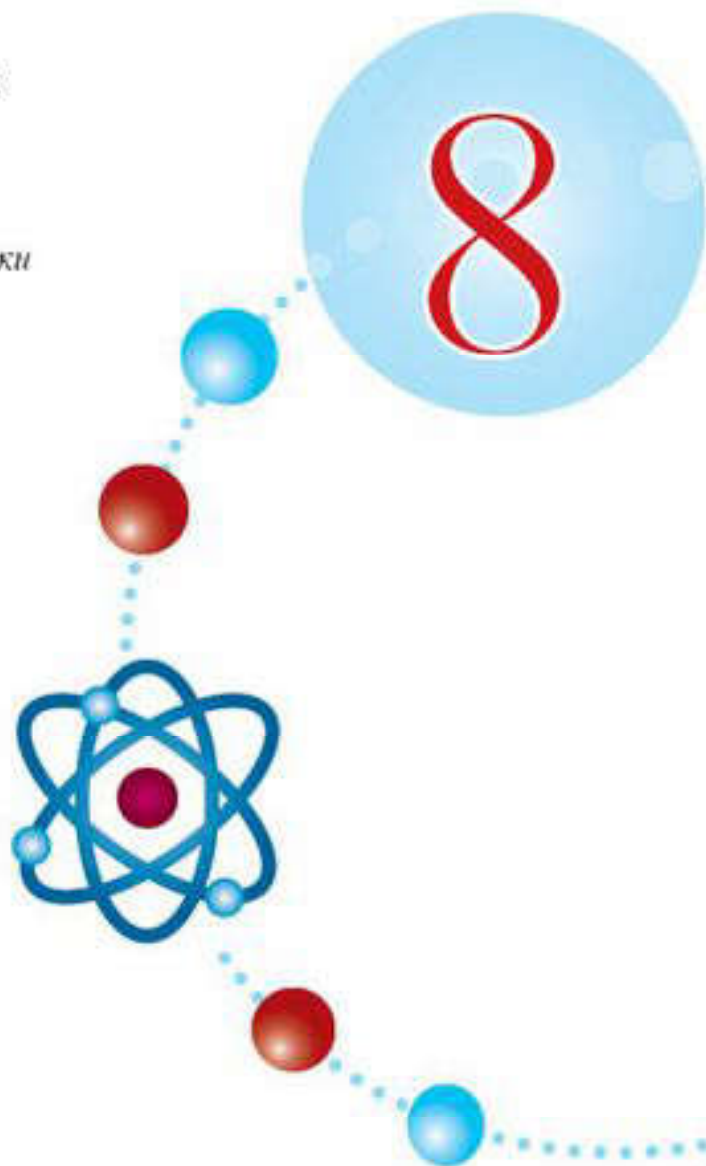


Б. А. Кронгарт
Ш. Б. Насохова

ФИЗИКА

Учебник для 8 классов
общеобразовательных школ

*Утверждено Министерством
образования и науки Республики
Казахстан*



Алматы "Мектеп" 2018

УДК 373.167.1
ББК 22.3я72
К76

Кронгарт Б. А., Насохова Ш.Б.
К76 **Физика**, Учебник для 8 кл. общеобразоват. шк. — Алматы: Мектеп,
2018. — 232 с.

ISBN 978—601 —07—0971 —3

К $\frac{4306021200—051}{404(05)—18}$ 29(1)—18

УДК 373.167.1
ББК 22.3я72

© Кронгарт Б. А.,
Насохова Ш. Б., 2018
© Издательство "Мектеп",
художественное оформление, 2018

Все права защищены

Имущественные права на издание
принадлежат издательству "Мектеп"

ISBN 978—601 —07—0971 —3

Глава 1
Тепловые явления

Глава 2
Агрегатные состояния вещества

Глава 3
Основы термодинамики

Глава 4
Основы электростатики

Глава 5
Постоянный электрический ток

Глава 6
Электромагнитные явления

Глава 7
Световые явления



Условные обозначения:

задания для развития критического мышления



Экспериментальные задания



Упражнения



Практические задания



Вопросы для самоконтроля

■ Задания средней сложности

* Задания повышенной сложности

Материал для дополнительного чтения

Предисловие

Дорогие учащиеся!

В 7 классе вы начали изучать физику и убедились, что физика — очень интересная наука, а мир, окружающий нас, прекрасен и удивителен. В этом году вы продолжите изучать этот мир и узнаете, что есть еще более удивительные явления, установите законы, которым они подчиняются. А зная законы, сможете не только описывать явления, но и предсказывать их дальнейший ход.

К материалу, изложенному в каждом параграфе, относитесь аналитически, стараясь понять суть изученного. Полученные знания учитесь использовать на практике и находить явления, похожие на изученные.

В конце каждого параграфа есть вопросы, ответив на которые вы сможете определить уровень усвоенного вами изученного материала. Вопросы и задания имеют разный уровень сложности и развивают критическое мышление.

В начале параграфа даны ключевые слова, которые несут краткую информацию об учебном материале. Там же указаны учебные цели, которые необходимо усвоить после изучения параграфа.

Изложение теоретического материала сопровождается дополнительным историческим материалом, а также интересными фактами. Для этого включены рубрики “Это вы знаете”, “Это интересно”, “Запомните”.

Особое внимание следует обратить на примеры решения задач, где показано их правильное оформление и можно проследить за ходом мыслей в процессе решения. После этого вы научитесь применять теоретические знания при решении задач разного уровня сложности и задач, имеющих практическое применение. Желательно решать задачи самостоятельно, но в случае затруднений можно прорешать их, работая в паре или в группе. Такие формы работы помогут вам научиться анализировать свою работу, давать обратную связь и делать выводы.

Физика — экспериментальная наука. Наблюдения, эксперименты лежат в основе создания теории, они же являются практическим подтверждением теории. Поэтому в учебнике, кроме практических и экспериментальных заданий, вам предлагаются задания по изготовлению самодельных приборов из подручных средств.

Для систематизации знаний в конце главы вы повторите изученное в разделе “Самое главное”, в котором изложена квинтэссенция материала темы.

В конце учебника дано описание лабораторных работ, выполнение которых позволит приобрести экспериментальные навыки.

Для того чтобы добиться успеха в жизни, необходимы знания, настойчивость и вера в себя.

Помните: знание — это сила!

Трудолюбие и упорство позволят вам достичь успехов в учебе.

Авторы

Тепловые явления

ГЛАВА

1

Нам хорошо известно, что означают слова "тепло", "холодно", это мы чувствуем через свои органы осязания. Мы знаем, что, когда холодно, температура низкая, когда жарко, она высокая.

Но что такое температура? Как ее измеряют? Как устроен термометр? Каким образом передается теплота?



Природа нашей Земли многообразна и прекрасна, населяющие ее живые организмы также многообразны. Животный мир Арктики с ее суровым климатом сильно отличается от животных пустынь.

Как они приспосабливаются к местным условиям? Какую роль играют тепловые явления в природе и жизни живых организмов?



С давних времен люди пользовались разными видами топлива.

Какие виды топлива активно используются в современном обществе? Как можно рассчитать количество теплоты при сжигании топлива?



1

§ 1. Тепловое движение. Броуновское движение. Диффузия



Ключевые слова:

- ✓ броуновская частица
- ✓ диффузия
- ✓ хаотическое движение



На этом уроке вы:

- ознакомитесь с явлениями, доказывающими тепловое движение молекул.



Это вы знаете

Все тела состоят из молекул, те в свою очередь из атомов. В зависимости от взаимного расположения и движения молекул вещество может находиться в твердом, жидком или газообразном состоянии.

Сегодня нам предстоит выяснить, как движутся молекулы веществ, какими опытами можно это проверить. Ведь сами молекулы настолько малы, что их не увидеть даже под микроскопом. Но можно изучать движение молекул, наблюдая в опытах за более крупными частицами, которые движутся благодаря действию на них молекул.

Броуновское движение.

В 1827 году английский ботаник Р. Броун наблюдал под микроскопом за каплей воды, где плавали мельчайшие частицы цветочной пыльцы. Он обнаружил, что частички пыльцы непрерывно и беспорядочно движутся, причем это движение никогда не прекращается.

Опыт легко повторить, используя мелко натертый древесный уголь, который в воде не растворяется. Под микроскопом можно увидеть, что крупинки угля непрерывно и скачкообразно движутся. Причем самые мелкие из них (размером ~ 1 мкм) беспорядочно перемещаются с одного места в другое, а более крупные беспорядочно колеблются на одном месте. Такие частицы называются броуновскими.

Беспорядочное движение видимых под микроскопом частиц твердого вещества, взвешенных в жидкости или газе, называется броуновским движением.

Если мысленно “пометить” одну броуновскую частицу и отмечать на бумаге ее местоположение через равные промежутки времени, то можно получить ломаную линию, как показано на рисунке 1.1.

Движение броуновской частицы можно объяснить, если предположить, что молекулы воды движутся также беспорядочно и непрерывно. Броуновская частица окружена со всех сторон молекулами воды, которые благодаря своему беспорядочному движению сталкиваются друг с другом и с броуновской частицей (рис. 1.2). Эти столкновения также непрерывны и беспорядочны. Если броуновская частица небольшая (размером менее 1 мкм), то число одновременных соударений тоже небольшое, и частица двинется туда, куда будет направлена равнодействующая сил всех этих молекул. Если же частица большая, то

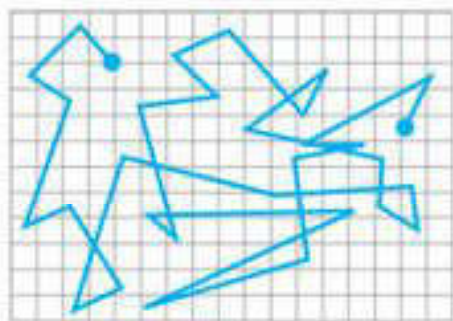


Рис. 1.1



Рис. 1.2

силы воздействия со стороны молекул не смогут сдвинуть ее с места. Таким образом, наблюдая за движением броуновской частицы, можно сделать выводы о характере движения молекул, хотя их увидеть непосредственно мы не можем. Опыты показывают, что интенсивность движения броуновских частиц растет с увеличением температуры.



■ Подумайте и определите, какие из ниже приведенных утверждений верные и какие неверные:

1. В опыте "Броуновское движение" под микроскопом наблюдаем хаотическое движение молекул вещества.
2. Размеры броуновской частицы примерно равны размерам молекул.
3. Размеры броуновской частицы во много раз больше размеров молекул.
4. При очень низких температурах броуновское движение прекращается.



Опыт 1. В высокий стеклянный стакан нальем воды. Бросим туда крупинки перманганата калия (марганцовки) и будем наблюдать. Что мы увидим? Вода вокруг крупинки постепенно будет окрашиваться в фиолетовый цвет. Протекание этого процесса с течением времени показано на рисунке 1.3, а, б, в. Если оставить стакан на достаточно долгое время, вода полностью станет розовато-фиолетовой. Прделайте этот опыт дома и понаблюдайте, как происходит окрашивание воды и за какое время она окрасится полностью.



Рис. 1.3. Диффузия в жидкости:

а) в начале опыта; б) через 5 минут; в) через 2 часа

Опыт 2. Нажмите на крышку флакона с духами. Вы почувствуете запах духов практически сразу. Молекулы духов проникают в воздух и смешиваются с молекулами воздуха.

Открыв кран газовой плиты, мы также быстро ощущаем запах газа.

Опыт 3. Возьмите два одинаковых стеклянных стакана. В один из них налейте холодную, в другой горячую воду. Бросьте в них крупинки марганцовки и понаблюдайте. Вы увидите, что в горячей воде окрашивание пройдет быстрее, чем в холодной. Значит, чем выше температура, тем быстрее движение молекул.

Из опыта 1 можно сделать вывод, что частицы воды и марганцовки, беспорядочно двигаясь, перемешиваются. *Такое самостоятельное смешивание веществ называется диффузией*.

Явление диффузии наблюдается как в жидкостях, так и в газах и твердых телах. Интенсивность протекания диффузии зависит от плотности вещества и от температуры (опыт 3). Скорость диффузии в газах больше, чем в жидкостях (опыт 2). В твердых телах она протекает очень медленно.

Известны результаты такого опыта. Два хорошо отшлифованных бруска из меди и бронзы положили друг на друга и оставили на пять лет. Через этот промежуток времени обнаружили, что бруски срослись на 1 мм. Если эти же бруски держать в печи при температуре около $(80—100)^\circ\text{C}$, то они срастаются на 1 мм уже через 10—15 дней.

Из проделанных опытов можно сделать несколько выводов:

1. Диффузия в газах происходит очень быстро, запахи мы можем почувствовать за секунды. В жидкостях диффузия протекает гораздо медленнее, для самостоятельного полного смешивания частиц в жидкости могут понадобиться дни, а то и недели. В этом вы можете убедиться сами, наблюдая за стаканом прохладной воды с кусочками краски. Для диффузии в твердых телах нужны годы, но она все же наблюдается.

2. Интенсивность диффузии зависит от температуры. Чем выше температура, тем быстрее протекает диффузия. Это означает, что с ростом температуры молекулы вещества движутся быстрее.

Диффузия играет важную роль в различных природных процессах. Например, вследствие постоянного перемешивания различных газов, входящих в состав атмосферы, вблизи поверхности Земли состав воздуха, которым мы дышим, поддерживается однородным. Вы знаете, что деревья поглощают углекислый газ и выделяют кислород. Этот процесс также происходит посредством диффузии. Такие физиологические процессы в организме человека, как дыхание, насыщение клеток организма кислородом и питательными веществами возможны благодаря явлению диффузии.

В быту соленье овощей, изготовление компотов, варенья также происходят на основе явления диффузии.

Явление диффузии играет отрицательную роль в процессе загрязнения окружающей среды в результате деятельности человека. Выхлопные газы автомобилей, вредные вещества, выбрасываемые промышленными предприятиями в атмосферу, вследствие диффузии распространяются на большие расстояния, попадают в воду и пищу, тем самым наносится огромный вред здоровью людей и экологии Земли.

Явление диффузии может служить доказательством того, что молекулы вещества движутся непрерывно и беспорядочно, т. е. хаотически.

Хаос (от древнегреческого $\chi\alpha\omicron\varsigma$ — раскрываюсь) в данном случае понимают как *беспорядок*, *неразбериху*, *смешение*.

Броуновское движение и явление диффузии доказывают, что молекулы вещества находятся в непрерывном хаотическом движении.

*Непрерывное хаотическое движение молекул называется **тепловым движением**.*

Тепловое движение молекул никогда не останавливается, его характер определяется агрегатным состоянием вещества.

В газах расстояние между молекулами гораздо больше размеров самих молекул, поэтому между столкновениями молекулы могут пройти довольно большие расстояния с большими скоростями (сотни м/с).

В жидкостях молекулы расположены почти вплотную друг к другу. Тепловое движение молекул жидкости сводится к колебаниям около положения равновесия. Время от времени молекула может перескочить из одного положения равновесия в другое.

Молекулы твердого тела способны колебаться только около определенных положений равновесия.

Во всех случаях интенсивность теплового движения возрастает с ростом температуры.



1. Опишите опыт Броуна.
2. Какая частица называется броуновской?
3. Опираясь на рисунок 1.2, объясните характер движения броуновской частицы.
4. Наблюдая за движением броуновской частицы, можно ли судить о характере движения молекул? Аргументируйте свой ответ.
5. Дайте объяснение явлению диффузии.
6. Приведите примеры явления диффузии в газах и в жидкостях.
7. Как зависит интенсивность диффузии от температуры?
8. Возможно ли, чтобы броуновское движение прекратилось? Почему?



1. В солнечный день закройте шторы, оставив узкую щель. Внимательно рассмотрите полосу света. Что вы увидели? Объясните наблюдаемое явление.
2. Возьмите три одинаковых стакана. В один налейте холодной воды, в другой — теплой, в третий — горячей воды. В каждый стакан бросьте по щепотке листового чая. Наблюдайте в течение 15 минут. Опишите наблюдаемое вами явление, сделайте выводы.

Что вы усвоили по данной теме?

Насколько увлекательна и полезна была новая информация?	Что еще хотелось бы узнать по теме урока?	Какие вопросы возникли и кому бы вы их задали?

§ 2. Температура и способы ее измерения



Ключевые слова:

- ✓ тепловое равновесие
- ✓ температура
- ✓ термометр
- ✓ температурная шкала

На этом уроке вы:

- ознакомитесь со способами измерения температуры и с температурными шкалами.



Температура. В повседневной жизни мы постоянно наблюдаем тепловые явления, такие как нагревание воды, замерзание воды, таяние снега и т. д. Мы очень просто, на ощупь, можем отличить холодное тело от горячего. Нам известны, что горячее тело имеет более высокую температуру, чем холодное. Понятие температуры мы связываем со степенью нагретости тела. Но дать четкое и простое определение температуры не так-то просто.

Давайте разберемся, что же такое температура? Если поставить на горячую плиту кастрюлю с холодной водой, она начнет нагреваться, и через некоторое время температура кастрюли с водой и поверхности плиты станут одинаковыми. Смешивая холодную воду с горячей, получаем теплую воду. При этом горячая вода остывает, холодная нагревается. Через некоторое время процессы нагревания и охлаждения прекратятся, мы получим теплую воду. Теперь температура воды во всем ее объеме одинакова. Наступает тепловое равновесие.



Поставьте на стол стакан с горячей водой, взятой при температуре около 50°C , опустите туда термометр. Подождите некоторое время и записывайте показания термометра через каждые 3 минуты. Показания вашего термометра будут понижаться, но с течением времени понижение температуры будет идти все медленнее и, наконец, показания термометра больше не будут меняться. Теперь температура воды в стакане, термометра и окружающего воздуха стала одинаковой. Они находятся в *тепловом равновесии*.

Температура всех тел, находящихся в тепловом равновесии, сколько угодно долго остается постоянной. Таким образом, *температурой называется физическая величина, характеризующая тепловое состояние тела*.

Все тела, достаточно долго находящиеся в одной комнате, имеют одинаковую температуру.

В предыдущем параграфе мы выяснили, что с ростом температуры возрастает интенсивность теплового движения молекул, другими словами, у них увеличивается средняя кинетическая энергия. У отдельно взятой молекулы скорость постоянно изменяется, причем хаотично. Но средняя кинетическая энергия молекул в состоянии теплового равновесия не изменяется и зависит от температуры.

Поэтому можно дать второе определение температуры: физическая величина, являющаяся мерой средней кинетической энергии теплового движения молекул, называется **температурой**.

Способы измерения температуры. Определить степень нагретости тела на ощупь мы, конечно, можем только приблизительно. Для точного количественного определения температуры используются специальные измерительные приборы, и вы с ними хорошо знакомы.

Это вы знаете

Приборы для измерения температуры называются **термометрами**.

С изменением температуры изменяются некоторые свойства тел. Например, из опыта известно, что тела с ростом температуры расширяются, увеличиваясь в объеме. Также изменение температуры приводит к изменению электрического сопротивления. Светящиеся тела с изменением температуры меняют цвет. Такие изменения свойств лежат в основе работы термометров.

На рисунке 2.1 показаны термометры: медицинский и бытовой. Рассмотрим, как они устроены. Эти приборы можно назвать контактными, для снятия показаний их нужно держать в тесном контакте с телом, температуру которого измеряем до тех пор, пока между ними не наступит тепловое равновесие. Работа таких термометров основана на явлении теплового расширения жидкости. Обычно используют ртуть или спирт (термометрическое тело). Как видно из рисунка 2.1, узкую длинную стеклянную трубку до определенного уровня заполняют термометрическим телом. Один конец (нижний) трубки имеет утолщение (резервуар), второй просто запаивается. При изменении температуры объем жидкости изменяется, соответственно пропорционально температуре изменяется высота столбика жидкости. Теперь нужна градуировка нашего термометра, т. е. нужно выбрать шкалу для количественного определения значения температуры.

Такую шкалу изобрел шведский ученый Андерс Цельсий, она сейчас носит его имя — **шкала Цельсия**. Он предложил температуру замерзания воды принять за 0, а температуру ее кипения за 100. Эти точки называются **опорными**. Затем расстояние



Рис. 2.1



Андерс Цельсий
(1701—1744)

между ними делится на 100 равных частей. Одно такое деление равно одному градусу и обозначается 1°C (рис. 2.1). Значения температуры выше 0° считаются положительными, а ниже 0° — отрицательными. Шкала Цельсия в нашей стране самая распространенная, температуру по этой шкале обозначают буквой t . Но есть и другие температурные шкалы.

Шкала Кельвина. Британский физик Уильям Томсон (лорд Кельвин) предложил шкалу, нулевая точка которой будет соответствовать “предельной степени холода”, т. е. абсолютному нулю, а ценой деления будет градус Цельсия. Температура в шкале Кельвина обозначается буквой T , значение температуры обозначается буквой K .

$$[T] = [K]$$

Шкала Кельвина применяется в системе СИ. Цена деления обеих температурных шкал одинаковая. 0 K по шкале Кельвина соответствует температуре $-273,15^{\circ}\text{C}$ по шкале Цельсия. Второй опорной точкой шкалы Кельвина является так называемая тройная точка, равная температуре воды, при которой она находится одновременно в твердом, жидком и газообразном состояниях. Ей соответствует температура $T = 273,15\text{ K}$.

Запомните!

Температура $T = 0\text{ K}$ самая низкая, ее называют *абсолютным нулем*. *Понизить температуру до абсолютного нуля невозможно.*

Из всего сказанного вытекает соотношение значений температур по шкалам Цельсия и Кельвина:

$$T = (t + 273)\text{ K}. \quad (2.1)$$

В Англии и США распространена температурная шкала Фаренгейта (обозначение — $^{\circ}\text{F}$). По этой шкале температура замерзания воды равна 32°F , а кипения — 212°F . Соотношения шкал Цельсия и Фаренгейта:

$$\begin{aligned} ^{\circ}\text{C} &= (^{\circ}\text{F} - 32) \cdot 0,556; \\ ^{\circ}\text{F} &= (^{\circ}\text{C} : 0,556) + 32. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Соотношения (2.1) и (2.2) используют для перевода значений температуры из одной шкалы в другую.

Запомните!

Термометр показывает свою собственную температуру. Поэтому при измерении температуры надо достаточно долго держать его в контакте с телом, температуру которого измеряете, так, чтобы установилось тепловое равновесие.

Мы ознакомились с контактными термометрами, основанными на тепловом расширении термометрических тел. Они просты и удобны в ис-

пользовании, но непригодны для измерения очень низких и высоких температур, к тому же жидкостные термометры хрупкие. В некоторых случаях приходится измерять температуру тел, контакт с которыми невозможен. Это могут быть небесные тела или детали каких-нибудь сложных устройств. Для этого существует много других видов термометров. На рисунке 2.2 показаны некоторые из них: а) механический; б) электрический термометр сопротивления; в) электронный; г) биметаллический; д) термоэлектрический (термопарный); е) инфракрасный (пирометр).



Рис. 2.2



1. Объясните смысл понятия "тепловое равновесие".
2. Дайте определение температуры.
3. Что такое термометр?
- *4. Объясните устройство жидкостного термометра. Почему его называют контактным?
5. Какие температурные шкалы вы знаете? Какую из них вы используете в повседневной жизни?
6. Запишите соотношения для перевода значения температуры из одной температурной шкалы в другую.



Упражнение 1

Заполните пустые места таблицы.

Градусы Цельсия, °C	Градусы Фаренгейта, °F	Градусы Кельвина, K
-1	30,2	
-6		
	3,2	
5		288
30		
	150,8	
	80,6	
24		



Самостоятельно изучите устройство и принцип работы термоскопа Галилея. Составьте презентацию по теме "Термоскоп Галилея".

Что вы усвоили по данной теме?

Насколько увлекательна и полезна была новая информация?	Что еще хотелось бы узнать по теме урока?	Какие вопросы возникли и кому бы вы их задали?

§ 3. Внутренняя энергия. Способы изменения внутренней энергии



Ключевые слова:

- ✓ взаимодействие молекул
- ✓ тепловое движение молекул
- ✓ внутренняя энергия

На этом уроке вы:

- ознакомитесь с понятием внутренней энергии тела и способами ее изменения.

Внутренняя энергия. Рассмотренные нами в двух предыдущих параграфах опыты позволяют заключить:

1. Все тела (вещества) состоят из молекул.
2. Молекулы взаимодействуют между собой.
3. Молекулы находятся в непрерывном хаотическом движении, которое никогда не прекращается.

Это вы знаете

Макроскопические тела обладают кинетической и потенциальной энергией. Кинетическая энергия — это энергия движения, потенциальная энергия — это энергия взаимодействия.

Значит, молекулы обладают и кинетической, и потенциальной энергией. Сумма кинетической и потенциальной энергии всех частиц, составляющих это тело, называется **внутренней энергией тела**.

При изменении температуры тела изменяется скорость теплового движения молекул, а значит изменяется и их кинетическая энергия. Мы также знаем, что изменение температуры ведет к изменению размеров тела. Это означает изменение расстояния между молекулами, которое приводит к изменению потенциальной энергии взаимодействия молекул. Таким образом, внутренняя энергия зависит от температуры. При увеличении

температуры внутренняя энергия тела возрастает, а при понижении — уменьшается.

Энергия одной молекулы очень мала, так как чрезвычайно малы массы молекул, в то же время концентрация молекул в веществе огромна. Например, в 1 м^3 кислорода содержится около $2,7 \cdot 10^{25}$ молекул, поэтому суммарная энергия всех молекул, т. е. внутренняя энергия тел, велика. Можно рассчитать, например, что внутренняя энергия воды в трехлитровой банке при комнатной температуре будет равна работе, которую нужно совершить для поднятия тела массой около 1 т на высоту 75 метров! Это внутренняя энергия всего трех литров воды. А теперь представьте, какой колоссальной внутренней энергией обладает мировой океан! Так как молекулы вещества никогда не прекращают теплового движения, *внутренняя энергия тела не может быть равна нулю*.

Внутренняя энергия зависит и от агрегатного состояния вещества. Например, лед тает при температуре 0°C . В сосуде с тающим льдом и вода, и лед имеют одинаковую температуру 0°C . Но при этом внутренняя энергия льда меньше, чем внутренняя энергия воды. Т. к. молекулы кристаллического льда расположены упорядоченно, при таянии происходит разрушение кристаллической решетки, что ведет к увеличению внутренней энергии. Потенциальная энергия взаимодействия также разная, потому что в разных агрегатных состояниях одного и того же вещества взаимное расположение молекул разное.

