $I = 0$. 4. 180 Кл. 5. 3,2 А.

№ 28. 1. а) 1 В, 4 В; б) 0,5 В, 6 В; в) 1 В, 7 В. 3. 40 В. 4. 12 В. 5. 396 кДж. 7. 2,5 кН/м; не зависит.

№ 29. 1. 15 Ом. 2. $R_1 = 2$ Ом; $R_2 = 2,5$ Ом; $R_3 = 4$ Ом; $R_4 = 8$ Ом. 3. 225 В. 5. 60 Ом. 6. 0,25 А. 7. Не зависит. 8. 28 г.

№ 30. 1. 1 — из меди, 2 — из железа, 3 — из свинца. 2. 5 мОм. 3. Сопротивление уменьшится; сила тока увеличится. 4. 2 м. 5. Уменьшилось в 4 раза. 6. 1,08 кг.

№ 31. 1. 4 Ом; 2 В; 1 В, 1 В. 2. 35 Ом. 3. 48 В. 4. 250 Ом. 5. 0,2 А; 5,6 В. 6. Можно. 7. 3,6 кОм. 8. Потенциальная энергия → кинетическая, внутренняя энергии; 2,4 Дж, 1,68 Дж; 4,08 Дж.

№ 32. 2. 144 В. 3. 0,6 А; 0,4 А; 1 А. 4. В серебряном. 5. 10 Ом; 0,4 А. 6. 2,3 В. 7. R_2 ; 0,4 А. 8. 9 сопротивлений (10 разных соединений): $4R_0$; $R_0/4$; R_0 ; $4R_0/3$; $3R_0/4$; $5R_0/2$; $2R_0/5$; $5R_0/3$; $3R_0/5$. 9. 17,5 мОм.

Часть 2. Работа и мощность электрического тока.

Электрический ток в разных средах

№ 33. 1. 876 кВт·ч; 399 грн 46 к. 3. 7,2 кДж. 4. а) 300 кДж, 120 кДж; б) 24,5 кДж, ≈61,2 кДж. 5. 12,5 А. 6. При параллельном соединении; в 4 раза. 8. 1–Г, 2–Б, 3–Д, 4–А.

№ 34. 1. 288 кДж. 2. 5 кДж; 2,5 кДж. 3. Сопротивление проводов значительно меньше сопротивления нити накала, а сила тока в нити и подводящих проводах одинакова. 4. 120,4 В. 5. 47 °С; 33,5 °С. 6. ≈9,25 м. 7. $Q_{\text{м}}/Q_{\text{св}}=9,5$.

№ 35. 1. 1,32 кВт. 2. В местах соединения наибольшее сопротивление, поэтому (согласно закону Джоуля — Ленца) выделяется наибольшее количество теплоты. 3. Вещество должно быть легкоплавким и иметь малую удельную теплоту плавления. 4. Площадь поперечного сечения провода в осветительном шнуре мала (шнур рассчитан на небольшую силу тока), поэтому сопротивление велико. При силе тока 100 А в шнуре выделится огромное количество теплоты и шнур загорится. 6. а, в.

№ 36. 1. В направлении, противоположном направлению силовых линий поля. 2. а. 3. С уменьшением площади поперечного сечения увеличивается сопротивление и (согласно закону Джоуля — Ленца) выделяется большее количество теплоты; тонкое место нагревается и удлиняется быстрее. В момент включения сопротивление нити накала наименьшее, поэтому при том же напряжении выделяется наибольшее количество теплоты. 4. 0,5 мм/с. 5. а) $+3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл; б) $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

№ 37. 2. В обычной (то есть не дистиллированной) воде много примесей, которые распадаются на ионы. 3. Соль имеет ионную кристаллическую решетку, а сахар — нет. 4. 12 ч 24 мин. 5. 4 кВт. 7. 2,31 г.

№ 38. 1. 1) Электролитическая ванна с раствором AgNO_3 , два электрода, амперметр, батарея аккумуляторов, ключ, соединительные провода; 2) справа — анод, слева — катод; 3) на катоде; 4) 1,4 А; 5) 26 мин 47 с; 6) 24,75 кДж. 2. 2 мкм. 3. 5 ч. 4. 32 МДж. 5. Проводники: 2, 4, 5, 6; диэлектрики: 1, 3, 7, 8.

№ 39. 1. Силовые линии поля начинаются на положительно заряженной пластине, заканчиваются на отрицательно заряженной; отрицательные ионы и электроны движутся к положительно заряженной пластине, положительные ионы — к отрицательно заряженной; нейтральные частицы движутся хаотично. 2. Рекомбинация будет происходить чаще, ионизация — реже. 3. Электролитическая диссоциация не сопровождается возникновением свободных электронов, для ее протекания не нужен ионизатор; вещество распадается на ионы разных элементов. 4. Электрический ток в металлах не сопровождается химическими реакциями; носителями заряда являются свободные электроны, а не ионы.