Из определения внутренней энергии ясно, что она складывается из кинетической и потенциальной энергии молекул. Нам известно из раздела механики, что сумму кинетической и потенциальной энергии называют полной механической энергией. Единицей измерения внутренней энергии, так же как и механической энергии, является джоуль (Дж).

Но по сути эти понятия имеют большую разницу. В механике мы имеем дело с одним или несколькими макроскопическими телами. Механическая энергия зависит от движения (кинетическая энергия) тела как целого и от его взаимодействия (потенциальная энергия) с другими телами или между частями одного и того же тела.

Внутренняя энергия тела складывается из кинетической и потенциальной энергии молекул, которых насчитывается огромное количество. К тому же кинетическая энергия отдельно взятой молекулы непрерывно и хаотично изменяется и заранее рассчитать эти значения невозможно. Но при таком огромном количестве частиц проявляются новые так называемые статистические закономерности, с которыми мы ознакомимся в старших классах. В результате для описания свойств вещества появляется возможность использовать средние значения характеристик частиц. Например, используется понятие средней

кинетической энергии молекул. Механическая энергия данного конкретного тела может быть разной в зависимости от его движения и расположения. Например, если камень, лежащий на земле, взять и кинуть, его механическая энергия изменится. Однако внутренняя энергия его при этом останется прежней. Таким образом, внутренняя энергия вещества характеризует его тепловое состояние, она зависит только от характера движения и взаимодействия молекул, составляющих это тело.

Запомните!

Внутренняя энергия зависит только от температуры и агрегатного состояния вещества. Так как тепловое движение молекул никогда не прекращается, внутренняя энергия тела всегда отлична от нуля. А механическая энергия, в зависимости от выбора системы отсчета, может быть равна нулю.

Способы изменения внутренней энергии. Каким образом можно изменять внутреннюю энергию тела?

Один способ мы знаем: надо изменять температуру. Если поставить на горячую плиту кастрюлю с холодной водой, она нагревается, ее внутренняя энергия растет. Если в стакан с горячей водой опустить кусочек льда, он растает, а вода в стакане остынет, ее внутренняя энергия уменьшится. В таких случаях говорят, что от более горячего тела к более холодному передается теплота, т. е. происходит теплопередача. Можно привести множество таких примеров, и вы их наблюдаете в повседневной жизни и постоянно.



Опыт 1. Возьмите монету в 100 тенге и энергично потрите ее о поверхность стола. Менее чем через минуту вы почувствуете, что она нагрелась, ее внутренняя энергия увеличилась.

Опыт 2. Если у вас есть велосипед, обратите внимание на то, что при накачке камеры колеса насос нагревается.

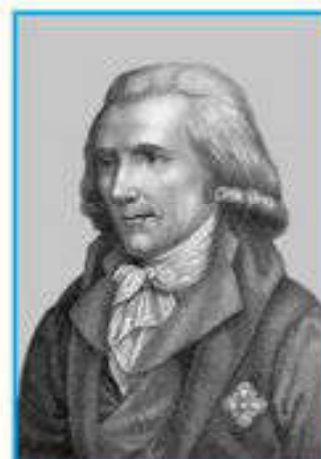
Опыт 3. Возьмите толстую алюминиевую или медную проволоку и быстрыми движениями изгибайте ее в одном месте. Через некоторое время место изгиба нагреется.

Опыт 4. "Воздушное огниво". Поместите на дно толстостенного стеклянного цилиндра ватку, смоченную эфиром (рис. 3.1). Резко опустите поршень. Можно увидеть, что воздух в цилиндре нагрелся настолько, что ватка воспламенилась.



Рис. 3.1

Из этих опытов можно сделать вывод, что внутреннюю энергию можно изменять без передачи тепла, совершая работу. Возможность изменения внутренней энергии тела при совершении работы впервые экспериментально было доказано в опытах Бенджамина Томпсона (графа Румфорда) в 1798 году. Он наблюдал за изготовлением пушек в мюнхенских военных мастерских. В те времена сначала отливали из расплавленного металла пушечные стволы, затем в них высверливали каналы для ядер большими специальными станками, приводившимися в движение лошадьми (рис. 3.2). Румфорд заметил, что при сверлении стволы сильно нагреваются. Он предположил, что пушечный ствол нагревается вследствие трения сверла о ствол. Чтобы усилить эффект, Румфорд использовал тупое сверло, которое было плотно прижато к стенкам канала ствола. Он поместил ствол в бочку с водой. В процессе сверления вода нагрелась и спустя 2,5 часа закипела. Таким образом, было доказано, что совершение работы может привести к выделению большого количества тепла. Если работа совершается над телом, его внутренняя энергия увеличивается. Если работу совершает само тело, его внутренняя энергия уменьшается.



Бенджамин
Томпсон, граф
Румфорд
(1753—1814)

Итак, есть два способа изменения внутренней энергии: *теплопередача и совершение механической работы*.



■ Определите, какие из ниже приведенных утверждений являются верными, какие — не верными:

1. С ростом температуры внутренняя энергия тела растет.
2. Внутренняя энергия не зависит от температуры.



Рис. 3.2. Опыт Румфорда

3. Если температура двух тел одинакова, то и внутренняя энергия этих тел одинаковая.
4. Одно и то же вещество всегда обладает одной и той же внутренней энергией.
5. Внутренняя энергия одного и того же вещества в разных агрегатных состояниях разная.

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Если средняя температура Земли повысится всего на 1 градус, то выделится энергия, в миллиард раз превосходящая энергию, вырабатываемую за год всеми электростанциями мира.



1. Что такое внутренняя энергия тела?
2. Как изменится внутренняя энергия при нагревании и при охлаждении тела?
3. Как можно установить, что внутренняя энергия тела изменилась?
- *4. На столе при комнатной температуре расположены в одинаковых литровых банках вода и подсолнечное масло, а также стальной и деревянный бруски объемом 1 дм³. Одинакова ли внутренняя энергия этих веществ и предметов? Ответ обоснуйте.
5. Какие способы изменения внутренней энергии вы знаете? Приведите примеры.
- *6. Ведро воды подняли на высоту 20 м. Как изменилась механическая и внутренняя энергия воды? Ответ обоснуйте.
- *7. На улице в холодную погоду у Ерлана замерзли руки. Зайдя в дом, он захотел побыстрее их согреть. Какими способами он может это сделать? Объясните, чем они отличаются?
8. Приведите примеры из повседневной жизни, когда совершение работы приводит к изменению внутренней энергии.



В литровую пластиковую банку с закручивающейся крышкой налейте воды примерно до половины. Измерьте температуру. Плотно закройте ее крышкой, оберните полотенцем. Энергично встряхивайте в течение 15 минут. Откройте крышку и быстро измерьте температуру. Как изменилась температура? Объясните полученные выводы.

Что вы усвоили по данной теме?

Насколько увлекательна и полезна была новая информация?	Что еще хотелось бы узнать по теме урока?	Какие вопросы возникли и кому бы вы их задали?

§ 4. Теплопроводность, конвекция, излучение



На этом уроке вы:

- ознакомитесь с разными видами теплопередачи.



Ключевые слова:

- ✓ теплопередача
- ✓ теплопроводность
- ✓ конвекция
- ✓ излучение
- ✓ количество теплоты

Это вы знаете

При контакте тел, имеющих разные температуры, происходит теплообмен (теплопередача), в результате которого между телами устанавливается тепловое равновесие. Теплопередача является одним из способов изменения внутренней энергии, при этом внутренняя энергия тела с более высокой температурой переходит во внутреннюю энергию менее нагретого тела без совершения механической работы.

Величина, равная изменению внутренней энергии тела в процессе теплопередачи, называется количеством теплоты и обозначается буквой Q . Из определения ясно, что количество теплоты измеряется в джоулях.

$$[Q] = [\text{Дж}].$$

Существует три вида теплопередачи: теплопроводность, конвекция и излучение.

Теплопроводность — передача тепловой энергии от более нагретых участков тела к менее нагретым участкам. Теплопередача может происходить как между разными телами, так и между разными частями одного и того же тела. На молекулярном уровне теплопередачу можно объяснить так: молекулы с более высокими значениями кинетической энергии передают часть этой энергии более медленным молекулам.

Запомните!

При теплопроводности происходит передача энергии, но нет переноса вещества.



Опыт 1. В штативе закрепим горизонтально металлический стержень, а к нему снизу пластилином на одинаковом расстоянии друг от друга прикрепим канцелярские кнопки. Вторым концом стержня начнем нагревать пламенем свечи, как показано на рисунке 4.1. Через некоторое время кнопки начнут отпадать. Сначала отпадут кнопки у нагретого конца стержня,



Рис. 4.1

потом по очереди остальные. Этот опыт показывает, что вдоль стержня от более нагретого конца к менее нагретому концу идет теплопередача.

Опыт 2. В пробирку положим небольшое количество льда, сверху разместим подходящий по диаметру пробирки круглый металлический грузик, которым прижмем лед, чтобы он не всплыл, и осторожно нальем холодной воды. Поднесем к пробирке спиртовку, как показано на рисунке 4.2, через некоторое время верхние слои воды начнут закипать, а внизу кусочки льда все еще остаются в прежнем состоянии. Это говорит о том, что вода — плохой проводник тепла.



Рис. 4.2. Теплопроводность воды

Опыт 3. Наденем на палец сухую пробирку. Поднесем к доньшку пробирки спиртовку, как показано на рисунке 4.3. При этом палец долго не будет чувствовать тепло. Это говорит о том, что воздух является плохим проводником тепла.

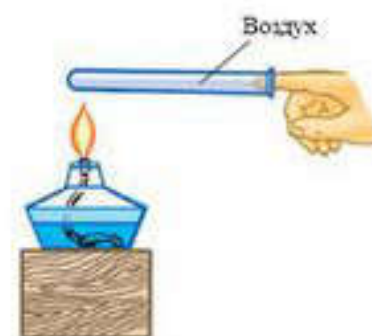


Рис. 4.3. Теплопроводность воздуха

Разные тела обладают различной теплопроводностью. Самые хорошие проводники тепла — металлы. Вода, стекло, дерево, пластмасса имеют малую теплопроводность. Все газы имеют очень низкую теплопроводность. По этой причине все пористые материалы (мех, шерсть, вата) плохо проводят тепло, что позволяет использовать их для защиты от холода. Например, животные линяют два раза в год: весной и осенью. Весной и летом мех животного становится короче и реже, а осенью гуще и длиннее, что позволяет им хорошо защищаться от холода.

Чтобы не замерзнуть от холода зимой, люди надевают шубы, одежду с ватной или синтетической пористой прокладкой.

Конвекция — это передача тепловой энергии потоками жидкостей или газов.

Из определения вытекает, что конвекция невозможна в твердых телах, так как слои вещества в твердых телах перемещаться не могут.



Опыт 1. Нальем в колбу воду, как показано на рисунке 4.4, и аккуратно положим щипцами на дно колбы маленький кусочек акварельной краски. Начнем нагревать воду. Через некоторое время в центральной части колбы окрашенные струйки воды начнут подниматься вверх и опускаться вдоль ее стенок вниз. Вода вблизи боковых стенок колбы более холодная. Мы наблюдаем естественное перемешивание нагретых и ненагретых слоев воды.



Рис. 4.4

Опыт 2. Возьмем вертушку, проткнем ее в центре иглой с ниткой и поднимем за нитку. Осторожно подведем под вертушку зажженную свечку, как показано на рисунке 4.5. Она начнет вращаться. Это нагретые слои воздуха, поднимаясь, вращают вертушку.



Рис. 4.5

При конвекции происходит перенос вещества. Разделяют естественную (свободную) и вынужденную конвекцию. Перемешивание слоев воды в опыте 1 — это пример свободной конвекции. Вы дышите на руки и согреваете ее потоком теплого воздуха из ваших легких — это пример вынужденной конвекции.

Излучение. Передача тепловой энергии в процессе распространения электромагнитных волн называется **излучением**. Солнечные лучи согревают почву и земную атмосферу, сидя у камнина, мы ощущаем приятное тепло. Приблизив руки на некоторое расстояние к включенной электроплитке или утюгу, мы чувствуем исходящее от приборов тепло. Все это примеры переноса энергии излучением. Излучение является единственным видом теплопередачи, которая может происходить и в вакууме. Механизм теплопередачи излучением сложен. В 9 и 10 классах вы будете подробно изучать все законы мерности теплового излучения.



1. Какие виды теплопередачи вы знаете?
2. Что такое теплопроводность?
3. Почему ручки кастрюль, сковородок делают из пластмассы, а саму посуду из металла? Ответ обоснуйте.
4. Почему подкладки зимних курток заполняют синтетическим пористым материалом или пухом?
5. Приведите примеры веществ с хорошей и плохой теплопроводностью.
6. Что представляет собой конвекция?
7. Чем отличается конвекция от теплопроводности?
8. Приведите примеры передачи тепла излучением.
9. В каких средах возможны такие процессы как теплопроводность, конвекция, излучение?



1. Возьмите две одинаковые пластиковые бутылки. Налейте в них теплую воду $\sim 40^\circ\text{C}$. Одну бутылку заверните махровым полотенцем, вторую оставьте в прежнем состоянии. Замерьте температуру обеих бутылок через 3-4 часа. Как вы думаете, какая из них окажется теплее? Почему?
2. Почему чай в термосе долгое время не остывает?
3. Как вы думаете, для чего нагревательный элемент располагают на дне электрочайника?
4. Какой вид теплопередачи наблюдается, если поднести руку к включенной электрической лампе накаливания?
5. Расскажите по рисунку 4.6 о видах теплопередачи.

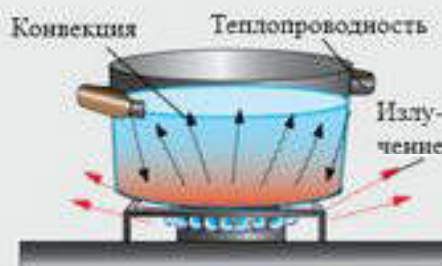


Рис. 4.6

Что вы усвоили по данной теме?

Насколько увлекательна и полезна была новая информация?	Что еще хотелось бы узнать по теме урока?	Какие вопросы возникли и кому бы вы их задали?

§ 5. Теплопередача в природе и технике**Ключевые слова:**

- ✓ ветер
- ✓ муссоны
- ✓ пассаты
- ✓ бриз
- ✓ гольфстрим

На этом уроке вы:

- ознакомитесь с явлениями природы, которые обусловлены процессами теплопередачи.

Мы живем в привычной для нас обстановке и не всегда задумываемся, почему происходят те или иные явления вокруг нас. Например, почему дует ветер? Попробуем разобраться. Солнечные лучи прогревают почву и атмосферу Земли. С ростом температуры объем воздуха увеличивается, он становится легче. Холодные массы воздуха с верхних слоев атмосферы перемещаются вниз, вытесняя теплый воздух снизу. В результате происходит перемещение слоев воздуха, возникает ветер. Таким образом, причина возникновения ветров — *конвекция*. Ветры оказывают существенное влияние на климат Земли.

Муссоны — устойчивые ветра, которые дуют летом с океана на материки, а зимой с суши на океаны. В летний период муссоны приносят обильные дожди в страны Южной и Юго-Восточной Азии, Африки и Австралии. Зимой муссоны несут с собой засуху.

Пассаты также имеют устойчивый характер, дуют от тропиков Северного и Южного полушарий к экватору. Пассаты формируют климат восточных берегов Южной Америки, Африки и Австралии. Самая большая в мире пустыня Сахара, расположенная в Северной Африке, формировалась под влиянием сухих и жарких пассатов, которые зарождаются на 30° широтах Северного полушария в центре Азии.

Конвекцией объясняется также возникновение дневного и ночного *бризов* (рис. 5.1), ветра, характерного для побережья большинства теплых морей. Днем суша у берега моря прогревается быстрее, чем вода. Температура воздуха над сушей выше, чем над морем. Если разность температур выше трех градусов, то теплый воздух над сушей подни-

мается вверх, на его место низом перемещается холодный воздух с моря, возникает *дневной бриз*.

Ночью суша остывает быстрее, чем море, воздух над морем становится теплее, чем над берегом. Поэтому воздушные потоки меняют свое направление на противоположное — ветер дует с суши на море. Возникает *ночной бриз*. *Бриз* — это легкий приятный ветерок, его скорость составляет (1—5 м/с).

Из-за неравномерного нагревания воды в морях и океанах возникают постоянные океанские течения, которые также играют большую роль в формировании климата Земли. *Гольфстрим* — теплое морское течение в Атлантическом океане, оно обусловлено суточным вращением Земли и влиянием пассатных ветров. Теплые воды гольфстрима повышают температуру воздушных масс над морем, тем самым влияют на распределение атмосферного давления, а значит на циркуляцию атмосферы и формирование климата. Гольфстрим переносит теплые воды тропиков к умеренным широтам, благодаря этому климат Европы теплый и мягкий.

В Южном полушарии у берегов Антарктиды постоянно дуют сильные западные ветры. Они переносят воды океанов в восточном направлении и создают мощное океанское *течение западных ветров*. Это течение соединяет воды трех океанов: Тихого, Атлантического и Индийского и каждую секунду переносит около 200 млн. т воды.

Морские течения оказывают большое влияние на распределение осадков на поверхности земли. Кроме того, течения переносят с собой и живые организмы; это, прежде всего, планктон, за которым следуют и крупные животные. При встрече теплых течений с холодными образуются потоки воды, перемещающиеся вверх. Вследствие этого



Рис. 5.1

богатые питательными солями глубинные воды, поднимаясь вверх, создают благоприятные условия для развития планктона, рыб и морских животных.

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Джунгарские ворота — горный переход между Джунгарским Алатау и хребтом Барлык, по которому проходит казахско-китайская граница, является одним из самых ветреных мест в Центральной Азии.

Преобладающее направление ветров юго-восточное, северо-восточное и северо-западное. Они возникают из-за большой разницы атмосферного давления по обе стороны Джунгарских ворот. Юго-восточный ветер, возникающий в низменности Эби-Нур, который носит название «евгей», проходя через Джунгарские ворота, достигает разрушительной силы (скорость 60—80 м/сек). Этот ураган может срывать крыши с домов, переворачивать на трассах автомобили, разрушать линии электропередач и т. д. На озере Алаколь «евгей» вызывает сильные штормовые явления с высотой волн до 4—5 метров. Он может опрокидывать рыбацкие лодки. «Евгей» особенно опасен в зимнее время, так как может привести к гибели людей на дорогах.

Человек издавна использует разные виды теплопередачи в повседневной жизни. Еще в древности человек, научившись добывать огонь, грелся у костра, готовил себе пищу, использовал меха животных для защиты от холода.

Зная о плохой теплопроводности кирпича, дерева, стекла и бетона, мы строим из этих материалов дома. Окна делаем двойными, так как знаем, что воздух между рамами плохо проводит тепло.

Осмотрите у себя дома, и вы найдете массу применений явления теплопередачи.



Рис. 5.2

Каждый из вас, возможно, хоть один раз, любовался воздушными шарами, которые медленно парят в небе (рис. 5.2). Внутри шара располагается специально оборудованная горелка, которая нагревает воздух внутри него. Теплый воздух наполняет пространство воздушного шара. Так как теплый воздух легче холодного воздуха, окружающего шар, то он поднимает шар на довольно большую высоту.

На явлении вынужденной конвекции основана работа современных конвекционных печей

(рис. 5.3), которые широко используются в заведениях общественного питания. В них в заднюю стенку монтируются нагревательный элемент (ТЭН) и вентилятор. При включении печи происходит вынужденная конвекция горячего воздуха, что обеспечивает равномерное прогревание и формирование одинакового условия по всему рабочему пространству печи. Такие печи используются для выпечки изделий из муки. К преимуществам конвекционных печей можно отнести их экономичность и экологичность.

Благодаря конвекции возможен обогрев помещения отопительными батареями, которые устанавливаются под окнами. Принцип очень прост: теплые потоки воздуха, перемещаясь, обогревают всю комнату.



Рис. 5.3



1. Как возникают ветры?
2. В чем состоит различие между муссонами и пассатами? Как они влияют на климат Земли?
3. Объясните возникновение дневных и ночных бризов.
4. Почему для приготовления пищи используется металлическая посуда?
5. Почему оконные рамы в жилых домах делают двойными?
6. Из какого материала вы построили бы свой будущий дом: из кирпича, дерева или железа? Почему?
7. Как происходит обогрев помещения радиаторами отопления? Нарисуйте схему перемещения потоков воздуха от радиаторов отопления по комнате.



1. Расскажите об устройстве термоса.
2. Подготовьте краткое сообщение о конструкции и материалах юрты. Каким образом в ее устройстве учтены разные виды теплопередачи?

Что вы усвоили по данной теме?

Насколько увлекательна и полезна была новая информация?	Что еще хотелось бы узнать по теме урока?	Какие вопросы возникли и кому бы вы их задали?

§ 6. Роль тепловых явлений в жизни живых организмов



Ключевые слова:

- ✓ терморегуляция
- ✓ зона комфорта
- ✓ климатические условия

На этом уроке вы:

- изучите процессы теплообмена в живых организмах и пути адаптации животных к местным климатическим условиям.

Это вы знаете

Между телами, находящимися в тепловом контакте, например в одной комнате, рано или поздно наступает тепловое равновесие, т. е. у них устанавливается одинаковая температура.

В то же время известно, что наша с вами температура остается постоянной, если мы здоровы, где и сколько бы времени мы не находились. Дело в том, что не только у человека, но и у всех теплокровных животных развит *механизм терморегуляции*. Суть терморегуляции заключается в способности организма поддерживать температуру своего тела на оптимальном уровне при значительных колебаниях температуры окружающей среды. Терморегуляция достигается путем повышения или уменьшения образования тепла в организме и усиления или уменьшения теплоотдачи из организма во внешнюю среду. Из сказанного ясно, что процессы теплообмена играют решающую роль в жизни человека и всех живых организмов. Низкая температура окружающей среды, физическая нагрузка, пищеварение повышают образование тепла в организме, а высокая температура среды и понижение теплообмена (подкожный жировой слой, густая шерсть у животного) с окружающей средой, наоборот, понижают образование в организме тепла.

Для каждого вида живого организма существует определенный температурный диапазон, при котором организм затрачивает минимальное количество энергии для сохранения нормальной температуры тела. Этот диапазон называют зоной комфорта. Для человека в покое и легкой одежде она находится в пределах 18—20°C.

Каждый из рассмотренных нами видов теплопередачи играет важную роль в терморегуляции.

Теплопроводность. Теплопередача происходит между телом и соприкасающимися с ним предметами и воздухом. Уменьшению этого вида теплопередачи способствуют подкожный жир, теплая одежда, у животного — густая шерсть.

Излучение. Если температура среды низкая, излучение с кожи живого организма поглощается окружающими предметами и воздухом, а если высокая, то происходит поглощение излучения с поверхностей окружающих предметов и воздуха. При равенстве температур орга-

низма и среды обмен энергией излучением прекращается.

Конвекция. Теплообмен происходит между кожей человека (телом животного) и слоем соприкасающегося с ней воздуха. Ясно, что при большой разнице температур и в ветреную погоду теплопередача конвекцией усиливается, а при равенстве температур воздуха и тела конвекция прекращается.

Климат Земли в целом благоприятен для жизни ее обитателей. Но разброс температуры в разных климатических зонах весьма велик и составляет около 150°C . Верхний предел температуры для активной жизни теплокровных организмов считается примерно равным 50°C , нижний предел однозначно не определен. Но человек благодаря современным технологиям сумел значительно расширить эти пределы.

Организм животных также приспособлен к климатическим условиям своего места обитания. Императорские пингвины приспособились к суровым климатическим условиям Антарктиды (рис. 6.1). В этом немалую роль играет их теплое оперение. Пушистые у основания, короткие и твердые перья, тесно перекрываясь друг с другом, образуют хороший изолирующий воздушный слой, а под кожей есть толстый жировой слой.

Форма тела пингвина позволяет сохранять тепло, поскольку площадь поверхности тела мала по сравнению с ростом. В слезно-носовых протоках у него также развита специальная система теплообмена, благодаря которой при выдохе он теряет небольшое количество тепла.



Рис. 6.1

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

В суровую пору пингвины сбиваются в тесные группы и образуют так называемую "черепаху", что позволяет им максимально сохранять тепло.

А белые медведи, обитающие в Арктике, прекрасно приспособлены к не менее суровым климатическим условиям (рис. 6.2). У них короткие пушистые уши, толстый слой подкожного жира и длинная шерсть из плотного волосяного покрова. Все это предохраняет тело от охлаждения и позволяет медведю долго находиться в воде. Подошвы его лап густо покрыты длинными жесткими волосами, что также способствует уменьшению потери тепла.

Теперь рассмотрим, как животные приспособляются к жаре.

Верблюд — одно из самых интересных животных пустыни (рис. 6.3). Известно, что



Рис. 6.2



Рис. 6.3



Рис. 6.4

верблюд может обходиться без воды достаточно долго даже в 60-градусную жару. В горбах верблюдов имеется большой запас жира. Этот жир при повышении температуры преобразуется в воду. Благодаря этому верблюд может 30 дней жить без питья, зато, добравшись до воды, за 10 минут способен выпить 90 литров. Широкие мозолистые подошвы ног не дают ему проваливаться в дюны и заодно защищают от горячего песка, а длинные ноги поднимают его тело высоко над раскаленной почвой, и верблюду не так жарко.

Пустынный скорпион тоже хорошо приспособлен к жаре (рис. 6.4). Он почти всю жизнь проводит, зарывшись в песок. Жесткий панцирь животного не дает испаряться воде из организма, которую он добывает из проглоченной пищи. Когда еды нет, скорпион способен обходиться вообще без нее, голодая год и больше.

На нескольких примерах мы убедились, насколько разнообразны пути приспособления живых организмов к условиям проживания и какую важную роль играют в этом тепловые явления.

ЭТО ИНТЕРЕСНО!



Желтый суслик. Обитает в Казахстане в западных частях пустыни Бетпак-Дала и долине реки Шу. Он питается полупустынными и пустынными эфемерами, луковницами и клубнями, семенами и побегами полыни, злаков и др. В его рационе до 30 видов растений. В период накопления жира суслики проводят в поисках корма практически весь день, потребляя ежедневно до 200 г пищи. Накопленный жир помогает ему выжить во время летней спячки. Если медведи спят зимой, то суслики спят в самые жаркие месяцы. А пить они даже не умеют, довольствуются влагой, содержащейся в кормах.



1. В чем суть терморегуляции живого организма?
2. Какие виды теплопередачи участвуют в терморегуляции организма теплокровных животных? Каким образом?
3. Расскажите об особенностях строения организма животных, обитающих в холодных регионах.
4. Как приспосабливаются животные к жарким климатическим условиям? Приведите примеры.