Задания для самопроверки к разделу II

Часть 1

Номер задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ответ	а	б	в	1–В, 2–А, 3–Д, 4–Г	1–Б, 2–Д, 3–В, 4–А	г	а	1–Б, 2–В, 3–Г, 4–А	1–В, 2–А, 3–Б

10. Заземлить незаряженный шарик и приблизить его к заряженному. 11. Увеличилось в 4 раза. 12. 0,2 А; 0,6 В; 1,2 В. 13. 4 А. 14. 10 мкН. 15. $U_1=6$ В; $U=9$ В. 16. Показание вольтметра V_1 не изменится; V_2 — увеличится; V_3 — уменьшится; показание амперметра А увеличится.

Часть 2

Номер задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ответ	в	г	1–Д, 2–Б, 3–А, 4–В	в	г	в	а	в	в

10. 24 Вт; 48 Вт; 72 Вт. 11. 1,75 А. 12. На 1,1 °С. 13. 6 Вт; 6 Вт; 24 Вт. 14. 18 мкм.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- А** Агрегатное состояние 44
Ампер 142
Амперметр 143
Анод 200
- Б** Брыз 27
- В** Вольт 146
Вольт-амперная характеристика 151
Вольтметр 147
- Г** Газовый разряд 209
— несамостоятельный 209
— самостоятельный 210
— — дуговой 216
— — искровой 213
— — коронный 215
— — тлеющий 217
Гальванический элемент 132
Гальванометр 132
Гальванопластика 205
Гальваностегия 205
- Д** Двигатель внутреннего сгорания 83
Диполь электрический 199
Диэлектрики 125
- З** Заземление 114
Закон
— Джоуля — Ленца 186
— Кулона 121
— Ома для участка цепи 152
— сохранения электрического заряда 113
— Фарадея для электролиза 201
Заряд
— точечный 119
— электрический 103
- И** Излучение 31
Ионизация 209
Испарение 60
Источники электрического тока 131
- К** Катод 200
Кипение 67
Количество теплоты 19
Конвекция 26
Конденсация 63
Коэффициент полезного действия
— нагревателя 76
— теплового двигателя 80
Кристаллизация 52
Кулон 103, 143
- М** Молния 213
Мощность электрического тока 181
- Н** Наноматериалы 48
Напряжение электрическое 146
- О** Ом 151
- П** Парообразование 60
Плавление 51
Плазма 44
Поляризация 115
Предохранитель 191
Проводники 125
- Р** Работа электрического тока 180
Рафинирование 204
Реостат 156
- С** Сверхпроводимость 196
Сила
— Кулона 121
— тока 141
— электрическая 107
Силовые линии электрического поля 109
Соединение проводников
— параллельное 170
— последовательное 162
— смешанное 174
Сопротивление электрическое 151
- Т** Температура 7, 8
— кипения 67, 230
— плавления и кристаллизации 51, 229
Тепловое равновесие 7
Тепловое расширение 12
Тепловой двигатель 79
Теплопередача 19
Теплопроводность 23
Термометр 8
Топливо 73
Турбина паровая 83
- У** Удельная теплоемкость 34, 229
Удельная теплота парообразования 68, 230
Удельная теплота плавления 56, 230
Удельная теплота сгорания топлива 74, 230
Удельное сопротивление 155, 231
Уравнение теплового баланса 37
- Ш** Шкала температурная
— Кельвина 9
— Цельсия 9
- Э** Электризация 103
— трением 112
— через влияние (электростатическая индукция) 115
Электрическая схема 137
Электрическая цепь 136
Электрический ток 124
Электрическое поле 107
Электролиз 201
Электролитическая диссоциация 199
Электролиты 200
Электромагнитное взаимодействие 102
Электрометр 117
Электроскоп 116
Электросчетчик 180
Электрохимический эквивалент 201, 231
Энергия внутренняя 16

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
-------------------	---

Раздел I. Тепловые явления

Часть 1. Температура. Внутренняя энергия. Теплопередача

§ 1. Тепловое состояние тел. Температура и ее измерение	6
§ 2. Зависимость размеров физических тел от температуры	11
§ 3. Внутренняя энергия	16
§ 4. Способы изменения внутренней энергии	19
§ 5. Теплопроводность	22
§ 6. Конвекция	26
§ 7. Излучение	30
§ 8. Удельная теплоемкость вещества. Количество теплоты, которое поглощает вещество при нагревании или выделяет при охлаждении ...	33
§ 9. Тепловой баланс	37
<i>Лабораторная работа № 1</i>	40
<i>Лабораторная работа № 2</i>	41

Часть 2. Изменение агрегатного состояния вещества. Тепловые двигатели

§ 10. Агрегатное состояние вещества. Наноматериалы	44
§ 11. Плавление и кристаллизация	51
§ 12. Удельная теплота плавления	56
§ 13. Испарение и конденсация.	60
§ 14. Кипение. Удельная теплота парообразования	66
§ 15. Теплота сгорания топлива. Коэффициент полезного действия нагревателя	72
§ 16. Принцип действия тепловых двигателей. КПД теплового двигателя.	79
§ 17. Некоторые виды тепловых двигателей	82
§ 18. Теплоэнергетика. Способы сохранения энергетических ресурсов	87
Подводим итоги раздела I	92
Задание для самопроверки к разделу I	94
Энциклопедическая страница	98
Ориентировочные темы проектов. Темы рефератов и сообщений.	
Темы экспериментальных исследований.	100

Раздел II. Электрические явления. Электрический ток

Часть 1. Электрический заряд. Электрическое поле. Электрический ток

§ 19. Электрический заряд и электромагнитное взаимодействие	102
§ 20. Электрическое поле.	106
§ 21. Механизм электризации. Электроскоп	112
§ 22. Закон Кулона.	119
§ 23. Электрический ток. Электрическая проводимость материалов	123
§ 24. Действия электрического тока.	127
§ 25. Источники электрического тока	130
§ 26. Электрическая цепь и ее элементы	135

§ 27. Сила тока. Единица силы тока. Амперметр 141

§ 28. Электрическое напряжение. Единица напряжения. Вольтметр 146

§ 29. Электрическое сопротивление. Закон Ома 150

§ 30. Расчет сопротивления проводника. Удельное сопротивление
вещества. Реостаты 154

Лабораторная работа № 3 160

§ 31. Последовательное соединение проводников 162

Лабораторная работа № 4 168

§ 32. Параллельное соединение проводников 170

Лабораторная работа № 5 177

 Часть 2. Работа и мощность электрического тока. Электрический ток
 в разных средах

§ 33. Работа и мощность электрического тока 179

§ 34. Тепловое действие тока. Закон Джоуля — Ленца 186

§ 35. Электрические нагревательные устройства. Предохранители 190

§ 36. Электрический ток в металлах 194

§ 37. Электрический ток в электролитах 198

§ 38. Применение электролиза 204

§ 39. Электрический ток в газах 208

§ 40. Виды самостоятельных газовых разрядов 213

Подводим итоги раздела II 218

Задание для самопроверки к разделу II 220

Энциклопедическая страница 234

Ориентировочные темы проектов. Темы рефератов и сообщений.
Темы экспериментальных исследований 226

Этапы работы над учебным проектом 227

Приложение 229

*Таблица 1. Удельная теплоемкость некоторых веществ в разных
агрегатных состояниях* 229

*Таблица 2. Температура плавления и кристаллизации некоторых
веществ* 229

Таблица 3. Удельная теплота плавления некоторых веществ 230

Таблица 4. Температура кипения некоторых веществ 230

Таблица 5. Удельная теплота парообразования некоторых веществ 230

Таблица 6. Удельная теплота сгорания некоторых видов топлива 230

Таблица 7. Удельное электрическое сопротивление некоторых веществ 231

Таблица 8. Электрохимические эквиваленты 231

Таблица 9. Плотность некоторых веществ 231

*Таблица 10. Префиксы для образования названий кратных и дольных
единиц* 232

*Определяем абсолютную и относительную погрешности результата
измерения* 232

Ответы к упражнениям и заданиям для самопроверки 233

Алфавитный указатель 237

Сведения о состоянии учебника

№ п/п	Фамилия и имя ученика/ученицы	Учебный год	Состояние учебника	
			в начале года	в конце года
1				
2				
3				
4				
5				

Интернет-поддержка
Чтобы воспользоваться
электронными материалами
к учебнику, зайдите на сайт
interactive.ranok.com.ua



Служба технической поддержки:
тел. (057) 719-48-65, (098) 037-54-68
(понедельник — пятница с 10:00 до 18:00)
E-mail: interactive@ranok.com.ua

Навчальне видання

*БАР'ЯХТАР Віктор Григорович, БОЖИНОВА Файна Яківна,
ДОВГИЙ Станіслав Олексійович, КІРЮХІНА Олена Олександрівна*