Какие животные обитают в вашем регионе? Расскажите, как они приспособлены к местным климатическим условиям. Напишите краткий рассказ.

Что вы усвоили по данной теме?

Насколько увлекательна и полезна была новая информация?	Что еще хотелось бы узнать по теме урока?	Какие вопросы возникли и кому бы вы их задали?

§ 7. Количество теплоты, удельная теплоемкость вещества



На этом уроке вы:

- ознакомитесь с понятием удельной теплоемкости вещества;
- научитесь решать задачи на определение количества теплоты.



Ключевые слова:

- ✓ количество теплоты
- ✓ удельная теплоемкость

Это вы знаете

Есть два способа изменения внутренней энергии – совершение работы и передача теплоты. Величина, равная изменению внутренней энергии тела в процессе теплопередачи, называется *количеством теплоты Q*.

Рассмотрим, как можно определить количество теплоты, переданное в процессе теплообмена.



Опыт 1. Будем наблюдать за процессом нагревания воды, температуру будем измерять обычным термометром. Чем больше будем нагревать воду, тем большее время потребуется на это, а значит нужно затратить большее количество теплоты. Очевидно, что количество теплоты, необходимое для нагревания воды, пропорционально изменению температуры:

$$Q \sim (t_2 - t_1),$$

где t_1 — начальная температура, t_2 — конечная температура.
 $\Delta t = (t_2 - t_1)$ — изменение температуры, Δ (дельта) — знак изменения.

Опыт 2. Возьмем два одинаковых сосуда. В один сосуд нальем 1 кг воды, в другой — 2 кг воды (рис. 7.1). Будем нагревать их в одинаковых условиях до одинаковой температуры. Для нагрева 2 кг воды потребуется в два раза больше времени, а значит, и количества теплоты. Следовательно, мы наблюдаем прямую пропорциональность между количеством теплоты и массой: $Q \sim m$.

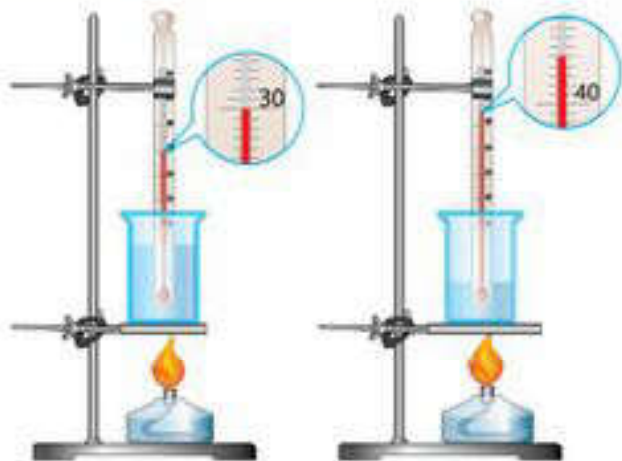


Рис. 7.1



Опыт 3. В два одинаковых сосуда нальем две разные жидкости (воду и глицерин) одинаковой массы и одинаковой температуры. Для их нагревания до одинаковой температуры потребуется разное время. Значит, количество теплоты, необходимое для нагревания тела до определенной температуры, зависит от рода вещества.

Из этих опытов можно заключить, что количество теплоты, необходимое для нагревания вещества, пропорционально изменению температуры, массе этого вещества и зависит от рода вещества.

Чтобы учесть зависимость количества затраченной теплоты от рода вещества, введем величину, называемую **удельная теплоемкость вещества**, обозначим ее буквой c .

Объединив результаты всех трех опытов, можно записать:

$$Q = cm(t_2 - t_1). \quad (7.1)$$

По этой формуле можно определить количество теплоты, необходимое для нагревания вещества массой m на $\Delta t = (t_2 - t_1)$ градусов, если известна удельная теплоемкость.

Из формулы (7.1) определим:

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}. \quad (7.2)$$

Из последнего выражения вытекает, что **удельная теплоемкость** — это физическая величина, равная количеству теплоты, необходимому для нагревания 1 кг данного вещества на 1°C .

Единица измерения удельной теплоемкости:

$$[c] = \left[\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \right].$$

Известно, что при нагревании вещества без совершения механической работы количество теплоты, переданное веществу, равно изменению внутренней энергии этого вещества. Отсюда можно дать другое определение удельной теплоемкости:

Удельная теплоемкость равна изменению внутренней энергии 1 кг вещества при изменении температуры на 1°C , если при этом объем вещества остается постоянным.

Удельная теплоемкость характеризует тепловые свойства вещества, ее значения при водятся в таблицах. Приведем часть такой таблицы:

Таблица 7.1

Удельные теплоемкости некоторых веществ

Газы		Жидкости		Твердые тела	
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	14300	вода	4200	алюминий	920
азот	1000	глицерин	2400	латунь	380
аммиак	2100	керосин	2140	свинец	130
водяной пар	2200	подсолнечное масло	1700	лед	2100
воздух	1000	ртуть	135	серебро	230
углекислый газ	830	этиловый спирт	2400	стекло	840

Если в процессе теплообмена тело нагревается, то ему передается количество теплоты, определяемое формулой (7.1), а если тело охлаждается, то такое количество теплоты телом выделяется.



1. Какая величина называется количеством теплоты?
2. Назовите единицу измерения количества теплоты.
3. От чего зависит количество теплоты, переданное телу при его нагревании?
4. Запишите формулу для определения количества теплоты.
5. Дайте определение удельной теплоемкости.
- *6. Почему днем вода в озере в солнечную погоду прохладнее, чем почва на берегу данного озера?

Примеры решения задач

1. Какое количество теплоты потребуется для нагревания 5 литров воды до температуры 80°C , если ее начальная температура была равна 16°C ?

<p><i>Дано :</i> $V = 5 \text{ л}$ $t_1 = 16^{\circ}\text{C}$ $t_2 = 80^{\circ}\text{C}$ $c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}}$ $\rho_s = 1000 \text{ кг/м}^3$ <hr/> $Q = ?$</p>	<p>СИ $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$</p>	<p><i>Решение :</i> Для определения количества теплоты используем формулу (7.1). $Q = cm(t_2 - t_1)$, массу воды определим, зная ее плотность $m = \rho_s \cdot V$: $Q = c \rho_s V(t_2 - t_1) = 4200 \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}} \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot (80 - 16)^{\circ}\text{C} = 13,44 \cdot 10^5 \text{ Дж}$. <i>Ответ :</i> $Q = 13,44 \cdot 10^5 \text{ Дж}$.</p>
---	---	--

2. Для нагревания детали массой 200 г от температуры 20°C до температуры 40°C потребовалось 1,52 кДж теплоты. Из какого вещества изготовлена деталь?

<p><i>Дано :</i> $m = 200 \text{ г}$ $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$ $t_2 = 40^{\circ}\text{C}$ $Q = 1,52 \text{ кДж}$ <hr/> $c = ?$</p>	<p>СИ $0,2 \text{ кг}$ 1520 Дж</p>	<p><i>Решение :</i> Чтобы определить, из какого вещества изготовлена деталь, выразим удельную теплоемкость из формулы (7.1): $Q = cm(t_2 - t_1)$. Отсюда $c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}$.</p>
---	--	--

Подставив в последнее выражение данные задачи, определим удельную теплоемкость вещества: $c = \frac{1520 \text{ Дж}}{0,2 \text{ кг} \cdot (40 - 20)^{\circ}\text{C}} = 380 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}}$. По полученному значению (табл. 7.1) определим, какое это вещество.

Ответ: это медь.



Упражнение 2

1. Какое количество теплоты требуется для нагревания 600 г глицерина от температуры 20°C до температуры 60°C? (Ответ: 57,6 кДж)
2. Определите массу серебряного украшения, если для его нагревания на 30°C потребовалось 50 Дж теплоты. (Ответ: 7 г)
3. Какое количество теплоты надо затратить, чтобы нагреть железную деталь массой 110 г от $t_1 = 20^\circ\text{C}$ до $t_2 = 920^\circ\text{C}$? (Ответ: 45 кДж)
4. Используя данные таблицы 7.1, определите, во сколько раз количество теплоты, необходимое для нагревания алюминиевой детали на Δt °C больше, чем количество теплоты для нагревания на столько же градусов детали из латуни, если массы их одинаковы? (Ответ: в 2,4 раза)
5. На нагревание вещества на 40°C потребовалось 500 Дж теплоты. Какое количество теплоты потребуется, чтобы нагреть это вещество на 60°C, если его масса увеличилась вдвое? (Ответ: 1500 Дж)
6. На какую величину меньшее количество теплоты выделится при остывании на $\Delta t = 30^\circ\text{C}$ глицерина массой 2 кг, чем при остывании подсолнечного масла массой 500 г на 20°C? Необходимые данные возьмите из таблицы 7.1. (Ответ: на 127 кДж)
7. Чтобы повысить температуру воды в бассейне шириной 12 м и длиной 25 м на 15°C, потребовалось количество теплоты, равное $5,67 \cdot 10^7$ кДж. Определите глубину бассейна. (Ответ: 3 м)
8. На рисунке 7.2 представлены графики зависимости температуры двух тел от количества теплоты, переданной этим телам. Массы тел одинаковы и равны 2 кг. Определите удельные теплоемкости этих тел.
(Ответ: 1 тело – $250 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$; 2 тело – $500 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$)

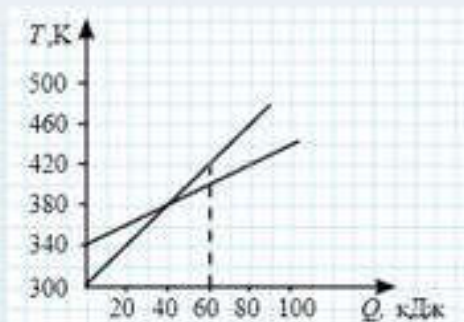


Рис. 7.2

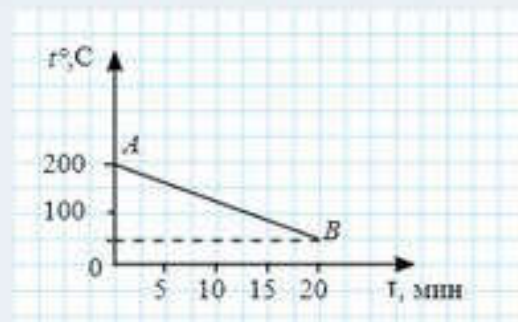


Рис. 7.3

9. На рисунке 7.3 изображен график изменения температуры алюминиевого бруска массой 2 кг. Какой процесс происходит? При этом количество теплоты поглощается или выделяется? Определите это количество теплоты.
(Ответ: выделяется $Q = 2756$ кДж)

Что вы усвоили по данной теме?

Насколько увлекательна и полезна была новая информация?	Что еще хотелось бы узнать по теме урока?	Какие вопросы возникли и кому бы вы их задали?

§ 8. Энергия топлива. Удельная теплота сгорания топлива



На этом уроке вы:

- изучите процесс выделения теплоты при сгорании топлива;
- научитесь рассчитывать количество теплоты, выделяемое при горении топлива.



Ключевые слова:

- ✓ топливо
- ✓ горение
- ✓ удельная теплота сгорания

Энергия топлива. Из опыта повседневной жизни вы хорошо знакомы с понятием “топливо”. Для изготовления пищи мы используем горение газа, для обогрева помещений, для выработки электроэнергии могут быть использованы газ или уголь.

Топливо — это горючее вещество, при сгорании которого выделяется достаточно большое количество тепловой энергии.

Все виды топлива можно разделить на твердые (уголь, дерево, торф), жидкие (нефть, бензин, мазут, керосин) и газообразные (природный газ) (рис. 81. а, б, в).

Сгорание топлива — это окислительная химическая реакция, при протекании которой атом углерода С соединяется с двумя атомами кислорода О, образуя молекулу углекислого газа CO_2 (рис. 8.2.).

Этот процесс сопровождается выделением теплоты.

Определим, от чего зависит количество теплоты, выделяемой при сгорании топлива.

1. Очевидно, что чем больше топлива мы сжигаем, тем больше теплоты выделяется: $Q \sim m$.

2. Количество теплоты, выделяемое при сжигании 1 кг дерева, отличается от количества теплоты, которое выделяется при сжигании 1 кг угля или нефти, значит, оно зависит от рода вещества.



Уголь



Дрова



Торф

а)



б)



в)

Рис. 8.1

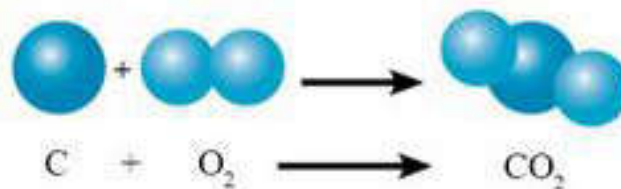


Рис. 8.2

Величину, определяющую теплотворную способность топлива, называют **удельной теплотой сгорания** :

$$Q \sim q.$$

Объединив два рассмотренных пункта, запишем:

$$Q = qm. \tag{8.1}$$

Отсюда

$$q = \frac{Q}{m}. \tag{8.2}$$

Величина, равная количеству теплоты, выделившейся при полном сгорании 1 кг топлива, называется **удельной теплотой сгорания топлива** .

Из формулы (8.2) следует, что единицей измерения удельной теплоты сгорания в системе СИ: $[q] = \left[\frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right]$.

Приведем значения удельной теплоты сгорания различных видов топлива и некоторых веществ (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Вещество	q , МДж/кг	Вещество	q , МДж/кг
Древесный уголь	29,7	Природный газ	44
Бурый уголь (Торгайский)	27—29	Каменный уголь (Карагандинский)	33,5
Дрова сухие	8,3	Коке	30,3
Торф	15,0	Порох	3,0
Бензин	46,0	Мазут	40,0
Дизельное топливо	42,0	Спирт этиловый	27,0
Керосин	46,0	Водород	120,0

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Наша страна располагает богатейшими топливно-энергетическими запасами. Приведем некоторые данные.

Нефть. Объем доказанных запасов нефти составляет 3,2% от общемировых запасов. Запасы нефти и газа сосредоточены в Атырауской, Мангыстауской, Актюбинской и Западно-Казахстанской областях.

Природный газ. Газовые запасы Казахстана оцениваются в ~1,82 трлн. м³, что составляет 1,7% от мировых запасов.

Уголь. Запасы угля в Казахстане оцениваются в 162 млрд. т, ежегодно добывается около 100 млн. т угля. Большинство месторождений каменного угля расположено в Карагандинской, Павлодарской и Костанайской областях. Наибольшее значение имеет Карагандинский угольный бассейн. Карагандинский уголь коксуется, и его качество очень высокое. Общий запас угля — 45 млрд. т.

В настоящее время самыми распространенными источниками энергии являются выше перечисленные органические виды топлива. При их сгорании в значительном количестве выделяются вредные вещества, такие как углекислый газ, зола, шлаки, металлы и их соли, хлор, оксиды серы, различные органические соединения и т. д. Все это загрязняет атмосферу, почву, воду, наносит значительный вред здоровью людей, ухудшает экологию. Особенно остро стоит экологическая проблема больших городов. Поэтому охрана окружающей среды, поиск экологически чистых видов топлива в наше время являются актуальными.



1. Какое вещество называется топливом?
2. От каких величин зависит количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива?
3. Что такое удельная теплота сгорания топлива?
4. Расскажите о топливно-энергетических запасах Казахстана.
5. Пользуясь таблицей 8.1, ответьте, какой вид топлива наилучший? Почему вы так думаете?



Проведите исследование и выясните, какие виды топлива и для каких целей используются в вашем регионе. Предложите пути снижения загрязнения окружающей среды при сгорании топлива. Напишите краткий рассказ.

Пример решения задачи

Какое количество каменного угля потребуется для нагревания 50 литров воды от 20°C до температуры 80°C , если 75% количества теплоты, выделившейся при сгорании угля, расходуется на нагревание воды?

<p><i>Дано :</i> $V_{\text{в}} = 50 \text{ л}$ $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$ $t_2 = 80^{\circ}\text{C}$ $q = 33,5 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ $\eta = 75\%$ $c_{\text{в}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$ $\rho_{\text{в}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ <hr/> $m = ?$</p>	<p>СИ $5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$</p>	<p><i>Решение :</i> При сгорании каменного угля массой m выделится количество теплоты: $Q = q \cdot m.$ Из таблицы 8.1 найдем удельную теплоту сгорания каменного угля $q = 33,5 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$. Из этого количества теплоты 75% идет на нагревание воды: $Q_1 = 0,75 Q. \quad (1)$</p>
---	---	--

Количество теплоты, необходимое для нагревания воды, определим из формулы (7.1):

$$Q_1 = c_{\text{в}} m_{\text{в}} (t_2 - t_1),$$

зная объем воды $V_{\text{в}}$, плотность $\rho_{\text{в}}$, найдем массу воды $m_{\text{в}} = \rho_{\text{в}} \cdot V_{\text{в}}$.

Подставим все в формулу (1):

$$c_s \rho_s V_s (t_2 - t_1) = 0,75 m q,$$

отсюда найдем искомую массу каменного угля:

$$m = \frac{c_s \cdot \rho_s \cdot V_s (t_2 - t_1)}{0,75 q} = \frac{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3 (80 - 20)^\circ\text{C}}{0,75 \cdot 33,5 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = 0,5 \text{ кг}.$$

Ответ : $m = 0,5 \text{ кг}$.



Упражнение 3

1. Сколько теплоты выделяется при сгорании сухих дров массой 5 кг?
(Ответ: 41,5 МДж)
2. Сколько теплоты выделится при сжигании 2 кг карагандинского угля?
(Ответ: 67 МДж)
- *3. Одинаково ли нагреется печь при сжигании 5 кг сухих дров и 5 кг торфа?
Ответ обоснуйте.
- *4. Сколько сухих дров понадобится для того, чтобы выделилось столько же теплоты, сколько и при сжигании 2 кг торфа?
(Ответ: 3,6 кг)
- *5. На сколько отличается количество теплоты, выделившейся при полном сжигании 3 кг бензина, от количества теплоты, выделившейся при сжигании такого же количества керосина?
(Ответ: 0 Дж)

Что вы усвоили по данной теме?

Насколько увлекательна и полезна была новая информация?	Что еще хотелось бы узнать по теме урока?	Какие вопросы возникли и кому бы вы их задали?

§ 9. Закон сохранения и превращения энергии в тепловых процессах



Ключевые слова:

- ✓ механическая энергия
- ✓ внутренняя энергия
- ✓ количество теплоты



На этом уроке вы:

- ознакомитесь с уравнением теплового баланса;
- научитесь применять закон сохранения энергии в тепловых процессах при решении задач.



Это вы знаете

Закон сохранения механической энергии: полная механическая энергия замкнутой системы тел (сумма кинетической и потенциальной энергии), взаимодействующих между собой посредством сил тяготения и упругости, остается неизменной.

Закон сохранения энергии справедлив для всех процессов, происходящих в природе, в том числе он выполняется и в тепловых явлениях. Мы знаем (§ 3) два способа изменения внутренней энергии: теплообмен

и совершение механической работы. В первом случае более горячее тело отдает тепло, более холодное его получает, во втором случае механическая энергия превращается во внутреннюю. Часть энергии и в первом, и во втором случаях рассеивается в окружающую среду. Теперь представим, что тела, участвующие в теплообмене, находятся в теплоизолированной оболочке (например, в калориметре). Тогда количество теплоты, которое отдает горячее тело, полностью получает более холодное тело. В этом суть закона сохранения энергии в тепловых процессах

$$Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$$

В теплоизолированной системе тел, если внутренняя энергия изменяется только в результате теплопередачи, суммарное значение количества теплоты, отданного более горячими телами, равно сумме количеств теплоты, полученных более холодными телами.

$$(Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots)_{\text{пол}} = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots)_{\text{отд}},$$

или
$$\Sigma Q_{\text{пол}} = \Sigma Q_{\text{отд}}; \quad (9.1)$$

здесь Σ (сигма) — знак суммы.

Выражение (9.1) называется **уравнением теплового баланса**.

Это вы знаете

В результате теплообмена тела приходят в состояние теплового равновесия, т.е. устанавливается одинаковая для всех этих тел температура.

Например, если смешать воду температурой 80°C с водой температуры 20°C , установится температура, рассчитать которую можно используя выражение (9.1), где количество полученной и отданной теплоты определяется формулой (7.1). В процессе теплопередачи горячие тела остывают, поэтому при расчете количества отданной теплоты по формуле (7.1) она получается отрицательной величиной, т.к. $t_2 < t_1$, или $\Delta t < 0$. Это указывает на то, что внутренняя энергия более горячего тела уменьшается. В уравнении (9.1) под $Q_{\text{отд}}$ понимают его модуль, т.е. численное значение. При решении задач обычно расчет отданного количества теплоты делают по формуле $Q_{\text{отд}} = cm(t_1 - t_2)$.



1. Назовите способы изменения внутренней энергии тел.
2. В каком направлении идет теплообмен между телами?
3. В чем суть закона сохранения энергии в процессах теплообмена?
4. Напишите уравнение теплового баланса, прокомментируйте его.

Примеры решения задач

1. В стакан с горячей водой, имеющей температуру 90°C , опустили серебряную ложку массой 240 г . Какая температура установится в стакане, если масса воды 200 г , а начальная температура ложки равна 15°C ? Теплообменом с окружающим воздухом пренебечь.

<p><i>Дано :</i> $m_{\text{в}} = 200\text{ г}$ $m_{\text{л}} = 240\text{ г}$ $t_{\text{в}} = 90^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{л}} = 15^{\circ}\text{C}$ $c_{\text{в}} = 4200\text{ Дж/кг} \cdot ^{\circ}\text{C}$ $c_{\text{с}} = 230\text{ Дж/кг} \cdot ^{\circ}\text{C}$</p>	<p>СИ $0,2\text{ кг}$ $0,24\text{ кг}$</p>	<p><i>Решение :</i> Воспользуемся уравнением теплового баланса. Поскольку вода имеет более высокую температуру, она отдает, а ложка получает теплоту. Количество теплоты, отданное водой:</p> $Q_1 = m_{\text{в}} c_{\text{в}} (t_{\text{в}} - t).$
<p>$t = ?$</p>		

Количество теплоты, полученное ложкой:

$$Q_2 = m_{\text{л}} c_{\text{с}} (t - t_{\text{л}}).$$

Согласно уравнению теплового баланса:

$$Q_1 = Q_2, \text{ или } m_{\text{в}} c_{\text{в}} (t_{\text{в}} - t) = m_{\text{л}} c_{\text{с}} (t - t_{\text{л}}).$$

$$m_{\text{в}} c_{\text{в}} t_{\text{в}} - m_{\text{в}} c_{\text{в}} t = m_{\text{л}} c_{\text{с}} t - m_{\text{л}} c_{\text{с}} t_{\text{л}}.$$

Отсюда определим искомую температуру:

$$t = \frac{m_{\text{в}} c_{\text{в}} t_{\text{в}} + m_{\text{л}} c_{\text{с}} t_{\text{л}}}{m_{\text{л}} c_{\text{с}} + m_{\text{в}} c_{\text{в}}} = \frac{0,2\text{ кг} \cdot 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot 90^{\circ}\text{C} + 0,24\text{ кг} \cdot 230 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot 15^{\circ}\text{C}}{0,24\text{ кг} \cdot 230 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}} + 0,2\text{ кг} \cdot 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}} \approx 85,37^{\circ}\text{C}.$$

Ответ : $t \approx 85,37^{\circ}\text{C}$.

2. Маме необходимо приготовить для купания малыша 10 л теплой воды температурой 36°C . Для этого у нее есть горячая вода при температуре 80°C и холодная вода, температура которой равна 16°C . Сколько холодной и сколько горячей воды нужно маме?

<p><i>Дано :</i> $V = 10\text{ л}$ $t = 36^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{гр}} = 80^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{хл}} = 16^{\circ}\text{C}$ $\rho_{\text{в}} = 1000\text{ кг/м}^3$</p>	<p>СИ 10^{-2} м^3</p>	<p><i>Решение :</i> Для решения задачи воспользуемся уравнением теплового баланса $Q_{\text{отд}} = Q_{\text{пол}}$. При смешивании горячей воды с холодной количество теплоты, которое отдает горячая вода:</p> $Q_1 = c m_1 (t_{\text{гр}} - t).$
<p>$V_1 = ? V_2 = ?$</p>		

Количество теплоты, которое получает холодная вода:

$$Q_2 = c m_2 (t - t_{\text{хл}}).$$

Запишем уравнение теплового баланса: $Q_1 = Q_2$, тогда

$$c m_1 (t_{\text{гр}} - t) = c m_2 (t - t_{\text{хл}}). \quad (1)$$

Массу воды выразим через ее объем и плотность:

$$m = \rho \cdot V = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10^{-2} \text{ м}^3 = 10 \text{ кг.}$$

Общая масса воды равна $m = m_1 + m_2 = 10 \text{ кг}$. Из последнего выражения найдем значение m_2 : $m_2 = m - m_1$ и подставим его в (1):

$$cm_1(t_{\text{гр.}} - t) = c(m - m_1)(t - t_{\text{хв.}}).$$

Отсюда определим:

$$m_1 t_{\text{гр.}} - m_1 t = mt - m_1 t - mt_{\text{хв.}} + m_1 t_{\text{хв.}}$$

$$m_1 = \frac{m(t - t_{\text{хв.}})}{t_{\text{гр.}} - t_{\text{хв.}}} = \frac{10 \text{ кг} (36 - 16)^\circ\text{C}}{(80 - 16)^\circ\text{C}} = 3,12 \text{ кг, } m_2 = 10 - 3,12 = 6,87 \text{ кг.}$$

Ответ : 3,12 литра горячей, 6,87 литра холодной воды.



Упражнение 4

В задачах теплообменом с окружающей средой пренебречь.