«ФІЗИКА»

**підручник для 8 класу загальноосвітніх навчальних закладів
з навчанням російською мовою**
За редакцією В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого
(російською мовою)

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Провідний редактор *І. Л. Морева*. Редактор *О. В. Костіна*.
Технічний редактор *В. І. Труфен*. Комп'ютерна верстка *С. В. Яшиш*. Коректор *Н. В. Красна*

Підписано до друку 04.07.2016. Формат 70×100/16.
Папір офсетний. Гарнітура Шкільна. Друк офсетний.
Ум. друк. арк. 19,50. Обл.-вид. арк. 25,35.
Наклад 43 306 прим. Зам. № 31106-16

ТОВ Видавництво «Ранок».

Свідцтво ДК № 3322 від 26.11.2008. 61071 Харків, вул. Кібальчича, 27, к. 135.
Адреса редакції: 61145 Харків, вул. Космічна, 21а, 7 поверх. E-mail: office@ranok.com.ua
Тел. (057) 701-11-22, 719-48-65, тел./факс (057) 719-58-67.
www.ranok.com.ua

Під час підготовки видання були використані фотоматеріали із сайтів:
freepik.com; freeimages.com; morguefile.com; freebiefoto.com;
uk.wikipedia.org; pixabay.com; stocksnap.com

Надруковано у друкарні ТОВ «Тріада Принт»
м. Харків, вул. Киргизська, 19. Тел. (057) 703-12-21. E-mail: sale@triada.kharkov.ua

ЧТО НЕОБХОДИМО ЗНАТЬ

О физическом явлении

- 1) внешние признаки явления, условия, при которых оно происходит;
- 2) связь данного явления с другими;
- 3) какие физические величины характеризуют данное явление;
- 4) возможности практического использования, способы предупреждения негативных последствий явления

О приборе или устройстве

- 1) назначение;
- 2) устройство;
- 3) принцип действия;
- 4) сфера применения и правила пользования;
- 5) преимущества и недостатки

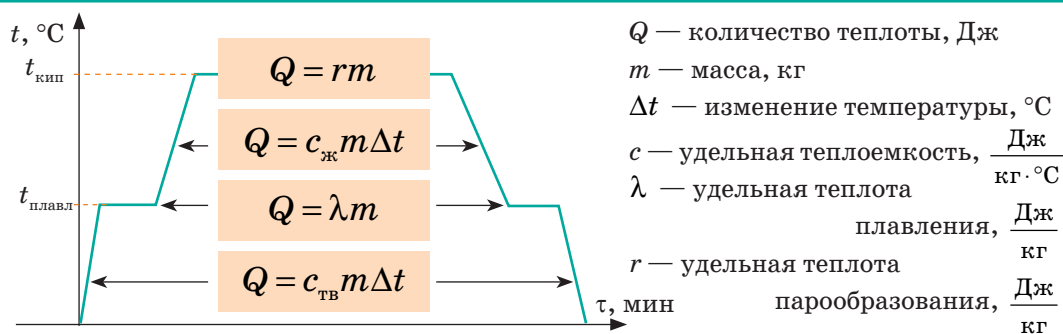
О физической величине

- 1) символ для обозначения;
- 2) свойство, которое характеризует данная физическая величина;
- 3) определение (дефиниция);
- 4) формула, положенная в основу определения, связь с другими физическими величинами;
- 5) единицы;
- 6) способы измерения

О физическом законе

- 1) формулировка, связь между какими явлениями или физическими величинами устанавливает данный закон;
- 2) математическое выражение;
- 3) эксперименты, которые привели к установлению закона или подтверждают его справедливость;
- 4) границы применения

КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ



Удельная теплота сгорания топлива, Дж/кг

$$Q = qm$$

Коэффициент полезного действия

$$\eta_{\text{нагр}} = \frac{Q_{\text{полезн}}}{Q_{\text{полн}}} \cdot 100 \%$$

$$\eta_{\text{тепл. дв}} = \frac{A_{\text{полезн}}}{Q_{\text{полн}}} \cdot 100 \%$$

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД

Электрический заряд

Электрический заряд, Кл

Количество электронов

$$|q| = N |e|$$

Модуль заряда электрона, $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл

Закон Кулона

Сила Кулона, Н

Расстояние между зарядами, м

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

Коэффициент пропорциональности, $9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$

Закон сохранения электрического заряда

Сумма зарядов до взаимодействия

$$q_{01} + q_{02} + \dots + q_{0n} = q_1 + q_2 + \dots + q_n$$

Сумма зарядов после взаимодействия

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Сила тока

Сила тока, А

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

Время, с

Напряжение

Электрическое напряжение, В

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

Работа тока, Дж

Сопротивление

Удельное сопротивление, Ом · м

Длина, м

Сопротивление, Ом

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Площадь поперечного сечения, м²