1. В воду массой 1 кг, взятой при температуре 20°C , добавили 1,5 кг горячей воды при температуре 60°C . Определите, какая установится температура. (Ответ: 44°C)
2. При охлаждении камня массой 5 кг на $\Delta t = 2^\circ\text{C}$ выделяется количество теплоты $Q = 4,2 \text{ кДж}$. Определите удельную теплоемкость камня. (Ответ: $420 \text{ Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$)
3. В воду массой 20 кг и температурой 27°C влили кипяток, в результате установилась температура 60°C . Определите массу кипятка. (Ответ: 16,5 кг)
4. В воду массой 0,1 кг при температуре 7°C опустили предмет массой 42 г и температурой 127°C , после чего установилась температура 17°C . Определите удельную теплоемкость тела. (Ответ: $909 \text{ Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$)
- *5. В воду массой 2 кг при температуре 20°C опустили латунный брусок массой 100 г, нагретый до температуры 80°C , и алюминиевый брусок массой 200 г и температурой 90°C . Какая установится температура? (Ответ: $21,76^\circ\text{C}$)
- *6. На нагревание металлического куска массой 1 кг на $\Delta t_1 = 2,3^\circ\text{C}$ было затрачено такое же количество теплоты, что и на нагревание 0,5 кг воды на $\Delta t_2 = 10^\circ\text{C}$. Определите удельную теплоемкость металла. (Ответ: $c = 913 \text{ Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$)
- *7. Какое количество сухих дров потребуется, чтобы довести до кипения 5 литров воды, взятой при температуре 20°C ? Считайте, что на нагревание воды идет половина всей затраченной тепловой энергии. (Ответ: 0,404 кг)
- *8. При ударе о плиту свинцового шарика, падающего с высоты 39 м, вся его механическая энергия превратилась в тепловую. На сколько градусов нагрелся шар? (Ответ: 3°C)
- *9. Составьте задачу по представленным данным и решите ее. Вода: $t_1 = 24^\circ\text{C}$; $t_2 = 60^\circ\text{C}$; $c_s = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$. Спирт: $m_c = 30 \text{ г}$, $q = 27 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$, $m_s = ?$

Что вы усвоили по данной теме?

Насколько увлекательна и полезна была новая информация?	Что еще хотелось бы узнать по теме урока?	Какие вопросы возникли и кому бы вы их задали?

Самое важное в главе

Тепловые явления

Тепловым движением называется непрерывное хаотическое движение молекул.

Температурой называется физическая величина, характеризующая тепловое состояние тела.

Внутренней энергией тела называется сумма кинетической и потенциальной энергии всех частиц, составляющих это тело.

Величина, равная изменению внутренней энергии тела в процессе теплопередачи, называется *количеством теплоты* Q .



Удельная теплоемкость — это физическая величина, равная количеству теплоты, необходимому для нагревания 1 кг данного вещества на 1°C:

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

Уравнение теплового баланса: $\sum Q_{\text{полн}} = \sum Q_{\text{отд}}$.

Агрегатные состояния вещества

ГЛАВА

2

В природе и в быту вы постоянно наблюдаете переход вещества из одного агрегатного состояния в другое: зимой замерзают реки, весной тает снег, испаряется вода в водоемах, образуются облака.

Одно и то же вещество может быть как твердым, так и жидким и даже газообразным.

Ранним летним утром можно увидеть, как на траве блестят капельки росы.

В морозный день мы любимся причудливыми ледяными узорами на оконном стекле.

Как происходят все эти явления? Почему мокрое белье быстрее высыхает в ветреную погоду?

Как объяснить образование пара при кипячении воды?

На производстве плавится металл, из которого потом отливают разные детали, которые затем остывают и отвердевают.

Как вы думаете, почему свинец и олово можно расплавить в домашних условиях, а железо — нельзя?



2

§ 10. Плавление и кристаллизация
твердых тел, температура плавления

Ключевые слова:

- ✓ плавление
- ✓ кристаллизация
- ✓ температура плавления

На этом уроке вы:

- изучите процесс перехода вещества из твердого состояния в жидкое и обратный процесс: переход из жидкого состояния в твердое.

Это вы знаете

Любое вещество состоит из молекул, а его физические свойства зависят от того, каким образом расположены молекулы и как они взаимодействуют между собой. В обычной жизни мы наблюдаем три агрегатных состояния вещества — твердое, жидкое и газообразное.



Рис. 10.1

жидкое — в воду. Если положить в ложку кусочек свинца или олова и подержать в пламени горелки (рис. 10.1), мы увидим, как свинец (олово) переходит в жидкое состояние. В таких случаях говорят, что твердое вещество расплавилось.

Зимой реки замерзают, вода переходит в твердое состояние. Жидкий металл при остывании отвердевает. В таких случаях говорят, что вещество кристаллизуется.



Заморозим воду в морозильной камере. Образовавшийся лед разобьем на небольшие кусочки и положим их в стакан с термометром. Измерим начальную температуру содержимого и начнем его нагревать (рис. 10.2, а). Сначала твердый лед нагревается и температура повышается. Но достигнув 0°C , температура перестает подниматься, несмотря на то, что мы все еще продолжаем процесс нагревания. Мы увидим, что лед начинает таять. И пока лед не растает полностью, его температура остается постоянной и равной 0°C (рис. 10.2, б, в).

После того, как весь лед растает, при дальнейшем нагревании температура воды быстро повышается. На рисунке 10.3 приведен график зависимости температуры

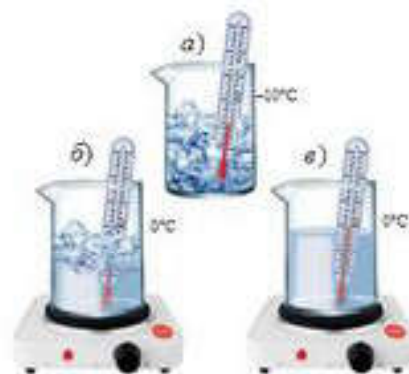


Рис. 10.2

льда от времени его нагревания и отвердевания при охлаждении. На участке AB повышается температура льда. Лед нагревается до температуры плавления (0°C), при этом ему сообщается количество теплоты Q_1 .

Участок BC соответствует процессу плавления льда, его температура остается постоянной и равной нулю, но процесс идет с поглощением количества теплоты Q_2 . Точка C соответствует состоянию, когда лед полностью растаял и образовалась вода с температурой, равной 0°C .

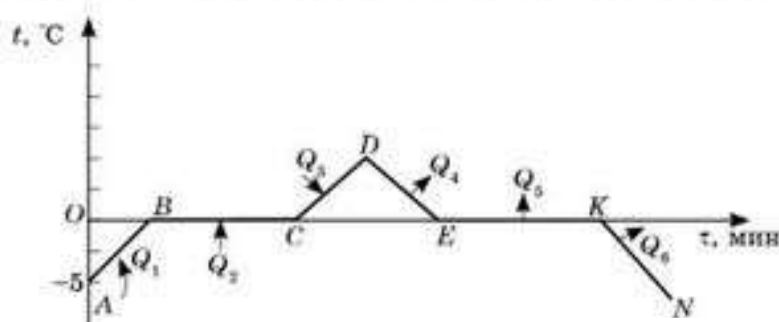


Рис. 10.3

При дальнейшем нагревании растет температура воды (участок CD), при этом передается количество теплоты Q_3 .

Процесс перехода вещества из твердого состояния в жидкое называется **плавлением**.

Почему при таянии льда его температура остается постоянной, хотя теплота к нему по-прежнему подводится? Ответить на этот вопрос вы сможете, вспомнив, чем отличается молекулярное строение вещества в жидком и твердом состояниях (7 кл, § 20). В кристаллических телах молекулы расположены очень близко и упорядоченно в узлах кристаллической решетки.

При плавлении твердого тела кристаллическая структура разрушается, изменяется потенциальная энергия взаимодействия молекул. При этом полученная извне тепловая энергия идет на повышение внутренней энергии тела. Но кинетическая энергия молекул не изменяется, температура постоянна. **Процесс плавления всегда идет с поглощением энергии.**

Температура, при которой твердое вещество переходит в жидкое состояние, называется **температурой плавления**. У каждого кристаллического тела своя постоянная температура плавления. Приведем значения температуры плавления некоторых веществ (табл. 10.1).

Таблица 10.1

Вещество	Температура плавления, $^\circ\text{C}$	Удельная теплота плавления, кДж/кг
1	2	3
Алюминий	660	321
Латунь	900	330
Медь	1083	175
Олово	232	59
Свинец	327	25

Продолжение

1	2	3
Серебро	960	88
Сталь	1400	82
Лед	0	330

Процесс плавления всех кристаллических тел происходит так же, как и таяние льда. Характеристики процесса, естественно, у разных веществ различны (например, температура плавления).

Это вы знаете

У аморфных твердых тел молекулы расположены беспорядочно. В этом они похожи на жидкость большой плотности.

Если нагревать аморфное тело (парафин, стекло), то температура у него повышается постепенно. Аморфное тело целиком и постепенно размягчается и превращается в жидкость, у него нет постоянной температуры плавления.

Кристаллизация. Если жидкость охлаждать, то при достижении определенной температуры она отвердевает. Продолжим наш опыт, но вместо нагревания начнем охлаждать наш стакан с водой. Для этого можно поместить его в большое количество льда низкой температуры. Сначала вода будет охлаждаться (рис. 10.3, участок DE с выделением Q_4). Достигнув температуры 0°C (точка E), дальше температура не меняется, а вода начинает превращаться в лед. Этот процесс называется *кристаллизацией*. Процесс кристаллизации идет на участке EK (с выделением Q_5). Когда вся вода полностью превратится в лед, при дальнейшем охлаждении температура льда будет понижаться (участок KN с выделением Q_6).

Процесс перехода вещества из жидкого состояния в твердое кристаллическое называется **кристаллизацией**.

Кристаллизация идет с выделением теплоты. При этом происходит уменьшение внутренней энергии вещества.

Температура кристаллизации вещества равна его температуре плавления:

$$T_{\text{пл}} = T_{\text{крист}}$$

ЭТО ИНТЕРЕСНО!



Рис. 10.4. Сплав Вуда мягкий припой при пайке различных сплавов таких металлов, как бронза, латунь, никель, медь, алюминий и др.

Существует очень легкоплавкий тяжелый сплав, полученный в 1960 году ученым Б. Вудом, так называемый *сплав Вуда*, температура плавления которого равна $68,5^\circ\text{C}$. Сплав Вуда легко можно расплавить в горячей воде температурой около 70°C ! Состав сплава Вуда: 25% свинца, 12,5% олова, 12,5% кадмия, 50% висмута. Сплав Вуда широко используется при изготовлении предохранителей для различных приборов безопасности, а также как припой для пайки различных сплавов таких металлов, как бронза, латунь, никель, медь, алюминий и др.



1. Какой процесс называется плавлением?
2. Чем отличается кристаллическое вещество от аморфного?
3. Что такое температура плавления?
4. Почему в процессе плавления кристаллического вещества его температура не изменяется, несмотря на то, что теплота все время подводится?
5. Какой процесс называется кристаллизацией?
6. Объясните по рисунку 10.3, как происходит процесс таяния льда и кристаллизации воды?



Упражнение 5

- *1. Исследуйте график, представленный на рисунке 10.5, и ответьте на вопросы:
 - 1) Какие процессы происходят на участках AB , CD ?
 - 2) В каком агрегатном состоянии находится вещество на участке AB , на участке CD ?
 - 3) Какой процесс происходит на участке BC ? Сколько времени длился этот процесс?
 - 4) Какова начальная температура вещества?
 - 5) Какое это вещество? Как это можно определить по графику?
- *2. По графику, приведенному на рисунке 10.6, опишите процессы, происходящие на участках AB , BC и CD . Какое это вещество? Как изменялась средняя кинетическая энергия молекул на этих участках?
- *3. Небольшой кусок свинца, взятого при температуре 27°C , за 15 минут нагрели до температуры 500°C . Постройте график этого процесса и охарактеризуйте каждый его участок.

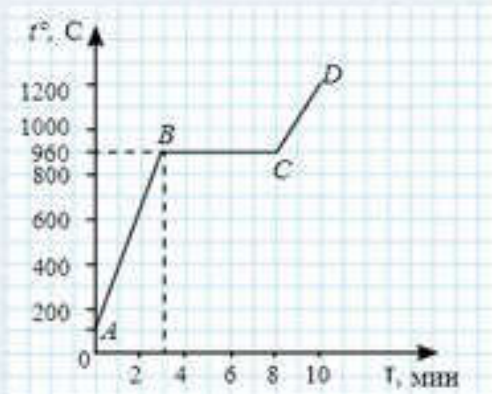


Рис. 10.5

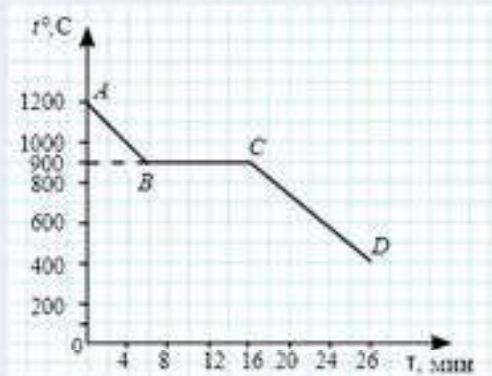


Рис. 10.6



1. Когда на улице температура равна 0°C , снег не тает. А если занести его в теплую комнату, он начинает таять. Почему? Ответ обоснуйте.
- *2. В сосуде находятся лед и вода в одинаковом количестве при температуре 0°C . Одинакова ли их внутренняя энергия? Ответ обоснуйте.

Что вы усвоили по данной теме?

Что вас заинтересовало или удивило сегодня на уроке?	Какая информация имеет практический интерес?	Какие понятия вызвали трудности в их усвоении?

§ 11. Удельная теплота плавления



Ключевые слова:

✓ **удельная теплота плавления**

На этом уроке вы:

- ознакомитесь с понятием удельной теплоты плавления;
- научитесь рассчитывать количество теплоты, необходимое для плавления твердого вещества.



Мы выяснили, что процесс плавления всегда идет с поглощением теплоты. Какое количество теплоты необходимо передать кристаллическому веществу, чтобы расплавить его?

Очевидно, что чем больше масса вещества, тем большее количество теплоты нужно затратить для его плавления. Например, чтобы расплавить 2 кг льда, необходимо подвести в два раза больше теплоты, чем для плавления 1 кг льда. Поэтому логично записать: $Q \sim m$.

Теперь возьмем два разных вещества, например, лед и свинец одинаковой массы. Одинаковое ли количество теплоты необходимо, чтобы их расплавить? Нет. Возникает вопрос: почему? Потому что в процессе плавления количество подводимой теплоты затрачивается на разрушение упорядоченной кристаллической структуры вещества и, как следствие, увеличение внутренней энергии. Так как у разных тел разное строение, то сила взаимодействия между молекулами тоже разная и, следовательно, для разрушения кристаллической структуры разных веществ тратится разное количество тепла. Чтобы учесть эту зависимость, вводят специальную величину, которая называется *удельной теплотой плавления*.

Физическая величина, равная количеству теплоты, которое необходимо передать кристаллическому веществу массой 1 кг, взятого при температуре плавления, для его перехода в жидкое состояние, называется удельной теплотой плавления.

Обозначается удельная теплота буквой λ (лямбда). Таким образом, количество теплоты для плавления вещества пропорционально удельной теплоте плавления:

$$Q \sim \lambda m.$$

Тогда количество теплоты, необходимое для плавления вещества массой m , определяется выражением:

$$Q = \lambda m. \quad (11.1)$$

Количество теплоты, выделяемое при кристаллизации вещества, также определяется выражением (11.1).

Из (11.1) следует:

$$\lambda = \frac{Q}{m}. \quad (11.2)$$

Единица измерения удельной теплоты плавления в системе СИ:

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

Удельная теплота плавления некоторых веществ приведена в таблице 10.1.



1. Дайте определение удельной теплоты плавления.
2. Как можно определить количество теплоты, необходимое для плавления кристаллического вещества?
3. Как изменяется внутренняя энергия твердого тела при его плавлении?
4. Почему в процессе плавления твердого вещества температура остается постоянной, несмотря на то, что теплота непрерывно подводится?
5. Почему в стальной ложке на пламени горелки можно расплавить кусочек олова или свинца, а такой же кусочек меди нет?



1. Почему в гололед дороги посыпают солью? Ответ обоснуйте.
2. В экспериментах по изучению тепловых явлений для обеспечения теплоизоляции во время опыта используется специальный прибор — калориметр. Изучите устройство школьного калориметра. Составьте презентацию по теме "Калориметр".



Сделайте калориметр сами. Ваша задача — подобрать по размеру стаканы: внутренний, примерно на 150–200 мг, внешний, желателно пластмассовый, чтобы обеспечить хорошую теплоизоляцию между стаканами. На крышке просверлите отверстие, через которое можно будет вставить термометр во внутренний стакан.

Пример решения задачи

В воду массой 500 г и температурой 40°C положили 200 г льда при температуре 0°C. Какая температура установится?

<p><i>Дано :</i></p> <p>$m_в = 500 \text{ г}$</p> <p>$t_в = 40^\circ\text{C}$</p> <p>$m_л = 200 \text{ г}$</p> <p>$t_л = 0^\circ\text{C}$</p> <p>$c_в = 4200 \text{ Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$</p> <p>$\lambda = 333000 \text{ Дж/кг}$</p> <hr/> <p>$t = ?$</p>	<p>СИ</p> <p>0,5 кг</p> <p>0,2 кг</p>	<p><i>Решение :</i></p> <p>Вода отдает количество теплоты, равное: $Q_1 = c_в m_в (t_в - t)$.</p> <p>В процессе таяния лед получает количество теплоты, равное $\lambda m_л$.</p> <p>Для нагревания полученной холодной воды (при температуре 0°C) необходимо затратить количество теплоты $c_в m_л (t - t_л)$.</p>
--	--	--

Таким образом, лед получает количество теплоты, равное:

$$Q_2 = \lambda m_л + c_в m_л (t - t_л).$$

Составим уравнение теплового баланса:

$$c_2 m_2 (t_2 - t) = c_1 m_1 (t - t_1) + \lambda m_1.$$

Учитывая, что $c_2 m_2 t_2 = 0$, определим искомую температуру t :

$$t = \frac{c_2 m_2 t_2 - \lambda m_1}{c_2 m_2 + c_1 m_1} = \frac{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,5 \text{ кг} \cdot 40^\circ\text{C} - 333000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 0,2 \text{ кг}}{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,5 \text{ кг} + 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,2 \text{ кг}} = 6^\circ\text{C}.$$

Ответ : установится температура, равная 6°C .



Упражнение 6

1. Какое количество льда, взятого при температуре 0°C , можно растопить, затратив количество теплоты 1700 Дж ?
(Ответ: 5 г)
2. Какое количество теплоты необходимо затратить, чтобы расплавить 100 г олова, взятого при температуре плавления?
(Ответ: 5900 Дж)
3. Какое количество тепла потребуется для плавления серебра массой $0,5 \text{ кг}$, взятого при температуре 20°C ?
(Ответ: 152 кДж)
4. Во сколько раз количество теплоты, выделившееся при отвердевании 2 кг меди, взятого при температуре плавления, больше, чем количество теплоты, которое выделяется при кристаллизации свинца массой 3 кг , взятого при температуре плавления?
(Ответ: 4,7 раз)
5. Свинцовый шар, температура которого равна 20°C , со скоростью 300 м/с ударился о стенку и остановился. Какая часть свинца при этом расплавилась? Считать, что вся энергия, выделившаяся при ударе, полностью поглощена свинцом.
(Ответ: 0,204)
6. Какое количество теплоты требуется для того, чтобы из льда массой 10 кг , взятого при температуре $t_1 = -10^\circ\text{C}$, получить воду при температуре $t_2 = 20^\circ\text{C}$?
(Ответ: 4,26 МДж)
7. Составьте две задачи по приведенным данным и решите их.

$$1) Q_1 = Q_2, \lambda_1 = 321 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, t_1 = t_{\text{пл}}, \lambda_2 = 175 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, t_2 = t_{2\text{пл}}, m_2 - ?$$

$$2) m_1 = 2 m_2, \lambda_1 = 321 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, t_1 = t_{\text{пл}}, \lambda_2 = 175 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, t_2 = t_{2\text{пл}}, \frac{Q_1}{Q_2} - ?$$

Что вы усвоили по данной теме?

Что вас заинтересовало или удивило сегодня на уроке?	Какая информация имеет практический интерес?	Какие понятия вызвали трудности в их усвоении?

§ 12. Парообразование и конденсация. Ненасыщенные и насыщенные пары



На этом уроке вы:

- ознакомитесь с процессами парообразования и конденсации.



Ключевые слова:

- ✓ парообразование
- ✓ конденсация
- ✓ насыщенные пары
- ✓ ненасыщенные пары

Мы изучили процессы плавления и кристаллизации. Теперь рассмотрим явления перехода жидкости в газообразное состояние, а также обратный переход из газообразного в жидкое состояние.

Парообразование и конденсация. Поставим чайник с водой на плитку и начнем его нагревать. Когда вода закипит, мы увидим, что из носика чайника будет идти пар (рис. 12.1). При кипении над ее поверхностью идет интенсивное парообразование, так как крышка чайника закрыта, пар выходит наружу из носика.

Процесс перехода жидкости в газообразное состояние называется парообразованием.

Есть два вида парообразования: **испарение и кипение**. Процессы испарения мы наблюдаем всюду: и в природе, и в быту. Мокрая одежда после стирки высыхает, образовавшиеся после дождя лужи, разлитые жидкости также высыхают и исчезают.

Процесс парообразования со свободной поверхности жидкости называется испарением.

Рассмотрим, почему происходит испарение. Мы знаем, что молекулы жидкости находятся в постоянном хаотическом движении. Также они взаимодействуют друг с другом, испытывают притяжение. Численные значения скорости отдельных молекул значительно отличаются друг от друга. Если какая-нибудь “быстрая” молекула случайно окажется вблизи поверхности жидкости, она может вылететь из нее, преодолев притяжение соседних молекул. Так как число молекул огромное, всегда найдется достаточное количество таких молекул.

Если учесть, что тепловое движение молекул никогда не прекращается, можно утверждать, что *испарение жидкости идет при любой температуре*. Но с ростом температуры испарение идет интенсивнее.



Рис. 12.1

Представьте себе, что вы находитесь в бассейне. Вам хорошо знакомо чувство холода при выходе из бассейна. Даже просто вымыв руки, можно ощутить прохладу, если их не вытирать. Получается, при испарении жидкость охлаждается. Как мы выяснили ранее, при испарении жидкость покидают “самые быстрые” молекулы, поэтому средняя кинетическая энергия оставшихся молекул уменьшается. Кроме того, вылетающим молекулам надо преодолеть силы притяжения со стороны остальных молекул, на это также нужно затратить энергию, а извне тепло не подводится. В результате при испарении внутренняя энергия жидкости уменьшается, происходит ее охлаждение. Следовательно, при испарении температура тел, контактирующих с жидкостью, понижается, т. к. они отдают свою энергию жидкости. Поэтому, когда выходите из озера или моря на берег, вы чувствуете холод. Это вода, испаряясь, забирает тепло у вашего тела. Эти факты говорят о том, что процесс испарения идет с поглощением энергии. Итак, *процесс испарения идет с поглощением энергии.*

Когда постиранное белье быстрее высохнет: в жаркую или холодную погоду? Ответ вы знаете: чем выше температура, тем быстрее высыхает белье. А значит, *скорость испарения прямо пропорциональна температуре жидкости*, в данном случае температуре воды в мокром белье. Никто не сушит белье, сложив его в рулон, так оно не высохнет. Мы аккуратно расправляем его, прежде чем вывесить, тем самым увеличиваем свободную поверхность белья и вместе с ним и воды в нем. Мы также знаем, что вода из плоской тарелки испарится быстрее, чем из стакана. *Скорость испарения зависит от площади свободной поверхности жидкости: чем она больше, тем больше число быстрых молекул вблизи этой поверхности, тем больше скорость испарения.*

Нальем в три одинаковые плоские тарелки небольшое количество спирта, воды и растительного масла. Спирт испарится очень быстро, вода — через несколько часов, а масло пролежит в тарелке несколько дней. Значит, *скорость испарения зависит от рода жидкости*.

Когда наше белье высохнет быстрее: в ветреную или тихую погоду? Ответ вам также известен из вашего повседневного опыта. *Скорость испарения зависит от движения воздуха над свободной поверхностью жидкости.* Молекулы, вылетевшие из жидкости, некоторое время находятся вблизи ее поверхности, они движутся хаотично, при этом сталкиваются с другими молекулами, вылетевшими из жидкости, и молекулами воздуха. В результате некоторые из них могут обратно вернуться в жидкость. А если над поверхностью дует ветер, то он уносит вылетающие молекулы и испарение идет быстрее.

Те молекулы, которые обратно возвращаются в жидкость, участвуют в обратном переходе вещества из газообразного состояния в жидкое состояние.

Конденсацией называется процесс перехода вещества из газообразного в жидкое состояние.

Отключим чайник (рис. 12.1) от нагревателя и подождем некоторое время. Когда он немного остынет, откроем крышку. На внутренней поверхности крышки чайника можно увидеть капельки воды. Это результат конденсации водяного пара, который во время нагрева воды заполнил все пространство над ней. При остывании пар конденсируется, превращаясь обратно в воду. Да и пар из носика чайника с кипящей водой — это на самом деле очень мелкие капельки воды, которые образуются при охлаждении пара при комнатной температуре, т. е. мы видим капельки конденсированной воды. Водяной пар — это прозрачное газообразное состояние воды, он невидим. Хорошо нам знакомый туман также состоит из мелких капелек конденсированной воды, так же как и облака. Еще одно проявление конденсации воды — появление росы на траве ранним летним утром.

Явления испарения и конденсации водяного пара в природе порождают величественный круговорот воды в природе (рис. 12.2). С поверхностей морей и океанов вода в большом количестве испаряется, поднимается вверх, где конденсируется и остывает. Образуются облака, которые под действием ветров перемещаются. Когда капельки воды становятся достаточно большими, они в виде осадков опять падают на Землю.

В процессе конденсации происходит выделение тепловой энергии.

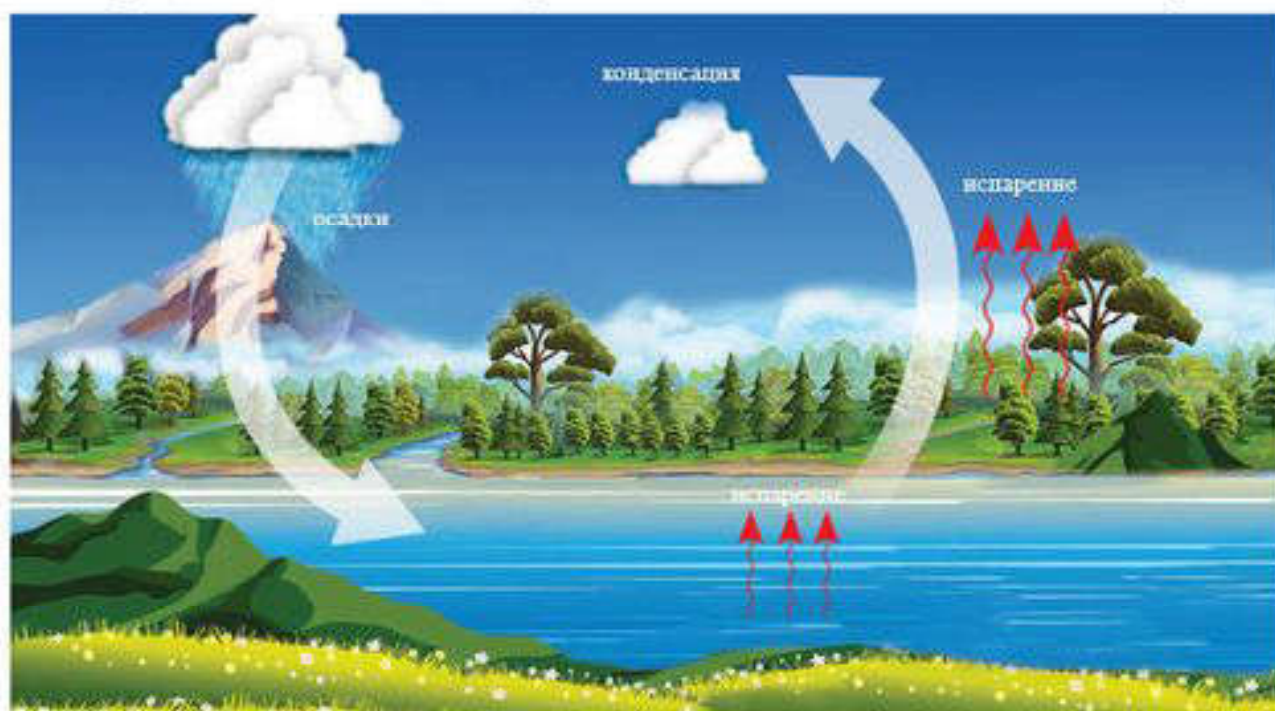


Рис 12.2

Помимо испарения, возможен процесс перехода твердого вещества в газообразное состояние. Это явление называется **сублимацией**, или **возгонкой**. Сублимация также идет с поглощением энергии. Примером сублимации может служить высушивание белья в морозную погоду.

Обратный процесс — переход из газообразного состояния в твердое называется **десублимацией**. Примеры десублимации — появление ледяных узоров на оконном стекле в морозную погоду, иней на поверхности земли, изморозь на ветвях деревьев.

Насыщенные и ненасыщенные пары.

Над поверхностью жидкости всегда есть определенное количество паров этой жидкости. Как было рассмотрено выше, испарение жидкости происходит при любой температуре, но одновременно идет и обратный процесс, при котором часть молекул обратно возвращается в жидкость. Если свободная поверхность жидкости открытая, как на рисунке 12.3, б, то количество молекул, покидающих жидкость, будет все же больше, чем возвращающихся обратно в жидкость. Такой пар называется **ненасыщенным**. Если сосуд с жидкостью закрыть, как показано на рисунке 12.3, а, то пар над поверхностью жидкости не рассеивается в пространство. Через некоторое время количество молекул, покидающих жидкость в единицу времени, будет равно количеству молекул, обратно возвращающихся в жидкость за такое же время. В таком случае говорят, что **пар находится в динамическом равновесии со своей жидкостью**. Такой пар называется **насыщенным**.

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

Давление насыщенного пара не зависит от его объема, но зависит от температуры: чем выше температура, тем больше давление.

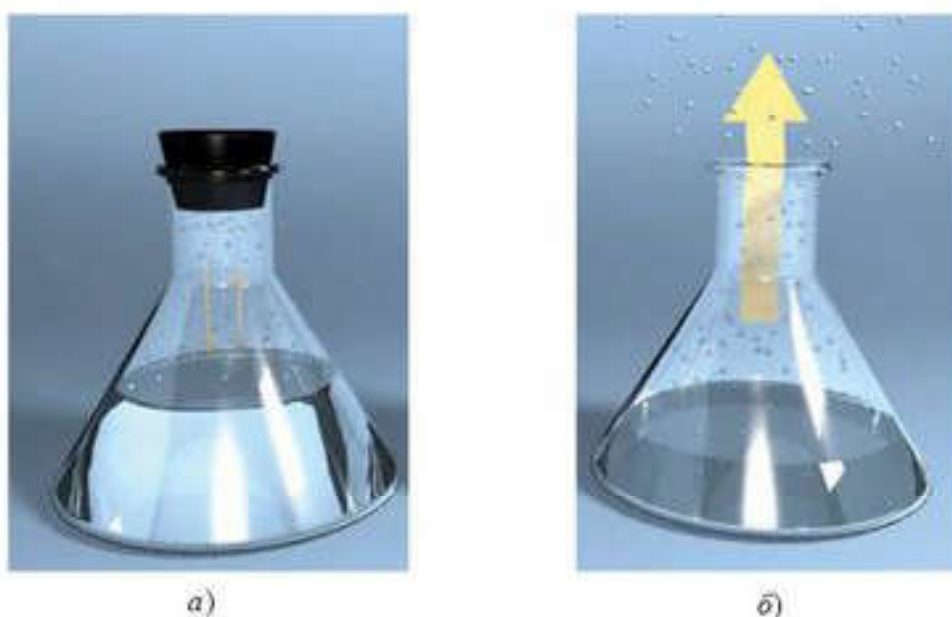


Рис. 12.3



1. Какой процесс называется парообразованием?
2. Что такое испарение?
3. Как зависит скорость испарения от температуры жидкости? Ответ обоснуйте.
4. Как зависит скорость испарения от площади свободной поверхности жидкости, рода жидкости и внешних условий?
5. Как изменяется внутренняя энергия жидкости при испарении? Почему?
6. В морозный день изо рта прохожих идет пар. Как это можно объяснить?
7. Что такое конденсация?
8. Какой процесс называется сублимацией? Десублимацией?
9. Какой пар называется насыщенным? Ненасыщенным?
10. От чего зависит давление насыщенного пара?



Опишите круговорот воды в природе. Какое значение он имеет для жизни на Земле? Подготовьте презентацию.



Исследование испарения воды в закрытом сосуде.

Возьмите два одинаковых стакана. Налейте в них одинаковое количество воды комнатной температуры. Маркером отметьте начальный уровень воды. Один стакан закройте крышкой, второй оставьте открытым и поставьте оба стакана в теплое место. Через два-три дня опять отметьте уровни воды в стаканах. Сделайте выводы.

Что вы усвоили по данной теме?

Что вас заинтересовало или удивило сегодня на уроке?	Какая информация имеет практический интерес?	Какие понятия вызвали трудности в их усвоении?

§ 13. Кипение, удельная теплота парообразования. Зависимость температуры кипения от внешнего давления



На этом уроке вы:

- изучите процесс кипения жидкости;
- ознакомитесь с понятием удельной теплоты парообразования, научитесь определять количество теплоты при парообразовании;
- установите зависимость температуры кипения от внешнего давления.



Ключевые слова:

- ✓ кипение
- ✓ температура кипения
- ✓ удельная теплота парообразования

Кипение. Явление кипения воды нам хорошо известно из повседневной жизни. В быту мы постоянно кипятим воду, будь то заваривание чая, приготовление горячей пищи. Изучим процесс кипения подробнее.



Проведем небольшой эксперимент (рис. 13.1). Поставим на плиту сосуд с водой и начнем нагревать. Мы увидим, что через некоторое время на дне и стенках посуды начинают появляться маленькие пузырьки, образованные растворенным в воде воздухом, в котором присутствует водяной пар. При нагревании воды с ростом температуры давление насыщенных паров воды внутри пузырьков увеличивается и они растут. С увеличением объема пузырьков увеличивается и действующая на них сила Архимеда. Когда объем пузырька станет достаточно большим, под действием выталкивающей силы он отрывается от дна и поднимается вверх. Если вода еще не прогрелась достаточно по всему объему и температура ее верхних слоев ниже, чем у дна сосуда, то внутри пузырька часть пара конденсируется. Пузырьки уменьшаются в размере и опускаются вниз, где снова увеличиваются и поднимаются вверх. При этом издается знакомый нам шум закипающей воды. С увеличением температуры давление насыщенного пара внутри пузырьков увеличивается, и когда она превысит внешнее давление, пузырьки лопаются. Когда вода хорошо прогреется по всему объему, температура верхних и нижних слоев воды сравняется. При этом пузырьки, поднимаясь вверх, еще больше увеличиваются в объеме, лопаются по всему объему воды и выбрасывают наружу пар. Вода сильно бурлит, клокочет, она закипела.



Рис. 13.1

Процесс интенсивного парообразования, происходящий во всем объеме жидкости, называется кипением. При нагревании воды можно увидеть, что в домашних условиях она закипает при температуре, близкой к 100°C и не изменяется, пока вода кипит. Это и есть температура кипения воды.

Температура, при которой жидкость кипит, называется температурой кипения.

У разных жидкостей температура кипения различна. Это объясняется различной силой взаимодействия молекул друг с другом. Кроме этого, температура кипения жидкости зависит от внешнего давления. Чем выше внешнее давление, тем больше температура кипения. Обычно указывается температура кипения жидкости при нормальном атмосферном давлении. В разных местах земной поверхности атмосферное давление немного отличается от нормального, поэтому значение температуры кипения жидкости тоже колеблется. Например, в высокогорье температура кипения воды ниже, чем в равнинной местности, а при нормальном атмосферном давлении она равна 100°C .

Во время кипения воды температура ее не изменяется, но если перестать ее нагревать, кипение прекратится. Для поддержания кипения надо постоянно подводить тепло, т. е. кипение жидкости идет с поглощением энергии. *Количество теплоты, необходимое для перевода жидкости в пар, зависит от рода жидкости и от ее массы.*

Физическая величина, равная количеству теплоты, которое необходимо сообщить 1 кг жидкости, чтобы полностью превратить ее в пар при неизменной температуре, называется **удельной теплотой парообразования**.

Из определения удельной теплоты парообразования можно записать:

$$r = \frac{Q}{m}, \quad (13.1)$$

где r — удельная теплота парообразования, m — масса жидкости, Q — количество теплоты, переданное жидкости для ее превращения в пар.

Из (13.1) следует, что единицей измерения удельной теплоты парообразования в системе СИ является:

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

Приведем значения температуры кипения и удельной теплоты парообразования для некоторых жидкостей при нормальном атмосферном давлении.

Таблица 13.1

Вещество	Температура кипения, °С	Удельная теплота парообразования, МДж/кг
Вода	100	2,25
Спирт	78	0,853
Ртуть	357	0,284

Из формулы (13.1) легко определить количество теплоты, необходимое для превращения жидкости в пар при неизменной температуре:

$$Q = rm. \quad (13.2)$$

Опытным путем можно определить, что количество теплоты, которое выделяется в процессе конденсации пара, равно количеству теплоты, необходимого для образования этого пара из жидкости.

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Мы уже знаем, что температура кипения зависит как от рода вещества, так и от внешних условий, например, от давления. Оказывается, есть еще один фактор, определяющий температуру кипения. При внимательном наблюдении за кипящей в сосуде водой можно заметить, что первые пузырьки появляются на мелких шероховатостях сосуда и вокруг мелких посторонних частиц. Хорошо очищенную воду в сосуде с гладкими стенками можно нагревать до температур значительно выше 100°C, и она не кипит. Это относится и к другим жидкостям. Таким способом воду можно нагреть до 130°C. Такая вода называется **перегретой**.



Кипение воды при низком давлении.
Зальем в банку, примерно до половины, воду при комнатной температуре, и поместим ее под купол вакуумного насоса, как показано на рисунке 13.2. Откачивая воздух, будем наблюдать за состоянием воды в банке. Когда давление под куполом достигнет значения примерно 0,04 от атмосферного, вода закипит.



Рис. 13.2



1. Дайте определение кипения жидкости.
2. Что такое температура кипения?
3. Почему температура кипящей жидкости не меняется, хотя теплота непрерывно подводится?
4. От чего зависит температура кипения?
5. Дайте определение удельной теплоты парообразования.
6. Чем отличаются процессы испарения и кипения? Что у них общего?
7. Как определяется количество теплоты, необходимое для превращения жидкости в пар, взятой при температуре кипения?

Пример решения задачи

1. Какое количество теплоты нужно затратить, чтобы 2 кг воды, взятой при температуре 20°C, полностью превратить в пар?

<p><i>Дано :</i> $m = 2 \text{ кг}$ $t_1 = 20^\circ\text{C}$ $t_2 = 100^\circ\text{C}$ $c = 4200 \text{ Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$ $r = 2,25 \text{ МДж/кг}$ <hr/> $Q = ?$</p>	<p>СИ</p> $2,25 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$	<p><i>Решение :</i> Процесс парообразования происходит при кипении воды, поэтому сначала ее надо нагреть до температуры кипения, для этого нужно затратить количество теплоты $Q_1 = cm(t_2 - t_1)$.</p>
--	--	---

Чтобы превратить воду при 100°C в пар, необходимо количество теплоты $Q_2 = rm$. Тогда искомое количество теплоты:

$$Q = Q_1 + Q_2,$$

или

$$Q = cm(t_2 - t_1) + rm = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 2 \text{ кг} \cdot (100 - 20)^\circ\text{C} + 2,25 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 2 \text{ кг} = 5,67 \text{ МДж}.$$

Ответ : $Q = 5,67 \text{ МДж}.$



Упражнение 7

1. Какое количество теплоты необходимо для того, чтобы 3 кг спирта, взятого при температуре кипения, полностью превратить в пар?
(Ответ: 2,56 МДж)
2. Чтобы превратить в пар воду при температуре кипения, потребовалось количество теплоты $Q = 10$ МДж. Какова масса этой воды?
(Ответ: 4,4 кг)
3. Какую массу спирта при температуре 78°C можно превратить в пар, израсходовав на это 4,3 МДж количества теплоты?
(Ответ: 5 кг)
4. Какую массу воды, взятой при температуре 30°C , можно полностью превратить в пар, затратив количество теплоты 250 Дж?
(Ответ: 0,1 г)
5. Какую массу воды, взятой при температуре $t = 20^\circ\text{C}$, можно полностью превратить в пар, затратив $Q = 1000$ Дж?
(Ответ: 0,38 г)
6. Определите количество теплоты, необходимое для полного превращения в пар 2 кг льда, взятого при температуре 0°C .
(Ответ: 6 МДж)
7. Сколько керосина надо сжечь, чтобы 2 кг льда, взятого при температуре 0°C , полностью превратить в пар? Считайте, что все количество теплоты, выделившееся при сгорании керосина, передается льду (воде).
(Ответ: 0,14 кг)

Что вы усвоили по данной теме?

Что вас заинтересовало или удивило сегодня на уроке?	Какая информация имеет практический интерес?	Какие понятия вызвали трудности в их усвоении?

Самое важное в главе

Агрегатные состояния веществ

Процесс перехода вещества из твердого состояния в жидкое называется *плавлением*.

Температура, при которой твердое вещество переходит в жидкое состояние, называется *температурой плавления*.

Кристаллизацией называется процесс перехода жидкости в твердое кристаллическое состояние.

Физическая величина, равная количеству теплоты, которую необходимо передать кристаллическому веществу массой 1 кг при температуре плавления для его перехода в жидкое состояние, называется *удельной теплотой плавления*.

Количество теплоты, необходимое для плавления вещества определяется выражением:

$$Q = \lambda m.$$

Парообразованием называется процесс перехода жидкости в газообразное состояние.

Процесс парообразования со свободной поверхности жидкости называется *испарением*.

Конденсацией называется процесс перехода вещества из газообразного в жидкое состояние.

Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называется *насыщенным*.

Процесс интенсивного парообразования, происходящий во всем объеме жидкости, называется *кипением*.

Физическая величина, равная количеству теплоты, которое необходимо сообщить 1 кг жидкости, взятой при температуре кипения, чтобы полностью превратить ее в пар, называется *удельной теплотой парообразования*.

Количество теплоты, необходимое для превращения жидкости в пар при неизменной температуре, определяется выражением:

$$Q = r m.$$

Основы термодинамики

ГЛАВА

3

В повседневной жизни мы постоянно пользуемся автомобилями, мотоциклами, тепловозами, самолетами.

Как они работают?

Какую энергию они используют?

Как работа двигателей этих машин влияет на окружающую среду?



Мы на Земле пользуемся разными видами энергии: энергией Солнца, энергией топлива, электрической энергией, энергией ветра, воды и т. д.

Какую энергию потребляют тепловые машины?

Как они превращают ее в работу?



Жители мегаполиса ежедневно встречаются с огромными потоками машин, которые отравляют воздух, создают загазованность в атмосфере.

Можно ли бороться с этими негативными воздействиями? Каким образом?



3

§ 14. Первый закон термодинамики. Работа газа и пара



Ключевые слова:

- ✓ внутренняя энергия
- ✓ работа газа
- ✓ количество теплоты



На этом уроке вы:

- научитесь рассчитывать работу газа, объяснять и применять первый закон термодинамики.



Любое тело состоит из молекул или атомов, которые находятся в непрерывном хаотичном движении и взаимодействуют друг с другом. Следовательно, они обладают кинетической и потенциальной энергией. В § 3 было введено понятие внутренней энергии тела, которая определяется как сумма кинетической и потенциальной энергии всех молекул этого тела. Внутреннюю энергию обозначают буквой U . И тогда согласно определению:

$$U = \Sigma E_k + \Sigma E_p. \quad (14.1)$$

Внутренняя энергия зависит от внутреннего состояния тела.



- Предложите способы изменения внутренней энергии, используя формулу 14.1.

Следовательно, изменить внутреннюю энергию тела (газа) можно двумя способами: изменить кинетическую энергию молекул или их потенциальную энергию. В первом случае необходимо изменить температуру тела (газа), т. е. нагреть или охладить его. Во втором случае необходимо изменить расстояние между молекулами, т. е. сжать газ. В первом случае телу (газу) сообщают энергию, которую называют количеством теплоты Q . Эту энергию тело (газ) получает или отдает в процессе теплопередачи. Во втором случае над телом (газом) необходимо совершить работу по его сжатию A' . Эту работу будет совершать внешняя сила $F_{\text{вн}}$, действующая, например, со стороны поршня на газ в цилиндре (рис. 14.1). С учетом вышесказанного получим:

$$\Delta U = Q + A', \quad (14.2)$$

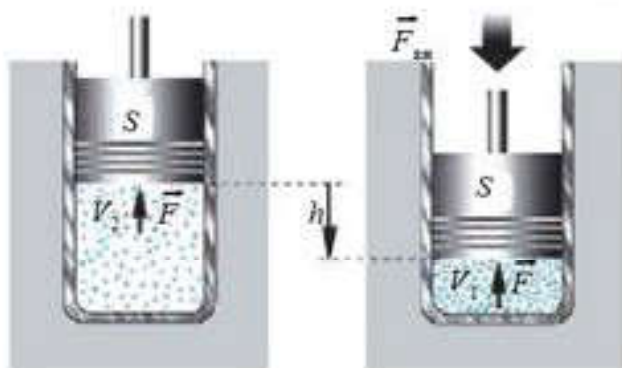


Рис. 14.1

где A' — работа внешних сил по сжатию газа.

Изменение внутренней энергии тела при переходе из одного состояния в другое равно сумме работы внешних сил и количеству теплоты, переданному телу, и не зависит от способа, которым осуществляется этот переход.

Выражение (14.2) говорит о том, как можно изменить внутреннюю энергию газа.

Так как работа внешних сил по сжатию газа A' всегда равна работе самого газа A , но с обратным знаком ($A' = -A$), формула (14.2) примет вид:

$$Q = \Delta U + A. \quad (14.3)$$

Количество теплоты, подводимое к газу, идет на изменение его внутренней энергии и совершение газом работы. Это называется первым законом термодинамики.

Выражение (14.3) представляет собой математическую запись первого закона термодинамики, который является законом сохранения энергии для тепловых процессов. Из первого закона термодинамики следует, что невозможно построить тепловую машину, которая могла бы совершать неограниченную работу без затраты энергии. Следовательно, когда запас внутренней энергии газа окажется исчерпанным, то двигатель перестанет работать, т. е. вечный двигатель невозможен. *Внутренняя энергия является функцией, которая описывает состояние тела, а работа и количество теплоты характеризуют изменение внутренней энергии, произошедшее в результате того или иного процесса.*

Внутренняя энергия тела может измениться как за счет совершения телом работы, так и за счет передачи окружающим телам количества теплоты. Например, нагретый газ в цилиндре двигателя может уменьшить свою внутреннюю энергию, остывая без совершения работы в ходе теплопередачи. Но может и потерять ее, перемещая поршень, без отдачи теплоты окружающим телам. Поэтому работа и количество теплоты являются мерой изменения внутренней энергии.

В колбу нальем немного воды, затем плотно закроем ее пробкой и нагреем воду до кипения с помощью спиртовки. Под давлением пара пробка вылетит из колбы (рис. 14.2).



Рис. 14.2



- Как изменилась внутренняя энергия водяного пара во время опыта?
- Каким способом вы изменяли внутреннюю энергию водяного пара в опыте?
- Объясните, что произошло с пробкой.
- Что можно сказать о зависимости изменения внутренней энергии тела от полученного количества теплоты?
- За счет чего газ совершает работу?

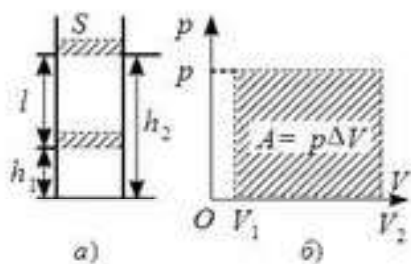


Рис. 14.3

В данном опыте энергия топлива (спирта) *перешла во внутреннюю энергию водяного пара, а пар, расширяясь, совершил работу — выбил пробку.* Следовательно, внутренняя энергия пара превратилась в кинетическую энергию пробки.

Рассчитаем работу, которую совершает газ, находящийся в цилиндре под невесомым поршнем при постоянном давлении p , при перемещении поршня с высоты h_1 до высоты h_2 (рис. 14.3, а). Газ давит на поршень и поднимает его. Силу давления найдем, используя формулу давления $p = \frac{F}{S}$, где S — площадь поршня.

$$A = F\Delta h = pS(h_2 - h_1) = p(Sh_2 - Sh_1) = p(V_2 - V_1) = p\Delta V, \text{ или}$$

$$A = p\Delta V, \tag{14.4}$$

где ΔV — изменение объема газа.

Следовательно, газ или пар могут совершать работу только тогда, когда есть изменение объема. Газ, расширяясь, совершает положительную работу, т. к. $\Delta V > 0$. Если конечный объем меньше начального, то $\Delta V < 0$ и работа газа отрицательна. В этом случае говорят, что над газом совершили работу. Работу газа можно найти с помощью графика (рис. 14.3, б).



1. Какая энергия называется внутренней?
2. Каким образом можно изменить внутреннюю энергию тела?
3. О чем говорит первый закон термодинамики?
- *4. Почему работа и количество теплоты являются мерой изменения внутренней энергии?
- *5. Объясните, почему работа газа по изменению его объема отличается от работы внешней силы, действующей на поршень, знаком и не отличается по модулю?
- *6. Почему иногда подпрыгивает крышка чайника, когда в нем кипит вода?
- *7. В цилиндре под поршнем находится газ. В каком случае для нагревания этого газа до определенной температуры потребуется меньше энергии: когда поршень закреплен или когда он подвижен? Почему?
- *8. Справедлив ли закон сохранения энергии для тела, упавшего в песок с некоторой высоты?
- *9. Выполняется ли закон сохранения энергии при падении камня в воде?
- *10. Что произойдет, если в цилиндр с поршнем положить кусочек ваты, пропитанной спиртом, и резко вдвинуть поршень в цилиндр? Объясните.
- *11. Молоток нагревается, когда им бьют по наковальне и когда он лежит на солнце. Как вы думаете, почему?



Упражнение 8

1. Какое количество теплоты нужно передать газу, чтобы его внутренняя энергия увеличилась на 54 кДж и при этом газ совершил работу, равную 72 кДж?
(Ответ: 126 кДж)
2. Какое количество теплоты было передано газу, чтобы его внутренняя энергия уменьшилась на 68 кДж и при этом газ совершил работу, равную 42 кДж?
(Ответ: газ отдал 26 кДж)
3. В процессе расширения газа от объема 0,3 м³ до 500 л была совершена работа, равная 400 Дж. При каком давлении находился газ, если в процессе совершения работы оно не менялось?
(Ответ: 2 кПа)
4. Некоторый газ занимал объем 20 л. Каким стал объем газа, если при его расширении была совершена работа, равная 600 Дж? Давление газа равно 40 кПа.
(Ответ: 35 л)

Что вы усвоили по данной теме?

Что нового вы узнали сегодня на уроке?	Какую информацию вы усвоили хорошо?	В чем причина возникших вопросов по конкретному материалу урока?

§ 15. Необратимость тепловых процессов. Второй закон термодинамики



На этом уроке вы:

- научитесь отличать обратимые и необратимые процессы, объяснять и применять второй закон термодинамики.



Ключевые слова:

- ✓ обратимые и необратимые процессы
- ✓ второй закон термодинамики

Первый закон термодинамики — закон сохранения энергии для тепловых процессов. Он устанавливает связь между количеством теплоты Q , полученной системой, изменением ее внутренней энергии ΔU и работой A , совершенной газом:

$$Q = \Delta U + A. \quad (14.3)$$

Согласно этому закону, энергия не может быть создана или уничтожена; она передается от одной системы к другой и превращается из одной формы в другую. Процессы, нарушающие первый закон термодинамики, никогда не наблюдались, т. е. возможны любые процессы, в которых энергия остается неизменной.

Первый закон термодинамики не отвечает на вопрос: в каком направлении протекает тепловой процесс.

Приведем пример. Если привести в контакт два тела с температурами T_1 и T_2 , то часть энергии будет передаваться от более нагретого тела к более холодному и через некоторое время наступит тепловое равновесие. Первый закон не был бы нарушен, если бы теплота передавалась от более холодного тела к более горячему при условии, что полная энергия системы оставалась бы неизменной.

Однако, как показывает опыт, тепловые процессы могут протекать только в одном направлении — от более горячих тел к более холодным.

Приведем еще один пример: при падении камня с некоторой высоты происходит превращение его потенциальной энергии в кинетическую, а затем во внутреннюю энергию самого камня и тела, о которое он ударился. Но первому закону термодинамики не противоречил бы процесс, при котором к лежащему на земле камню передавалось бы от окружающих камней тепло, из-за чего камень поднялся бы на прежнюю высоту. Этого в жизни мы не наблюдаем. Этот процесс необратим.