Закон Ома

Сила тока, А

Напряжение, В

$$I = \frac{U}{R}$$

Сопротивление, Ом

Виды соединения проводников

Последовательное

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Параллельное

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Закон Фарадея

Электрохимический эквивалент, $\frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$

$$m = kIt$$

Масса, кг

Сила тока, А

Время электролиза, с

$$m = kq$$

Электрический заряд, Кл

Работа тока

Работа тока, Дж

Напряжение, В

$$A = UIt$$

Сила тока, А

Время прохождения тока, с

Мощность тока

Мощность тока, Вт

Сила тока, А

$$P = UI$$

Напряжение, В

Закон Джоуля—Ленца

Количество теплоты, Дж

Время, с

$$Q = I^2 R t$$

Сила тока, А

Сопротивление, Ом

ИНСТРУКЦИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ УЧАЩИХСЯ ВО ВРЕМЯ ЗАНЯТИЙ В КАБИНЕТЕ ФИЗИКИ

1 Общие положения

- 1.1. В кабинете физики учащиеся должны соблюдать данную инструкцию по безопасности и правила внутреннего распорядка учебного заведения, расписание учебных занятий, установленные нормы и режимы работы и отдыха.
- 1.2. Учащиеся могут находиться в кабинете физики только в присутствии учителя или лаборанта.
- 1.3. О любом несчастном случае, произошедшем во время занятий, следует немедленно сообщить учителю.
- 1.4. О выходе из строя или неисправности оборудования следует немедленно сообщить учителю.

2 Требования безопасности в экстремальных ситуациях

- 2.1. В случае получения травмы или в случае плохого самочувствия немедленно сообщите об этом учителю.
- 2.2. При возникновении возгорания, пожара и т. д. немедленно сообщите об этом учителю.
- 2.3. В случае эвакуации четко выполняйте указания учителя.

3 Требования безопасности перед началом работы

- 3.1. Четко уясните порядок и правила безопасного проведения опыта.
- 3.2. Освободите рабочее место от всех не нужных для работы предметов.
- 3.3. Проверьте наличие и надежность соединительных проводов, приборов и других предметов, необходимых для выполнения задания.
- 3.4. Начинайте выполнять работу только с разрешения учителя.
- 3.5. Выполняйте только те задания, которые предусмотрены в работе или поручены учителем.

4 Требования безопасности во время выполнения работы

- 4.1. Работайте только на своем рабочем месте.
- 4.2. Будьте внимательны и дисциплинированы, точно выполняйте указания учителя.
- 4.3. Размещайте приборы, материалы, оборудование на своем рабочем месте так, чтобы они не могли упасть или перевернуться.
- 4.4. Во время проведения опытов не допускайте предельных нагрузок измерительных приборов.
- 4.5. Следите за исправностью всех креплений в приборах и устройствах. Не прикасайтесь к вращающимся частям машин и не наклоняйтесь над ними.
- 4.6. Для сборки экспериментальных установок пользуйтесь проводниками с клеммами и предохранительными чехлами с крепкой изоляцией и без видимых повреждений.
- 4.7. Не включайте электрическое оборудование без разрешения учителя. Ни в коем случае не устраняйте неисправности электросети и электрооборудования самостоятельно.
- 4.8. Собирая электрическую цепь, избегайте пересечения проводников; запрещается пользоваться проводниками с ненадлежащей изоляцией и выключателями открытого типа.
- 4.9. Источник тока включайте в электрическую цепь в последнюю очередь. Собранный цепь замыкайте только после проверки и с разрешения учителя. Наличие напряжения в цепи можно проверять только специальными приборами или индикаторами напряжения.
- 4.10. Не прикасайтесь к элементам цепи, не имеющим изоляции и находящимся под напряжением. Не выполняйте повторно соединение в цепях и не заменяйте предохранители до выключения источника электропитания.
- 4.11. Пользуйтесь инструментами с заизолированными ручками.
- 4.12. Не оставляйте рабочее место без разрешения учителя.
- 4.13. Выявив неисправность в электрических устройствах, находящихся под напряжением, немедленно сообщите об этом учителю.
- 4.14. Для подключения потребителей к сети пользуйтесь штепсельными соединениями.

5 Требования безопасности после окончания работы

- 5.1. После окончания работы уберите свое рабочее место. Уборку выполняйте только с разрешения учителя.
- 5.2. Электрическую цепь разбирайте только после отключения источника электропитания.