Практически все процессы в природе, в том числе и тепловые, являются необратимыми.

Положение о необратимости естественных процессов в природе, указывающее направление протекания этих процессов, представляет собой *второй закон термодинамики*.

Обратимыми процессами называют процессы перехода системы из одного равновесного состояния в другое, которые можно провести в обратном направлении через ту же последовательность промежуточных равновесных состояний. При этом сама система и окружающие тела возвращаются в исходное состояние. Обратимые процессы являются идеализацией реальных процессов.

Процессы превращения механической работы во внутреннюю энергию тела являются необратимыми из-за наличия трения, процессов диффузии в газах и жидкостях, процессов перемешивания газов при наличии начальной разности давлений и т. д. Все реальные процессы необратимы.

Первый закон термодинамики не может отличить *обратимые процессы от необратимых*. Он просто требует от термодинамического процесса определенного энергетического баланса и ничего не говорит о том, возможен такой процесс или нет. Направление самопроизвольно протекающих процессов устанавливает второй закон термодинамики. Он может быть сформулирован в виде запрета на определенные виды термодинамических процессов.

Существует несколько формулировок **второго закона термодинамики**.

Формулировка Р. Клаузиуса : *Теплота передается сама собой от тел с более высокой температурой к телам с более низкой температурой.*

Формулировка У. Кельвина : *В циклически действующей тепловой машине невозможен процесс, единственным результатом которого было бы преобразование в механическую работу всего количества теплоты, полученного от единственного теплового резервуара.*

Гипотетическую тепловую машину, в которой мог бы происходить такой процесс, называют *вечным двигателем*. В земных условиях такая машина могла бы отбирать тепловую энергию, например, у Мирового океана, и полностью превращать ее в работу. Масса воды в Мировом океане составляет примерно 10^{21} кг, и при ее охлаждении на один градус выделилось бы огромное количество энергии ($\approx 10^{24}$ Дж), эквивалентное полному сжиганию 10^{17} кг угля. Ежегодно вырабатываемая на Земле энергия в 10 000 раз меньше. Поэтому вечный двигатель второго рода был бы для человечества не менее привлекательным, чем вечный двигатель первого рода, запрещенный первым законом термодинамики.



1. В чем различие обратимого и необратимого процессов?
2. О чем говорит второй закон термодинамики?
3. Почему в тепловых двигателях не удается использовать внутреннюю энергию океана?
4. Можно ли считать обратимым процессом неупругое столкновение двух тел?
5. Можно ли считать падение абсолютно упругого шарика на абсолютно упругую плиту в условиях вакуума обратимым процессом?
6. Можно ли считать обратимым движение футбольного мяча?
7. Докажите, что процесс теплопроводности необратим.
8. Является ли броуновское движение обратимым процессом?

Что вы усвоили по данной теме?

Что нового вы узнали сегодня на уроке?	Какую информацию вы усвоили хорошо?	В чем причина возникших вопросов по конкретному материалу урока?

§ 16. Тепловые двигатели и их КПД



Ключевые слова:

- ✓ тепловая машина
- ✓ рабочее тело
- ✓ нагреватель
- ✓ холодильник
- ✓ схема теплового двигателя (ДВС)
- ✓ паровая турбина
- ✓ КПД тепловой машины
- ✓ парниковый эффект
- ✓ глобальное потепление
- ✓ экологические проблемы

На этом уроке вы научитесь:

- описывать устройство и принцип действия тепловой машины;
- описывать принцип работы двигателя внутреннего сгорания и паровых машин;
- определять коэффициент полезного действия теплового двигателя;
- предлагать пути совершенствования тепловых двигателей;
- оценивать влияние тепловых машин на экологическое состояние окружающей среды.

Тепловые двигатели. Еще с древних времен люди пытались придумать устройства, которые облегчат их труд.

Устройства, которые преобразуют энергию в механическую работу, называются двигателями. Сначала были изобретены механические двигатели (рис. 16.1), такие как ветряное колесо (оно преобразует энергию ветра в работу), водяное колесо (оно преобразует энергию воды в работу). Водяное колесо широко применяли для оросительных систем в странах Древнего мира: Египте, Китае, Индии. Водяные и ветряные колеса широко использовались в Европе в средних веках как основная энергетическая база ману фактурного производства.



Рис. 16.1

Затем люди кроме энергии ветра, воды, солнца стали искать новые виды энергии, в том числе и энергию топлива.

Двигатели, преобразующие внутреннюю энергию топлива в механическую работу, называются тепловыми. К ним относятся паровая

и газовая турбины, двигатель внутреннего сгорания, дизель, паровая машина, реактивный двигатель. Разнообразие видов тепловых машин указывает лишь на различие в конструкции и принципах преобразования энергии. А общим для всех тепловых машин является то, что они изначально увеличивают свою внутреннюю энергию за счет сгорания топлива с последующим преобразованием внутренней энергии в механическую. Любой газ, который расширяется, совершает положительную работу.



- Подумайте о том, как должен быть устроен любой тепловой двигатель. Для этого ответьте на вопрос: какие превращения энергии должны происходить в тепловых двигателях?

После размышлений приходим к следующим выводам: в тепловой машине обязательно должно быть рабочее тело, нагреватель, который увеличивает внутреннюю энергию рабочего тела, и холодильник — устройство, которое приводит двигатель в исходное состояние (рис. 16.2). Любой тепловой двигатель не может полностью переработать внутреннюю энергию рабочего тела в полезную работу.



Рис. 16.2



- Подумайте, вся ли энергия, выделившаяся при сгорании топлива, переходит в механическую работу.
- С чем связаны потери энергии в тепловых двигателях?

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Первая паровая машина преобразовывала менее 1% от всей энергии в полезную работу.

Коэффициент полезного действия. В любом тепловом двигателе нагреватель, сообщая количество теплоты Q_1 рабочему телу, увеличивает его внутреннюю энергию. Рабочее тело, совершая работу A , теряет часть энергии на нагревание деталей машин, на преодоление трения в узлах, на рассеивание в окружающую среду (говорят, что теплоту Q_2 забирает холодильник).

Чтобы учесть потери энергии в ходе работы тепловой машины, вводят особую физическую величину — коэффициент полезного действия (КПД).

Под коэффициентом полезного действия машины понимают физическую величину, показывающую, какая часть от полученной энергии Q_1 превращается в полезную работу. КПД машины обозначается буквой η (“эта”).

$$\eta = \frac{A}{Q_1} \cdot 100\% \quad (16.1)$$

Так как $A = Q_1 - Q_2$, то

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\% \quad (16.2)$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (16.3)$$

Из последней формулы следует, что $\text{КПД} < 1$. Для удобства это число обычно умножают на 100%.

Конструкцию тепловых машин все время усовершенствовали. Если проследить за историей развития тепловых машин, то можно заметить, что постоянное усовершенствование машин в конструкции, в создании новых видов топлива привело к тому, что современные машины имеют достаточно высокие значения КПД по сравнению с первоначальными моделями. Для современных паровых турбин КПД достигает 30—40%, для двигателей внутреннего сгорания 30—35%, для дизельных двигателей 35—42%. То есть у всех тепловых двигателей КПД невысок и не достигает даже 50%. Это означает, что более половины энергии, содержащейся в топливе, теряется. Перед учеными встала проблема повышения КПД тепловых двигателей.

Французский физик Садн Карно построил теоретически идеальную тепловую машину с максимально возможным КПД. Он понял, что рассчитывать КПД идеальной тепловой машины можно по формуле:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\% \quad (16.4)$$

или
$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (16.5)$$



■ Предложите свои идеи по усовершенствованию тепловых машин и их КПД.

На рисунке 16.2 величины T_1 и T_2 — температура нагревателя и холодильника тепловой машины. Она выражена в единицах системы СИ (Кельвинах).

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС). Рассмотрим один из видов тепловых двигателей — четырехтактный двигатель внутреннего сгорания. Он состоит из цилиндра (7), поршня (3), впускного (1) и выпускного (2) клапанов, свечи зажигания (6), шатуна (4) и коленчатого вала (5) (рис. 16.3).

Остановимся на принципе действия двигателя внутреннего сгорания (рис. 16.4). Первый такт — впуск — начинается, когда поршень (3) находится в самом верхнем положении. Двигаясь вниз, поршень (3) всасывает в цилиндр топливовоздушную смесь, входящую через впускной канал (2). Работа этого такта происходит при открытом клапане впуска (1).

Второй такт работы двигателя — такт сжатия. После того как поршень достиг нижней точки, он начинает подниматься вверх, тем самым сжимая смесь, которая попала в цилиндр во время такта впуска. Топливная смесь сжимается до объемов камеры сгорания. Как работает камера сгорания? Свободное пространство между верхней частью поршня и верхней частью цилиндра при нахождении поршня в самой верхней точке называется *камерой сгорания*. Клапаны (1) и (4) в этот такт работы двигателя закрыты полностью. Чем плотнее они закрыты, тем сжатие происходит качественнее.

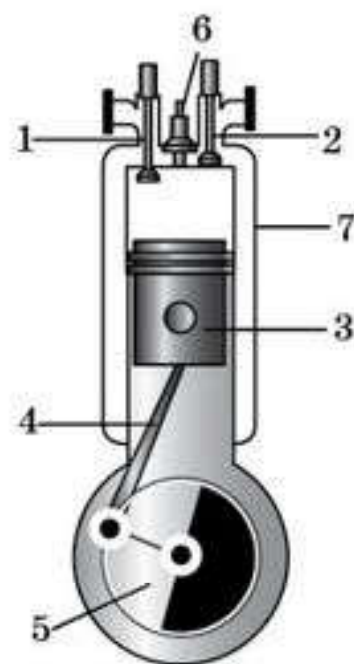


Рис. 16.3

Третий такт — рабочий ход — начинается, когда поршень находится в самой верхней точке. Рабочим он называется неслучайно, ведь именно в этом такте происходит действие, заставляющее автомобиль двигаться. В работу вступает система зажигания, которая отвечает за поджигание топливной смеси, сжатой в цилиндре, в камере сгорания. Работает это очень просто — свеча системы дает искру. После того как топливная смесь загорится, она резко увеличивается в объеме, заставляя

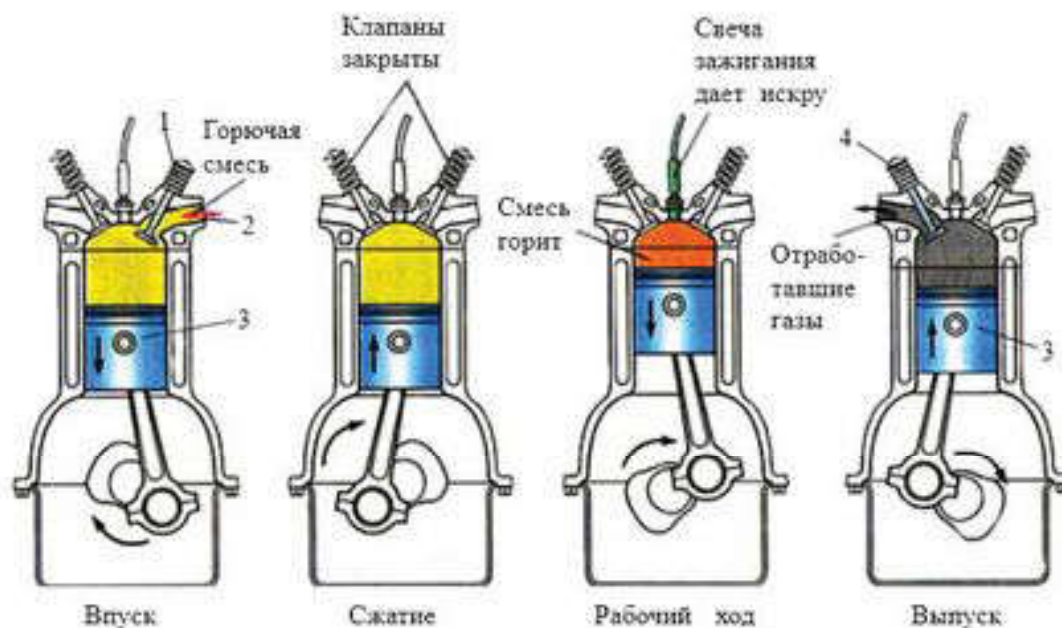


Рис. 16.4

Третий такт — рабочий ход — начинается, когда поршень находится в самой верхней точке. Рабочим он называется неслучайно, ведь именно в этом такте происходит действие, заставляющее автомобиль двигаться. В работу вступает система зажигания, которая отвечает за поджигание топливной смеси, сжатой в цилиндре, в камере сгорания. Работает это очень просто — свеча системы дает искру. После того как топливная смесь загорится, она резко увеличивается в объеме, заставляя

поршень двигаться вниз. Клапаны в этом такте работы двигателя, как и в предыдущем, находятся в закрытом состоянии.

Последний, четвертый такт работы двигателя — выпускной. Достигнув нижней точки, после рабочего такта в двигателе начинает открываться выпускной клапан (4). Двигаясь вверх, поршень через этот клапан удаляет отработавшие газы из цилиндра. От четкой работы клапанов зависит степень сжатия в цилиндрах, полное удаление отработанных газов и необходимое количество всасываемой топливно-воздушной смеси.

После четвертого такта наступает черед первого. Процесс повторяется циклически.



- За счет чего происходит работа двигателя внутреннего сгорания всех 4 тактов? Что заставляет поршень подниматься и опускаться в тактах сжатия, выпуска и впуска?

Дело в том, что не вся энергия, получаемая в рабочем такте, направляется на движение автомобиля. Часть энергии идет на раскручивание маховика. А он под действием инерции крутит коленчатый вал двигателя, перемещая поршень в период “нерабочих” тактов.

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Около 200 тыс. лет назад на Земле проживало 1 млн. чел., а сейчас — более 6 млрд. чел. и только в городах около 4 млрд. чел. Резко возросло потребление топлива и энергии. Выработка энергии только за последние 100 лет на душу населения увеличилась в 20 раз. Вместе с этим выросло число продуктов сгорания различных видов топлива, отрицательно влияющих, как на состояние земной атмосферы, так и на растительный и животный мир, населяющих Землю.



- Какие экологические проблемы нашей планеты вы слышали или обсуждали на других уроках?
- Какие экологические проблемы своего города или населенного пункта вы знаете?

При использовании тепловых машин остро встает вопрос загрязнения окружающей среды. Во-первых, при сжигании топлива используется кислород из атмосферы, вследствие чего содержание кислорода в воздухе постепенно уменьшается.

Во-вторых, сжигание топлива сопровождается выделением в атмосферу углекислого газа. В атмосфере Земли в настоящее время содержится около 2600 млрд. т углекислого газа (около 0,033%). До периода бурного развития энергетики и транспорта количество углекислого газа, поглощаемого из атмосферы при фотосинтезе растениями и растворяемого в океане, было равно количеству углекислого газа, выделяемого при дыхании и гниении. В последние десятилетия этот баланс все в большей степени стал нарушаться. В настоящее время за счет сжигания угля, нефти и газа в атмосферу Земли еже-

годно поступает дополнительно около 20 млрд. т углекислого газа. Это приводит к повышению концентрации углекислого газа в атмосфере Земли. Молекулы оксида углерода способны поглощать инфракрасное излучение, поэтому увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере изменяет ее прозрачность. Дальнейшее существенное увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере может привести к повышению ее температуры (“парниковый эффект”), что в свою очередь создаст угрозу таяния ледников и катастрофического повышения уровня Мирового океана.

В-третьих, при сжигании угля и нефти атмосфера загрязняется азотными и серными соединениями, а также соединениями тяжелых металлов, вредными для здоровья человека. Особенно существенно это загрязнение в крупных городах и промышленных центрах. Более половины всех загрязнений атмосферы создает транспорт. Кроме оксида углерода и соединений азота автомобильные двигатели ежегодно выбрасывают в атмосферу 2—3 млн. т свинца.

Так как автомобильные двигатели являются источником загрязнения атмосферы в городах, то проблема их усовершенствования представляет одну из наиболее актуальных научно-технических задач. Один из путей уменьшения загрязнения окружающей среды — использование в автомобилях вместо карбюраторных бензиновых двигателей дизелей, в топливо которых не добавляют соединения свинца. Перспективными являются разработки и испытания автомобилей, в которых вместо бензиновых двигателей применяют электродвигатели, питающиеся от аккумуляторов, или двигатели, использующие в качестве топлива водород. В последнем типе двигателя при сгорании водорода образуется вода, но и здесь возникает масса технических проблем. Вопросы окружающей среды становятся все более определяющими для дальнейшего развития теплоэнергетики. Организация охраны окружающей среды требует усилий в масштабе всего земного шара. Поэтому очень большое внимание следует уделять развитию методов защиты окружающей среды от этих продуктов сгорания и созданию новых альтернативных источников энергии. К ним можно отнести двигатели, работающие на солнечной (рис. 16.5) или электрической энергии, энергии ветра (рис. 16.6) и т. д.



Рис. 16.5



Рис. 16.6



1. Каким образом и для чего преобразуют энергию?
2. Назовите основные части любого теплового двигателя и их назначение.
3. Каково назначение двигателей?
4. Перечислите факторы, влияющие на потери энергии в тепловом двигателе?
5. Каким образом можно увеличить КПД тепловых двигателей?
6. Что произойдет с КПД тепловой машины, если, не меняя температуру нагревателя, уменьшить температуру холодильника?
7. Как изменится КПД тепловой машины, если одновременно увеличить температуру нагревателя и холодильника в 2 раза?
8. Почему у тепловых двигателей нет будущего?
9. Почему рост численности автомобилей порождает многочисленные экологические проблемы?

Пример решения задачи

Тепловая машина с КПД 40% совершила работу в 8 кДж. Какое количество теплоты получила машина и какое количество теплоты было потеряно? Какова температура нагревателя, если температура охладителя 27°C ?

Дано : $\eta = 40\%$ $A_n = 8 \text{ кДж}$ $t_2 = 27^{\circ}\text{C}$	СИ $0,4$ $8 \cdot 10^3 \text{ Дж}$ $T_2 = 300 \text{ К}$	Решение Воспользуемся формулой КПД $\eta = \frac{A_n}{Q_1},$ где Q_1 — теплота, полученная машиной, а $\eta = \frac{40\%}{100\%} = 0,4$, следовательно, $Q_1 = \frac{A_n}{\eta}$.
$Q_1 = ?$ $Q_2 = ?$ $t_1 = ?$		

$$Q_1 = \frac{8 \cdot 10^3 \text{ Дж}}{0,4} = 20 \cdot 10^3 \text{ Дж} = 20 \text{ кДж}.$$

Теплоту, отданную охладителю, найдем так:

$$Q_2 = Q_1 - A_n = (20 \cdot 10^3 - 8 \cdot 10^3) \text{ Дж} = 12 \cdot 10^3 \text{ Дж} = 12 \text{ кДж}.$$

Чтобы определить температуру нагревателя, воспользуемся формулой $\eta = (1 - \frac{T_2}{T_1})$.

При этом мы считаем, что имеем дело с идеальной тепловой машиной. Напоминаем, что в данной формуле температура выражена в кельвинах, т. е.

$$T_2 = (t_2 + 273^{\circ}\text{C})\text{К} = 300 \text{ К},$$

тогда $T_1 = \frac{T_2}{1-\eta} = \frac{300 \text{ К}}{1-0,4} = \frac{300 \text{ К}}{0,6} = 500 \text{ К}.$

Переведем температуру в градусы Цельсия:

$$t_1 = (T_1 - 273) = (500 - 273)^\circ\text{C} = 227^\circ\text{C}.$$

$$\text{Ответ : } Q_1 = 20 \text{ кДж; } Q_2 = 12 \text{ кДж; } t_1 = 227^\circ\text{C}.$$



Упражнение 9

1. Рабочее тело тепловой машины с КПД 40% получило 5 кДж теплоты. Сколько тепла отдано холодильнику? Какова температура холодильника, если температура нагревателя 477°C ?
(Ответ: $Q_2 = 3 \text{ кДж}$; $t_2 = 177^\circ\text{C}$)
2. КПД идеальной тепловой машины 35%. Какова температура нагревателя, если температура холодильника 2°C ?
(Ответ: 150°C)
3. Температура нагревателя тепловой машины 150°C , а холодильника 25°C . Машина получила от нагревателя 40 кДж энергии. Какова работа, произведенная машиной?
(Ответ: 12 кДж)
4. Количество теплоты, отданное тепловой машиной за цикл холодильнику, равно 60 Дж. Чему равна работа, совершаемая машиной за 5 циклов, если КПД двигателя 20%?
(Ответ: 75 Дж)
5. КПД идеальной паровой турбины 60%, температура нагревателя 480°C . Какова температура холодильника? Какая часть теплоты, получаемой от нагревателя, уходит в холодильник?
(Ответ: 28°C ; 40%)
6. Тепловая машина работает по циклу Карно. При этом 80% количества теплоты, получаемого от нагревателя, передается холодильнику. Количество теплоты, получаемое от нагревателя, равно 1,5 кДж. Найдите КПД цикла.
(Ответ: 20%)
7. Тепловая машина, работающая по циклу Карно, совершает за 1 цикл работу, равную 73,5 кДж. Температура нагревателя 100°C , температура холодильника 0°C . Найдите количество теплоты, отдаваемое за цикл холодильнику.
(Ответ: $\approx 201 \text{ кДж}$)
8. Какую мощность развивает двигатель внутреннего сгорания, если он расходует за 8 ч работы 2 л бензина? КПД двигателя 20%.
(Ответ: 450 Вт)
9. Сколько природного газа необходимо сжечь, чтобы превратить 2 кг льда, взятого при -10°C , в воду при 100°C ? КПД нагревательной установки 25%.
(Ответ: 142 г)

Что вы усвоили по данной теме?

Что нового вы узнали сегодня на уроке?	Какую информацию вы усвоили хорошо?	В чем причина возникших вопросов по конкретному материалу урока?

Самое важное в главе

Основы термодинамики

Любое тело обладает внутренней энергией, которая складывается из кинетической энергии хаотического движения молекул и потенциальной энергии их взаимодействия друг с другом.

$$U = (E_k + E_p) \cdot N.$$

Внутреннюю энергию тела можно изменить двумя способами: путем совершения работы над телом и теплопередачей, в ходе которой тело получает количество теплоты:

$$Q = \Delta U + A.$$

Для тепловых явлений справедлив **первый закон термодинамики**: если к телу подводится количество теплоты, то оно идет на изменение его внутренней энергии и на совершение газом работы.

Второй закон термодинамики определяет направление протекания процесса. Существует несколько формулировок *второго закона термодинамики*.

Формулировка Р. Клаузиуса: *Теплота передается сама собой от тел с более высокой температурой к телам с более низкой температурой.*

Формулировка У. Кельвина: *В циклически действующей тепловой машине невозможен процесс, единственным результатом которого было бы преобразование в механическую работу всего количества теплоты, полученного от единственного теплового резервуара.*

КПД реальной тепловой машины:

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

КПД идеальной тепловой машины:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\%.$$

Эту формулу впервые использовал С. Карно.

Основы электростатики

ГЛАВА

4

Каждый из нас встречался с электрическими явлениями и явлением электризации, примерами которых может быть молния, прилипание синтетических тканей к телу, проскакивание искр между меховыми изделиями, рабочий процесс лазерного принтера.

Зачем к корпусу бензовоза прикрепляют металлическую цепь, которая волочится по земле?

Почему при сливе топлива или заправке любой бензовоз обязательно подключают к заземлению?

Электрическое взаимодействие, без которого трудно представить жизнь в современном обществе, встречается буквально на каждом шагу. Цветное телевидение, ракетная техника, радиосвязь, спутниковая связь, статическое электричество, молния — все это проявление электрических взаимодействий.

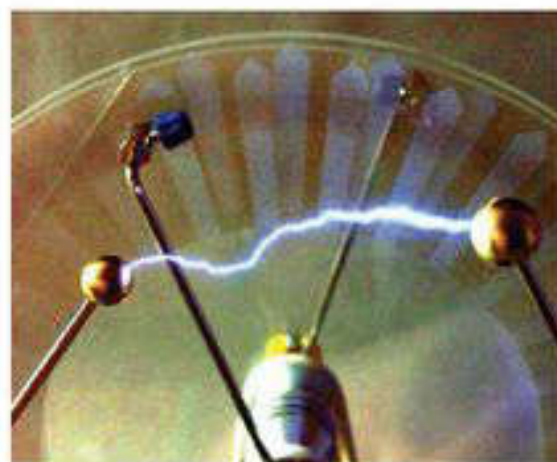
Каким образом передается электрическое взаимодействие?

Как изобразить невидимое взаимодействие?

Электрическая энергия способна совершать чудеса. За счет этой энергии светят электрические лампочки, работают электродвигатели и другие электрические приборы.

Каким образом сохранить электрическую энергию?

Существуют ли устройства для хранения этой энергии?



4

§ 17. Электрический заряд.
Электризация тел

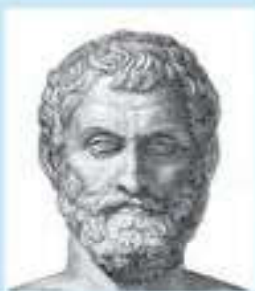
Ключевые слова:

- ✓ электризация
- ✓ электрон
- ✓ электрический заряд
- ✓ электростатическая индукция
- ✓ положительный и отрицательный заряд
- ✓ дискретность заряда
- ✓ элементарный заряд

На этом уроке вы познакомитесь:

- с явлением электризации трением, соприкосновением и индукцией;
- со свойствами электрического заряда.

ЭТО ИНТЕРЕСНО!



Фалес
(640–550 лет
до н. э.)

Обратимся к легенде. В глубокой древности дочь греческого философа Фалеса Милетского прядла шерсть янтарным веретеном, которое было изготовлено финикийскими мастерами. Однажды, уронив веретено в воду, девушка стала обтирать его краем своего шерстяного хитона и заметила, что к веретену пристало несколько шерстинок. Думая, что они прилипли к веретену, потому что оно все еще влажное, она принялась вытирать его еще сильнее. И что же? Шерстинки налипали тем больше, чем сильнее натиралось веретено. Девушка обратилась за разъяснениями к отцу.



■ А как бы вы объяснили это явление?

Фалес объяснил это особыми, “волшебными” свойствами янтаря. Янтарь, потертый о мех, притягивает не только шерстинки, но и соломинки, пушинки и другие легкие предметы. В течение ряда столетий это свойство приписывалось только янтарю. Греческое слово *elektron* (янтарь) и дало название явлениям, похожим на то, что было открыто дочерью Фалеса. Их стали называть *электрическими явлениями*.



Предлагаем проделать такой опыт: возьмите пластмассовую расческу или авторучку и проведите ею несколько раз по сухим волосам или небольшому отрезку шерстяной ткани, а затем поднесите ее (авторучку) к мелким кусочкам бумаги. Что вы будете наблюдать? Какой вывод можно сделать по результатам опыта?

Следовательно, не только янтарь, но и многие другие вещества при натирании приобретают свойство притягивать легкие предметы.

Из опыта можно сделать вывод: при трении друг о друга тел, изготовленных из разных веществ, оба тела приобретают новое свойство притягивать легкие предметы. Говорят, что они *наэлектризовываются*.

Явления, в которых тела приобретают свойства притягивать другие тела, называются электризацией.

В электризации всегда участвуют два тела. При этом электризуются оба тела. Это можно проверить на опыте: если наэлектризованную стеклянную палочку поднести к мелким кусочкам бумаги, то они притянутся к ней (рис. 17.1). Если же поднести к кусочкам бумаги небольшой отрез шерстяной материи, о которую наэлектризовали палочку, то они также притянутся к ней (рис. 17.2).



Рис. 17.1



Рис. 17.2

Опыты показывают: *наэлектризованное и ненаэлектризованное тела всегда притягиваются*. Причем притягиваются не только легкие предметы, но и достаточно тяжелые. Примеры: стальная палочка и стеклянная палочка (рис. 17.3, а), тонкая струйка воды и пластмассовая палочка (рис. 17.3, б), янтарь и сухие травинки, эбонитовая или стеклянная палочки и мелкие кусочки бумаги. С помощью наэлектризованной палочки можно доказать, что пламя свечи тоже будет притягиваться к палочке (рис. 17.3, в).

Опыты также показывают, что *два тела, наэлектризованные трением друг о друга, всегда притягиваются*. Например, наэлектризовавшись трением о наше тело, свитер или юбка “липнут” к телу.

С помощью опытов мы убедились, что если два тела, состоящие из разных веществ, потереть друг о друга, то они приобретут новое свойство — *способность вступать в электрическое взаимодействие*.

Наэлектризованные тела еще называют *заряженными*. Для того чтобы количественно характеризовать электрическое взаимодействие, был введен термин *электрический заряд*.



Рис. 17.3

Под *электрическим зарядом* понимают физическую величину, характеризующую интенсивность электрического взаимодействия.

Два рода электрического заряда. Сначала ученые не делали различий между “стеклянным”, “шерстяным”, “шелковым”, “эбонитовым”, “янтарным” и другими видами зарядов. Однако в 1733 г. французский ученый Ш. Дюфэ проделал опыты и выяснил, что на *электризуемых телах могут образовываться заряды только двух родов*. Он назвал их *стеклянным электричеством* и *смоляным электричеством*. Тело, наэлектризованное *стеклянным электричеством*, отталкивает все тела со *стеклянным электричеством* и притягивает тела со *смоляным электричеством*. Сегодня эти два рода зарядов мы называем *положительным зарядом* (так заряжается стекло, потертое о шелк или бумагу; шерсть, потертая об эбонит) и *отрицательным зарядом* (заряд шелка при трении о стекло; заряд эбонита при трении о шерсть или мех) (рис. 17.4).

Электрический заряд обозначают символом q . Единица измерения электрического заряда в СИ называется *кулон* (**Кл**) в честь французского физика Ш. Кулона (1736—1806), исследовавшего электрические явления.

$$[q] = [\text{Кл}].$$

Заряд может быть большим или маленьким по модулю. Это легко доказать, если многократно электризовывать одни и те же тела. При этом сила их взаимодействия бывает различной: большей или меньшей в зависимости от степени электризации.



Рис. 17.4

Опыты показывают, что существуют два рода электрических зарядов — *положительные* и *отрицательные*. Тела, имеющие электрические заряды *одинакового знака*, взаимно *отталкиваются*, а тела, имеющие заряды *противоположного знака*, взаимно *притягиваются*.

Электроскоп. Для обнаружения электрического заряда у тел и их сравнения применяют прибор *электроскоп* (от греч. “*electro*” и “*skopeo*” — наблюдать, обнаруживать), изобретенный в 1745 г. русским физиком Г. В. Рихманом (рис. 17.5). Металлический корпус 1 спереди закрыт стеклом 2. Внутри прибора вставлен металлический стержень 3 с легкоподвижными лепестками 4. От корпуса стержень отделен круглой пластмассовой втулкой 5. На верхний край стержня помещают полый металлический шар (кондуктор). Если коснуться кондуктора заряженным телом, то лепестки отклонятся друг от друга тем сильнее, чем больше модуль заряда тела. К сожалению, с помощью электроскопа невозможно определять знаки зарядов тел.

Существует еще один вид электроскопа — *электрометр* (рис. 17.6). В нем вместо лепестков на металлическом стержне 3 укреплена стрелочка 4, которая может вращаться вокруг оси 5. Стержень 3 изолирован от корпуса 6 пластмассовой втулкой 2. О величине заряда судят по углу отклонения стрелки по шкале 1.

Электризация индукцией. Электризация происходит не только при трении, но и при соприкосновении заряженного тела с незаряженным. Так, если прикоснуться заряженной палочкой к незаряженному шару, то после соприкосновения этих тел на шаре появится заряд (рис. 17.7). Следовательно, *заряд обладает свойством дробиться*.

Попробуем разобраться, почему незаряженное и незаряженное тела всегда притягиваются. Нам уже известно, что притягиваются тела с противоположными по знаку зарядами. Значит, если мы подносим заряженное тело к незаряженному, то во втором теле появляется заряд противоположного знака, и поэтому тела начинают притягиваться. Это явление получило название **электризация индукцией** или **электризация через влияние**. При этом во втором теле происходит перераспределение зарядов, в ходе которого на противоположных сторонах проводящего тела появляются наведенные (индуцированные) заряды противоположного знака, а тело при этом остается нейтральным (рис. 17.8, а).

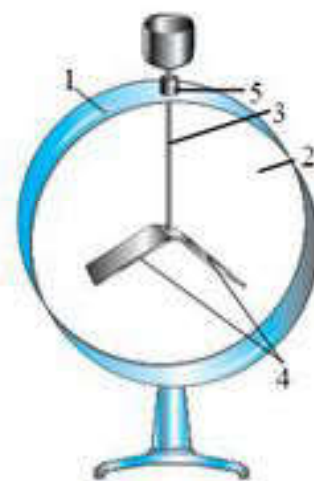


Рис. 17.5

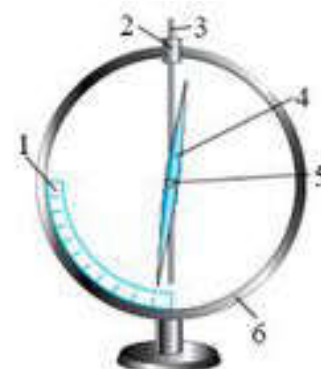


Рис. 17.6

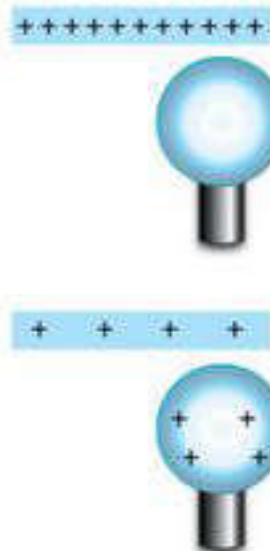


Рис. 17.7



Бенджамин
Франклин
(1706—1790)

Если поднести отрицательно заряженную палочку к незаряженному металлическому шару, то на той его стороне, которая ближе к палочке, будет положительный заряд, а на его противоположной стороне — отрицательный заряд (рис. 17.8, б).

Как электризуются тела? Первая попытка объяснить электризацию тел была предпринята американским ученым Б. Франклином, который на заре изучения электричества предположил, что электричество представляет собой особую жидкость, невидимую и неосязаемую нами. Пользуясь этой моделью, удалось объяснить целый ряд явлений, но еще больше явлений не укладывались в ее рамки.

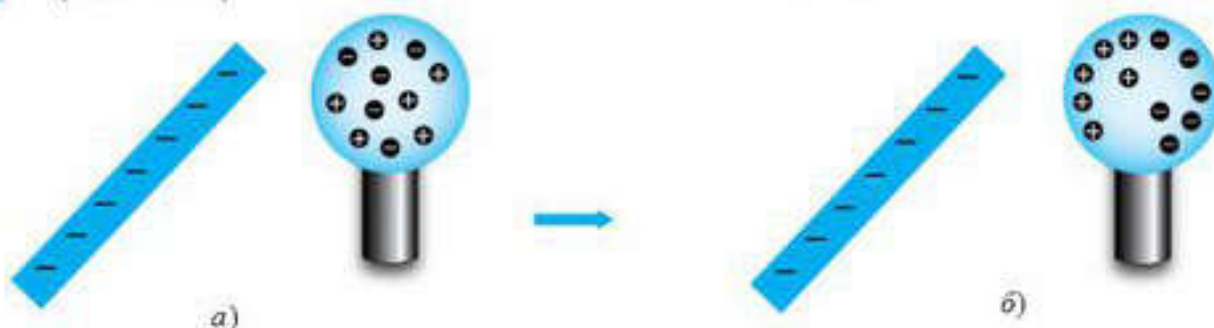


Рис. 17.8

В настоящее время физики придерживаются совершенно другой модели, создателем которой был английский физик Э. Резерфорд. В основе ее надежно установленный экспериментальный факт: вещество состоит из нейтральных атомов, сами атомы состоят из заряженных частиц, все существующие *электрические заряды кратны наименьшему, или элементарному заряду*. Положительный элементарный заряд несет элементарная частица *протон*. Равным ему по модулю отрицательным зарядом обладает другая элементарная частица — *электрон*. Численное значение величины элементарного заряда найдено экспериментально и оно равно $q_e = -e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, $q_p = +e = +1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Величина любого заряда кратна величине элементарного заряда:

$$q = N \cdot e. \quad (17.1)$$

Теперь становится понятным свойство заряда дробиться.

Свойство заряда дробиться и быть кратным элементарному заряду называется *дискретностью*.

Атом состоит из положительно заряженного ядра, в котором находятся протоны и нейтроны, и вращающихся вокруг ядра отрицательно заряженных электронов (рис. 17.9).



Эрнест Резерфорд
(1871—1937)

Запомните!

Атом состоит из элементарных частиц трех сортов: нейтральных нейтронов, положительно заряженных протонов и отрицательно заряженных электронов.

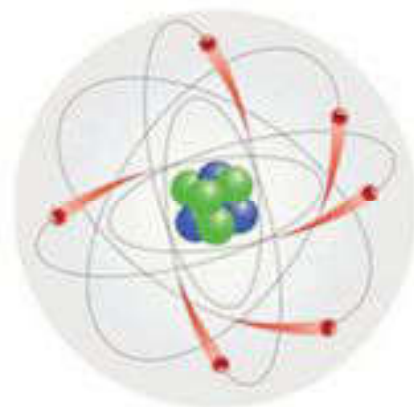


Рис. 17.9

Заряды электронов и протонов по модулю равны, но противоположны по знаку. Масса нейтрона и масса протона почти одинаковы и примерно в 1836 раз больше массы электрона, следовательно, почти вся масса атома сосредоточена в его ядре. Ядро атома стабильно благодаря ядерным силам, которые действуют между его частицами, и удерживает одноименно заряженные протоны от разлета. Радиус ядра примерно в 100 000 раз меньше радиуса атома. Получается, что в атоме много пустого пространства. В объеме атома движутся отрицательно заряженные электроны, которые притягиваются к ядру электрическими силами. Их ровно столько, сколько протонов в ядре, поэтому суммарный отрицательный заряд электронов компенсирует положительный заряд ядра, и атом в целом нейтрален. Отметим, что атомы разных веществ удерживают электроны с разным и по величине силами.



- С учетом вышесказанного попробуйте объяснить, что будет происходить, если потереть друг о друга тела, состоящие из различных веществ.

Очевидно, что при трении двух тел, вещества которых различны, электроны переходят на то тело, ядра которого притягивают электроны сильнее. Тогда у другого тела электронов будет недостаточно и первое тело, которое имеет избыток электронов, приобретет отрицательный заряд, а второе — положительный заряд. Атом, «присоединивший» лишний электрон, становится отрицательно заряженной частицей. Ее называют *отрицательным ионом*. Атом, потерявший электрон, становится положительно заряженной частицей. Ее называют *положительным ионом*.

Если $q < 0$, то тело имеет избыточное количество N электронов. Если же $q > 0$, то, наоборот, у тела недостаточно электронов.

Применение электризации. В медицине с помощью электризации создают электроаэрозоли. Такого рода аэрозоли гораздо эффективнее обычных. Их капли способны сильнее измельчаться и при этом не слипаться (они же отталкиваются). Кроме этого, они гораздо глубже проникают в легочные ткани.

На современных автомобильных заводах кузова автомобилей окрашиваются в специальных камерах, где краска распыляется и временно электрически заряжается отрицательно, а затем оседает на кузове, заряженном положительно. Окраска кузова получается более равномерной и качественной.

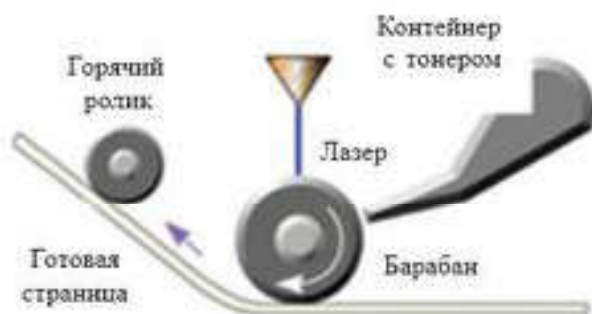


Рис. 17.10

Явление электризации лежит в основе работы лазерного принтера (рис. 17.10). Когда принтер получает от компьютера задание для печати, изображение с помощью лазера “рисует” на фотобарабане в виде положительно заряженных точек. Затем из контейнера на барабан сыплется очень мелкая сухая краска (тонер). Она прилипает

к барабану только в тех местах, где есть положительно заряженные точки. С помощью специального механизма к барабану подается бумага, которая при движении приобретает отрицательный заряд. Бумага соприкасается с фотобарабаном, частицы положительно заряженной краски притягиваются к отрицательно заряженному листу, на котором остается отпечаток. Затем бумага проходит по горячему ролику, где частицы краски “вплавляются” в бумагу.

На мельницах кожаные или резиновые ремни, передающие вращение валикам, электризуются, и возникающий при этом искровой разряд может вызвать взрыв мучной пыли или появление искры. Во время работы ткацкого станка волокна ткани от трения приобретают разноименные заряды, это приводит к их взаимному притягиванию, что значительно затрудняет работу на станке. Кроме того, наэлектризованная ткань притягивает частицы пыли из воздуха, и в процессе выработки она сильно загрязняется. Поэтому для того, чтобы устранить электризацию на производстве, необходимо производить тщательнейшее заземление всех станков и механизмов, постоянно увлажнять воздух и использовать токопроводящий пластик для полов.

В домашних условиях влажность воздуха в квартире можно повысить примерно до 70%, используя специальные электрические увлажнители. Если электризующиеся поверхности протирать раствором глицерина, то процесс устранения зарядов статического электричества ускорится в несколько раз.



1. Как взаимодействуют друг с другом: а) две эбонитовые палочки, наэлектризованные трением о мех; б) эбонитовая палочка, натертая мехом, и стеклянная палочка, натертая шелком?
2. Какие опыты доказывают существование электрических зарядов двух видов?
3. Как при помощи листочков бумаги обнаружить, наэлектризовано ли тело?
4. Как по углу расхождения листочков электроскопа судят о его заряде?
5. На шелковой нити висит заряженная бумажная гильза. Как бы вы определили род заряда гильзы?



1. В сухом помещении потрите надутый воздушный шар о меховую шапку, затем поднесите его к оконному стеклу. Что вы наблюдаете? Объясните.
2. Возьмите маленький кусочек ватки. Наэлектризуйте пластмассовую расческу или пластмассовую линейку и поднесите ее к ватке. Ватка притянется к наэлектризованному предмету. Резко дернув расческу или линейку, оторвите ватку и быстро поднесите расческу (линейку) под нее. Объясните, почему ватка сначала прилипает к расческе (линейке), а затем плавает в воздухе над ней?



Упражнение 10

1. Определите знак заряда на металлической гильзе, если поднесенная к ней палочка: а) отрицательно заряжена (рис. 17.11); б) положительно заряжена (рис. 17.12).
2. В нейтральном атоме 4 электрона. Сколько протонов в ядре этого атома?
(Ответ: 4)
3. Какой заряд имеет левый шарик (рис. 17.13)? Почему?
4. Какой химический элемент изображен на рисунке 17.14? Чему равен заряд ядра этого атома?
5. Что произойдет с воздушными шарами, если один из них наэлектризовать о газету, а другой — о кусок шерстяной материи и подвесить на некотором расстоянии друг от друга. Почему?
6. Докажите на опыте, что пластмассовую линейку можно наэлектризовать, если потереть ее о сухой лист бумаги. Обоснуйте свои наблюдения.
7. Почему к приземлившемуся самолету сразу не приставляют металлический трап?
8. Иногда при окраске предметов пульверизатором их металлической поверхности сообщают заряд одного знака, а капелькам краски — заряд противоположного знака. Для чего это нужно?
9. Можно ли на концах стеклянной палочки получить одновременно разноименные заряды? Как вы думаете, можно ли добиться такого же результата, если использовать медную палочку?
10. Как зарядить шарик положительным зарядом, имея отрицательно заряженную палочку?
11. Может ли какая-либо частица иметь заряд, равный $1,5e$? $20e$?



Рис. 17.11



Рис. 17.12



Рис. 17.13

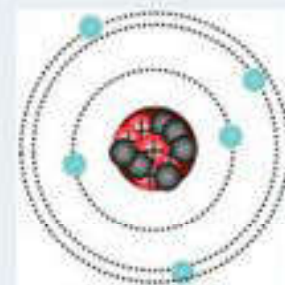


Рис. 17.14

Что вы усвоили по данной теме?

Что нового вы открыли для себя на уроке?	На что вы обратили особое внимание? Почему?	Какая информация заставила вас задуматься?

**§ 18. Закон сохранения электрического заряда.
Закон Кулона**



Ключевые слова:

- ✓ закон сохранения заряда
- ✓ закон Кулона
- ✓ крутильные весы

На этом уроке вы:

- научитесь применять закон сохранения заряда и закон Кулона.

Закон сохранения заряда. Вернемся к электризации трением. Мы уже знаем, если натереть палочку мехом, то и палочка, и мех приобретут заряды, причем противоположные по знаку. Как показали опыты, величины зарядов палочки и меха равны. А их суммарный заряд равен нулю, т. е. заряду обоих тел до взаимодействия. Следовательно, можно предположить, что при электризации заряд сохраняется. Проверим это на опыте. Возьмем два электрметра, один из которых заряжен, а второй нет (рис. 18.1). Соединим их проводником и увидим, что теперь оба электрметра заряжены, а их суммарный заряд равен начальному заряду первого электрметра (рис. 18. 2).

Из данных экспериментов можно сделать два вывода.

Первый вывод подводит нас к **закону сохранения электрического заряда** :

В замкнутой системе тел алгебраическая сумма зарядов остается неизменной при любых процессах, происходящих с этими телами :

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const.} \quad (18.1)$$

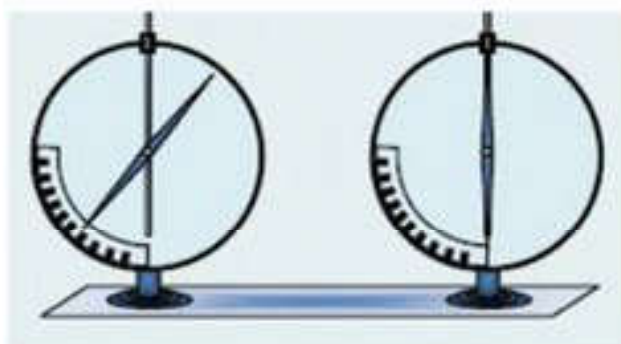


Рис. 18.1

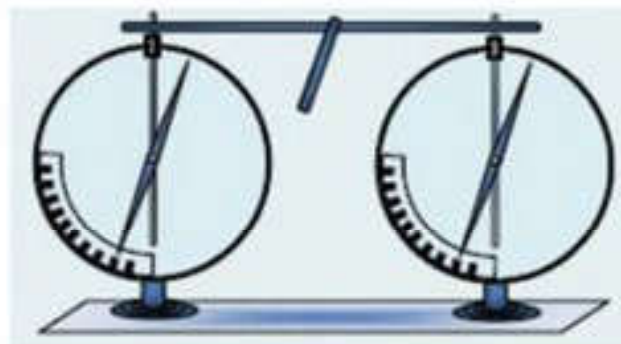


Рис. 18.2

Замкнутость системы тел означает, что эти тела могут обмениваться зарядами только между собой, но не с какими-либо другими объектами, внешними по отношению к данной системе.

Второй вывод: явление электризации подчиняется закону сохранения электрического заряда. Объясняется это очень просто: сколько заряженных частиц (электронов) ушло с палочки, столько же пришло на кусок меха (или наоборот). Удивительно то, что в более сложных процессах, сопровождающихся взаимными превращениями элементарных частиц и изменением числа заряженных частиц в системе, суммарный заряд все равно сохраняется!

Закон сохранения заряда является на сегодняшний день первичным научным фактом. Объяснить, почему природа ведет себя именно так, а не иначе, физикам пока не удастся. Можно лишь констатировать, что эти факты подтверждаются многочисленными физическими экспериментами.

Закон Кулона. Раздел электродинамики, в котором изучается взаимодействие неподвижных зарядов, называется *электростатикой*. Взаимодействие неподвижных зарядов называется *электростатическим*. Это взаимодействие изучал французский физик Ш. О. Кулон еще в 1785 г. В своих опытах Кулон измерял силы притяжения и отталкивания заряженных шариков с помощью сконструированного им прибора — крутильных весов (рис. 18.3), отличавшихся чрезвычайно высокой чувствительностью. Так, например, коромысло весов поворачивалось на 1° под действием силы порядка 10^{-9} Н.

Установить зависимость силы взаимодействия зарядов от их величины в то время было трудно, т. к. для этого не было прибора. Кулон предложил следующий вариант опыта: если заряженный шарик привести в контакт с точно таким же незаряженным, то заряд первого разделится между ними поровну. Таким образом, ученым был указан способ изменять заряд шарика в 2, 4 и более раза. При взаимодействии шарика с поднесенным заряженным шариком коромысло весов поворачивалось и нить закручивалась. В тот момент, когда нить переставала закручиваться, наступало равновесие и сила упругости нити становилась равной силе электрического взаимодействия, т. е. силу электрического взаимодействия Кулон определял по углу закручивания кварцевой нити. При изменении заряда изменялась и сила упругости нити.

В опытах Кулона измерялось взаимодействие между шариками, размеры которых

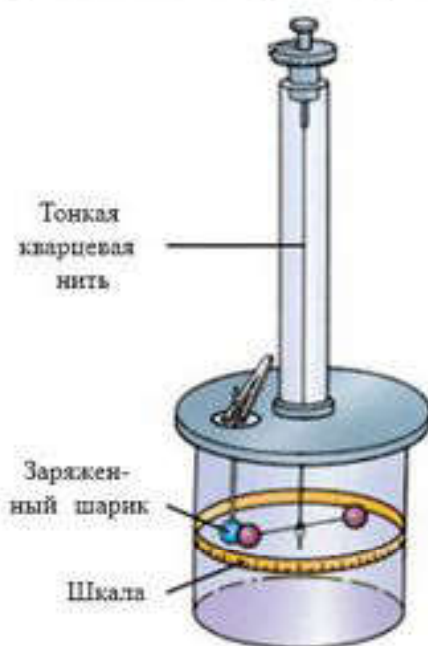


Рис. 18.3

намного меньше расстояния между ними. Такие заряженные тела принято называть точечными зарядами. **Точечный заряд** — это идеализированное понятие, введенное для облегчения изучения взаимодействия заряженных тел.

Точечным зарядом называют заряженное тело, размерами которого в данных условиях можно пренебречь.

На основании многочисленных опытов Кулон установил следующий закон: **Сила взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов в вакууме прямо пропорциональна произведению абсолютных величин зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.**

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}, \quad (18.2)$$

Закон Кулона является законом электростатического взаимодействия точечных зарядов. Вектор кулоновской силы всегда лежит на прямой, соединяющей заряды. Для кулоновской силы справедлив третий закон Ньютона: заряды действуют друг на друга с силами, равными по модулю и противоположными по направлению. В качестве примера на рисунке 18.4, а, б показаны силы F_{12} и F_{21} , с которыми взаимодействуют два заряда: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$. Они являются силами отталкивания при одинаковых знаках зарядов и силами притяжения при разных знаках.

В международной системе единиц СИ коэффициент пропорциональности в законе Кулона равен:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \text{ или } k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}.$$

Константа ϵ_0 называется **электрической постоянной**. Она равна:

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}.$$

Опыты показали, что сила взаимодействия зарядов зависит от среды, в которой находятся заряды. *Среды, которые уменьшают силу взаимодействия зарядов (по сравнению с вакуумом), называют диэлектриками.*

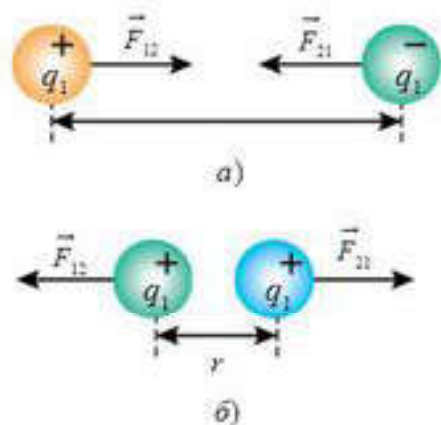


Рис. 18.4

Диэлектрики — это вещества, которые не проводят электрический ток. На каком бы расстоянии друг от друга заряды ни находились, сила их взаимодействия в данном однородном диэлектрике всегда будет в одно и то же число раз меньше, чем на таком же расстоянии в вакууме. Это число обозначается ϵ и называется **относительной диэлектрической проницаемостью диэлектрика**. Диэлектрическая проницаемость зависит только от вещества диэлектрика, но не от его формы или размеров.

Она является безразмерной величиной. Величину относительной диэлектрической проницаемости разных сред находят экспериментально и заносят в специальные таблицы.

$$\epsilon = \frac{F_{\text{вак}}}{F_{\text{среды}}}, \quad (18.3)$$

С учетом сказанного формула закона Кулона в диэлектрике приобретает вид:

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{\epsilon r^2}. \quad (18.4)$$

Относительная диэлектрическая проницаемость вакуума, как видим, равна единице. Для других сред диэлектрическая проницаемость больше единицы. Диэлектрическая проницаемость воздуха настолько близка к единице, что при расчете сил взаимодействия зарядов в воздухе ее принимают за $\epsilon = 1$.



1. Для каких целей было введено понятие точечного заряда?
2. Почему во времена Кулона было трудно измерить силы электрического взаимодействия?
3. Каков физический смысл относительной диэлектрической проницаемости?
- *4. Возможен ли такой процесс, который не подчиняется закону сохранения заряда? Докажите.
- *5. В каком случае при сближении двух одноименно заряженных тел сила отталкивания между ними уменьшается до нуля?
- *6. Во время электризации трением с одного тела на другое "убежало" 1000 электронов. Каким стал заряд этого тела? Справедлив ли в этом случае закон сохранения электрического заряда?
- *7. Как изменится сила взаимодействия двух электрических зарядов, если их величины увеличить в два раза, а расстояние между ними уменьшить в два раза?
- *8. Как изменится сила взаимодействия двух точечных зарядов, если изменить знак заряда у одного из них?
9. Две капли с зарядами $+5e$ и $-3e$ соединились. Каким стал заряд получившейся капли?



Упражнение 11

1. Сколько электронов было снято при трении со стеклянной палочки, если ее заряд стал равным 12,8 нКл? (Ответ: $8 \cdot 10^{10}$)
2. Заряд металлического шара $q = -3,2$ мКл. Сколько на шаре избыточных электронов? (Ответ: $2 \cdot 10^{13}$)
- *3. Два заряда по 40 нКл, разделенные слоем слюды толщиной 1 см, взаимодействуют с силой 18 мН. Чему равна диэлектрическая проницаемость слюды? (Ответ: 8)
- *4. Два тела с равными положительными зарядами отталкиваются в керосине с силой 18 мН, находясь в 24 см друг от друга. Сколько электронов потеряло каждое тело? (Ответ: $3 \cdot 10^{12}$)

- 5. На каком расстоянии друг от друга два точечных заряда по 8 нКл, находящихся в воздухе, будут отталкиваться с силой 0,36 мН? (Ответ: 5 мм)
- 6. Определите силу взаимодействия электрона с протоном в атоме водорода, если расстояние между ними составляет 53 пм. (Ответ: 82 нН)
- *7. Пять заряженных шариков одинакового объема привели в соприкосновение друг с другом, в результате чего суммарный заряд этих шариков стал 10 нКл. Учитывая, что заряды первого и второго шарика до соприкосновения равны соответственно -1 нКл и 17 нКл, а заряды остальных шариков одинаковы, определите заряд четвертого шарика до соприкосновения. (Ответ: -2 нКл)
- *8. Определите заряд первого шарика (рис. 18.5), если второй шарик находится в равновесии. (Ответ: $-2q$)

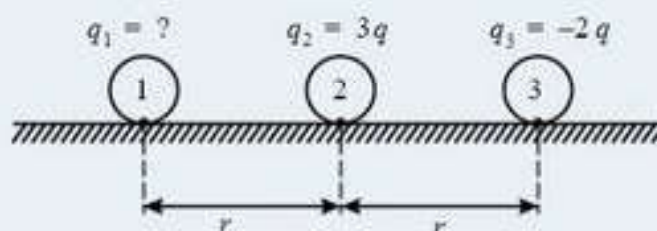


Рис. 18.5

Что вы усвоили по данной теме?

Что нового вы открыли для себя на уроке?	На что вы обратили особое внимание? Почему?	Какая информация заставила вас задуматься?

§ 19. Электрическое поле.

Напряженность электрического поля.

Силовые линии электростатического поля



Ключевые слова:

- ✓ теория дальнего действия и ближнего действия
- ✓ электрическое поле
- ✓ силовые линии электростатического поля
- ✓ напряженность электрического поля
- ✓ пробный заряд

На этом уроке вы:

- усвоите понятие "электрическое поле" и научитесь определять его силовую характеристику;
- научитесь рассчитывать силу, действующую на заряд в однородном электростатическом поле;
- научитесь изображать графически электростатическое поле посредством силовых линий.

Дальнее действие и ближнее действие. В предыдущих параграфах мы установили основной закон электростатики — закон Кулона, позволяющий вычислить силу взаимодействия двух точечных зарядов. Этот

закон был открыт экспериментально. Но каким образом осуществляется это взаимодействие этот закон не объясняет. Сам Кулон уже тогда задумался над тем, как же один заряд действует на другой, находящийся достаточно далеко от него, т. е. не соприкасаясь к ним. Он обратился к идее И. Ньютона, который, открыв закон всемирного тяготения, тоже не смог объяснить его действие. Тогда И. Ньютон предположил, что гравитационное взаимодействие передается мгновенно без участия какого-либо промежуточного звена. После того как Кулон показал, что электрические заряды действуют друг на друга даже в отсутствие между ними вещества, т. е. в вакууме, он пришел к выводу о том, что заряды действуют друг на друга через пустоту и мгновенно. Основные положения теории дальнего действия были простыми и ясными, а сама теория обладала изяществом и математической строгостью. Этой теории придерживалось абсолютное большинство ученых первой половины XIX столетия. В то же время очень многим ученым идея, что тело может непосредственно действовать там, где его нет, представлялась сомнительной.



Шарль Огюстен
Кулон
(1736—1806)

Вот почему английским ученым Майклом Фарадеем была выдвинута *теория близкого действия*, противоположная по своей сути теории дальнего действия. М. Фарадей говорил, что природа не терпит пустоты. Согласно этой теории, для взаимодействия тел нужно промежуточное звено — физический объект, передающий взаимодействие от одной точки пространства к другой. В частности, скорость передачи взаимодействий конечна: при изменении положения одного из зарядов другой заряд “почувствует” это изменение не сразу, а спустя некоторый интервал времени. Именно Фарадеем в науку было введено понятие о *поле* как о посреднике, осуществляющем взаимодействие. Первоначально эта идея выражала лишь уверенность Фарадея в том, что действие одного тела на другое через пустоту невозможно. Доказательств существования поля не было. Такие доказательства нельзя получить, исследуя лишь взаимодействия неподвижных зарядов. Их получили гораздо позже. Согласно современным представлениям всякий электрический заряд изменяет определенным образом свойства окружающего его пространства — создает электрическое поле. Это поле проявляет себя в том, что каждый помещенный в какую-либо его точку другой “пробный” заряд испытывает действие поля. По мере удаления от заряда поле ослабевает. Даже в вакууме заряженное тело окружено электрическим полем.

По действию поля на заряды не только устанавливается присутствие поля, но и изучается распределение его в пространстве и все его характеристики.

Электрическое поле. Теория близкодействия одержала верх над теорией дальнего действия. Физическим объектом, передающим взаимодействие между зарядами даже сквозь пустоту, оказалось электрическое поле. Электрический заряд создает вокруг себя электрическое поле, которое, в свою очередь, действует с некоторой силой на другие заряды. Электрическое поле не нуждается в какой-либо специальной среде, которая являлась бы его носителем. Оно может возникать как в веществе, так и в вакууме, и является, наряду с веществом, формой существования материи. По современным физическим представлениям электрическое поле является первичным физическим объектом, мы пока не можем сказать, каково его внутреннее устройство (точно так же мы не можем сказать, например, из чего состоит электрон). Мы можем лишь изучать свойства электрического поля, устанавливать законы его поведения и использовать эти законы в своих целях. Индикатором для обнаружения поля также является электрический заряд — так называемый *пробный заряд*. По действию на пробный заряд мы и можем судить о наличии электрического поля в данной области пространства. Кроме того, с помощью пробного заряда мы можем исследовать величину поля в различных пространственных точках. Разумеется, что для этого пробный заряд должен быть точечным.

Электрическое поле — это реально существующий материальный объект. Для его характеристики была введена особая физическая величина — напряженность. Она обозначается символом $[\vec{E}]$.

Напряженность электрического поля является силовой характеристикой. Она показывает, с какой силой электрическое поле действует на единичный пробный положительный заряд, помещенный в данную точку поля.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}, \quad (19.1)$$

Напряженность поля — это векторная величина. В каждой точке пространства электрическое поле характеризуется вектором напряженности.

$$[\vec{E}] = \left[\frac{\text{Н}}{\text{Кл}} \right]$$

Из формулы (19.1) следует, что силу, с которой электрическое поле действует на заряд, можно рассчитать, зная напряженность поля:

$$\vec{F} = \vec{E}q. \quad (19.2)$$

Рассчитаем напряженность электрического поля, созданного точечным зарядом. Это простая и легко решаемая задача. Рассмотрим положительный точечный заряд q , находящийся в вакууме. Поместим в точке A на расстоянии r от него положительный пробный заряд q_0 . Со стороны заряда q на пробный заряд действует сила отталкивания, поэтому напряженность поля положительного заряда q направлена от него (рис. 19.1). Определим модуль напряженности поля точечного заряда.



Рис. 19.1



Рис. 19.2

$$E = \frac{F}{q_0} = k \frac{qq_0}{r^2 q_0}.$$

Следовательно

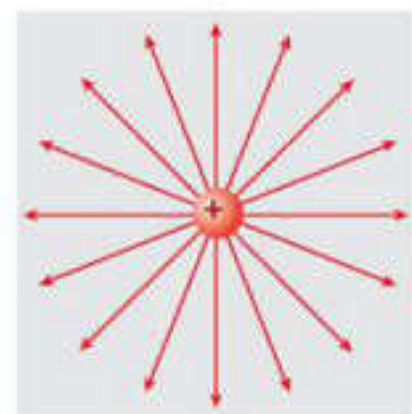
$$E = k \frac{q}{r^2}. \quad (19.3)$$

Пусть теперь заряд, создающий поле, будет отрицательным; модуль этого заряда также обозначаем q . Сила, действующая на положительный пробный заряд, станет силой притяжения. Поэтому напряженность поля отрицательного заряда направлена к нему (рис. 19.2), а модуль напряженности находят по формуле (19.3).

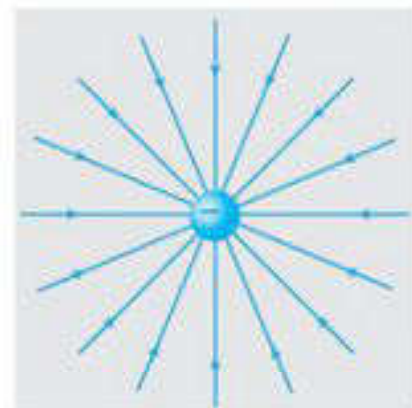


Рис. 19.3

Силовые линии электрического поля. Электрическое поле — это особый вид материи, который мы не видим, но его можно обнаружить по его действию на заряженные тела. Для наглядности электрическое поле принято изображать с помощью силовых линий.



Силовые линии, или линии напряженности — это линии, касательная к которым в любой точке поля совпадает с направлением вектора напряженности (рис. 19.3). Силовой линии приписывают определенное направление — от положительного заряда к отрицательному или в бесконечность.



Давайте вернемся к **пространственной картине поля точечного заряда**. Вместо векторов напряженности в разных точках нарисуем силовые линии напряженности (рис. 19.4).

Рис. 19.4. Линии напряженности поля точечного заряда

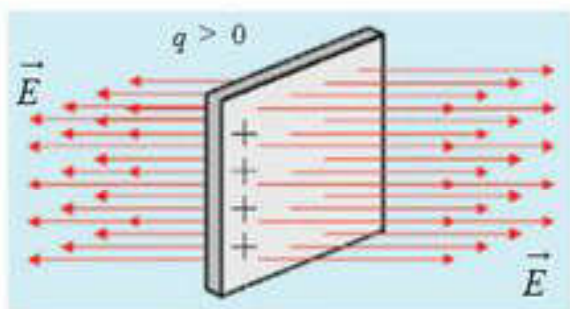


Рис. 19.5

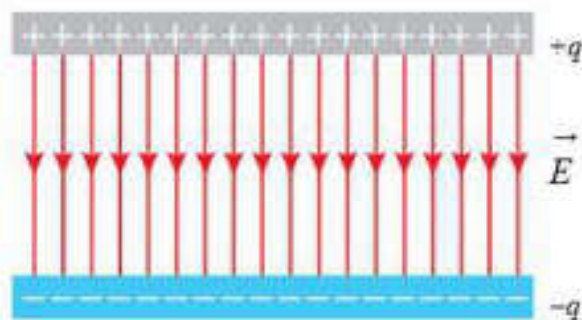


Рис. 19.6

Линии напряженности идут вдоль векторов напряженности, указывают направление этих векторов и даже содержат информацию об их абсолютных величинах. Аналогичную картину линий напряженности можно нарисовать и для заряженной плоскости (рис. 19.5). Поле, создаваемое бесконечной плоскостью, называется однородным, т. к. его силовые линии параллельны друг другу, а их густота везде одинаковая. Таким же однородным полем является поле, созданное двумя бесконечными параллельными разноименно заряженными пластинами (рис. 19.6).

Силовые линии этого поля параллельны друг другу и густота линий везде одинакова. Такое электрическое поле называется *однородным*. Для него можно записать $\vec{E} = \text{const}$.

Чем гуще силовые линии, тем больше величина напряженности электрического поля. Линии напряженности можно провести и в произвольном электрическом поле. Каким образом? В каждой точке пространства вектор напряженности поля направлен по касательной к линии напряженности. Линии напряженности как бы “подстраиваются” под векторы напряженности, “обтекая” их по касательной (рис. 19.3).

Линии напряженности электрического поля систем зарядов выглядят по-разному (рис. 19.7, а, б), но всегда начинаются на по-

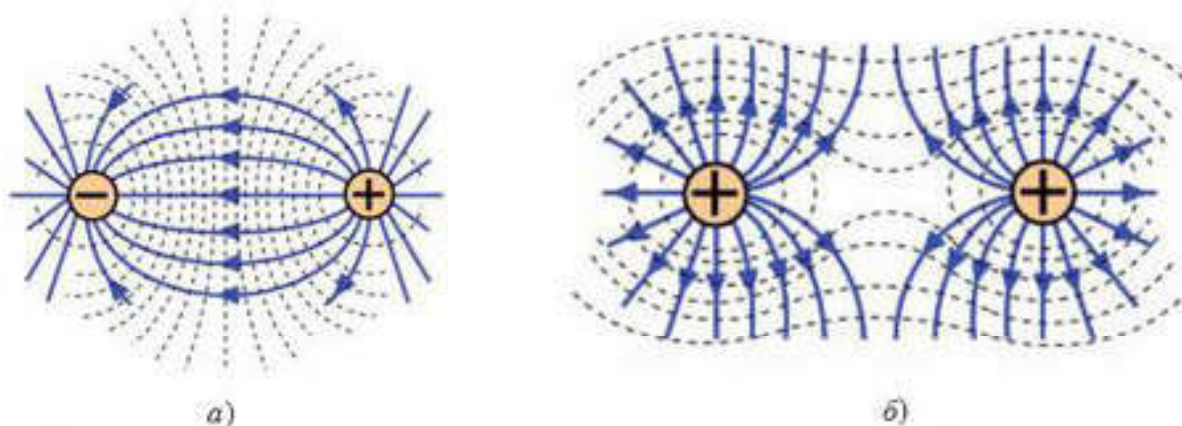


Рис. 19.7. Силовые линии напряженности электрического поля: а) разноименно заряженных точечных зарядов; б) одноименно заряженных точечных зарядов

ложительных зарядах и заканчиваются на отрицательных.



- Почему покраска предметов разбрызгиванием краски экономически выгоднее и безопаснее для здоровья, если окрашиваемый предмет заряжен?
- Объясните поведение лепестков султана (рис. 19.8).



Рис. 19.8



1. Что явилось причиной появления теории дальнего действия и в чем состоит ее суть?
2. О чем говорит теория ближнего действия?
3. Что представляет собой электрическое поле?
4. Какая величина характеризует электрическое поле?
5. Дайте характеристику силовым линиям электрического поля.
- 6. Как определить направление силовых линий электрического поля?
- 7. Определите знак заряда q , (рис. 19.9).
- 8. Величина какой силы больше: F_{12} или F_{21} (рис. 19.9)?
- 9. Может ли электрическое поле "бороться" с пылью?

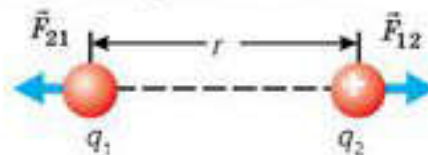


Рис. 19.9



Упражнение 12

1. Заряд $5 \cdot 10^{-7}$ Кл помещен в однородное электростатическое поле. Сила, действующая на заряд со стороны поля, равна $2,5 \cdot 10^{-5}$ Н. Какова напряженность поля? (Ответ: 50 Н/Кл)
2. Протон влетел в однородное электростатическое поле перпендикулярно к нему (рис. 19.10). Как изменится движение протона?
- 3. Заряды двух одинаковых маленьких металлических шариков равны $q_1 = q$ и $q_2 = 5q$. Шарики привели в соприкосновение и развели на прежнее расстояние. Во сколько раз изменился модуль силы электрического взаимодействия между ними? (Ответ: увеличится в 1,8 раз)
- 4. Какой заряд должна иметь пылинка массой 0,1 мг, чтобы она "висела" в однородном электрическом поле напряженностью 1 кН/Кл? (Ответ: 1 нКл)
- 5. Как изменится напряженность электрического поля точечного заряда при увеличении расстояния от заряда в 3 раза? (Ответ: уменьшится в 9 раз)
- 6. На каком расстоянии от точечного заряда 10 нКл находится точка, в которой напряженность поля равна 250 Н/Кл? (Ответ: 60 см)

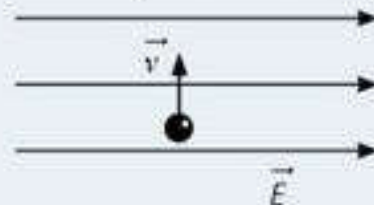


Рис. 19.10

Что вы усвоили по данной теме?

Что нового вы открыли для себя на уроке?	На что вы обратили особое внимание? Почему?	Какая информация заставила вас задуматься?

§ 20. Потенциал и разность потенциалов электрического поля



Ключевые слова:

- ✓ потенциал
- ✓ разность потенциалов



На этом уроке вы:

- узнаете и научитесь объяснять физический смысл разности потенциалов и потенциала.

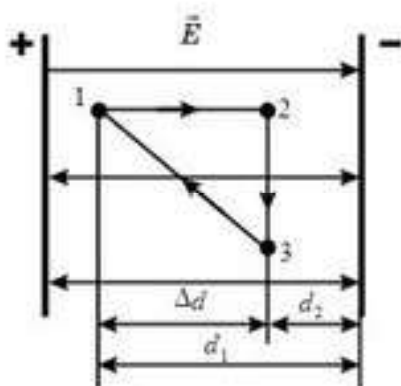


Рис. 20.1

Работа электрического поля. На заряд, находящийся в электрическом поле, со стороны поля действует электрическая сила. Если под действием этой силы заряд перемещается, то полем будет совершаться работа. Рассчитаем величину работы, совершаемой однородным полем по перемещению заряда. Рассмотрим перемещение заряда q под действием электрической силы $\vec{F} = q\vec{E}$ из точки 1 в точку 2 (рис. 20.1). Работа этой силы равна :

$$A = \vec{F}\Delta d = q \vec{E}\Delta d = q \vec{E}(d_1 - d_2) = q \vec{E}d_1 - q \vec{E}d_2.$$

Обратим внимание на то, что при перемещении заряда из точки 2 в точку 3 работа поля равна нулю, т. к. сила действует перпендикулярно перемещению. Значит, работа поля по перемещению заряда из точки 1 в точку 3 через точку 2 приобретет вид:

$$A = q\vec{E}d_1 - q\vec{E}d_2. \quad (20.1)$$

Тогда работа при перемещении заряда из точки 1 в точку 3 тоже равна $A = q\vec{E}d_1 - q\vec{E}d_2$.

Анализ полученной формулы приводит нас к следующим выводам: 1) работа электрического поля по перемещению заряда не зависит от формы траектории; 2) работа по замкнутой траектории (неважно по какой траектории) равна нулю, т. к. заряд возвращается в исходную точку.

Поля, обладающие этими свойствами, называются **потенциальными**, а силы, действующие в таких полях, называются **консервативными**. В полях, где действуют консервативные силы, справедлив закон сохранения энергии.

Потенциальная энергия заряда в электрическом поле. Потенциальную энергию можно определить лишь для консервативных сил; работа такой силы по перемещению заряженной частицы между двумя точками не зависит от выбранного пути. Из формулы (20.1) видно, что работа электрического поля равна разности двух величин, определяемых на-

чальным и конечным положением заряда в поле и не зависит от формы траектории. Эти величины и определяют начальную и конечную потенциальную энергию заряда в электрическом поле. Следовательно, потенциальная энергия заряда в электрическом поле рассчитывается по формуле:

$$W_p = qEd. \quad (20.2)$$

Для данной точки электрического поля вводят особую физическую величину — *электростатический потенциал*. Ее обозначают символом ϕ (фи).

Электростатический потенциал — это скалярная энергетическая характеристика электростатического поля, определяемая потенциальной энергией, которой обладает единичный пробный положительный заряд, помещенный в данную точку поля.

$$\phi = \frac{W_p}{q_0}. \quad (20.3)$$

Единицей измерения потенциала в Международной системе единиц СИ является **вольт**: $[\phi] = [V] = \left[\frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} \right]$.

Для однородного электростатического поля потенциал рассчитывают по формуле:

$$\phi = \frac{W_p}{q_0} = Ed. \quad (20.4)$$

Под потенциалом электростатического поля понимают физическую величину, определяемую работой поля по перемещению пробного единичного положительного заряда из данной точки поля в бесконечность. С учетом формулы (20.4) работу электростатического поля можно рассчитать по формуле:

$$A = q_0(\phi_1 - \phi_2). \quad (20.5)$$

Величину $\phi_1 - \phi_2 = \frac{A}{q_0}$ назвали *разностью потенциалов*.

Под разностью потенциалов понимают скалярную физическую величину, определяемую работой электрического поля по перемещению единичного пробного положительного заряда.

Разность потенциалов часто обозначают символом U и называют напряжением.

$$U = \phi_1 - \phi_2.$$

Поэтому работу электрического поля рассчитывают по формуле:

$$A = q \cdot U. \quad (20.6)$$



1. Какие поля называются потенциальными?
2. Перечислите основные свойства потенциальных полей.
3. Что понимают под потенциалом электростатического поля?
4. Каков физический смысл разности потенциалов?
5. Вблизи тела, заряженного положительно, помещают незаряженный проводник. Как вы думаете, положительным или отрицательным будет его потенциал?
6. В каком случае работа электрического поля равна нулю?



Упражнение 13

1. Два проводника заряжены до потенциалов 80 В и -80 В. Какую работу совершит поле этих двух зарядов при переносе заряда 40 мкКл с одного проводника на другой? (Ответ: 6,4 мДж)
2. Каков потенциал точки электрического поля, из которой для перемещения в точку с потенциалом 120 В заряда 4 мкКл необходимо совершить работу 0,24 мДж? (Ответ: 180 В)
3. Какую разность потенциалов прошел заряд 20 нКл, если при его перемещении полем была совершена работа 2,8 мкДж? (Ответ: 140 В)
4. Определите потенциал точки поля, в которой заряд 12 нКл обладает энергией 2 мкДж. (Ответ: 167 В)
5. Какую работу совершает электрическое поле, перемещая заряд 20 нКл из точки с потенциалом 100 В в точку с потенциалом 20 В. (Ответ: 1,6 мкДж)
6. На какое расстояние был перемещен заряд 40 мкКл, если электрическое поле напряженностью 5 кВ/м совершило при этом работу 10 мДж? (Ответ: 50 мм)

Что вы усвоили по данной теме?

Что нового вы открыли для себя на уроке?	На что вы обратили особое внимание? Почему?	Какая информация заставила вас задуматься?

§ 21. Проводники и диэлектрики



Ключевые слова:

- ✓ электростатическая индукция
- ✓ диэлектрики
- ✓ поляризация диэлектрика

На этом уроке вы:

- научитесь различать поведение проводников и диэлектриков в электрическом поле.

Проводники. Несмотря на то, что все вещества состоят из атомов и молекул, их внутреннее строение различно. Те из них, в которых имеются заряженные частицы, способные свободно перемещаться, называются **проводниками**, а сами частицы называют **свободными зарядами**.

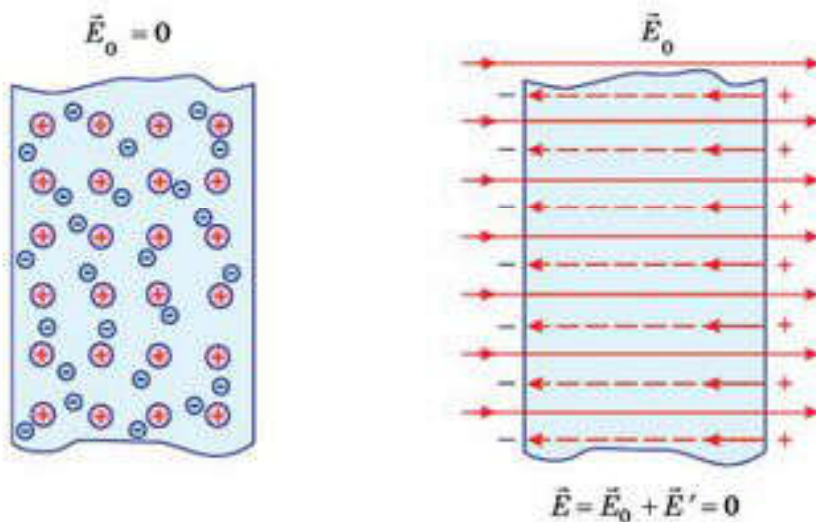


Рис. 21.1

Если поместить проводник в электрическое поле, то находящиеся в нем свободные заряды придут в движение под действием сил поля и в проводнике возникнет направленное движение зарядов, то есть электрический ток. Проводники потому так и называются, что они проводят электрический ток.

Лучшие проводники — металлы. Свободными заряженными частицами в металлах являются свободные электроны. Поскольку электроны имеют отрицательный электрический заряд, действующая на них со стороны электрического поля сила направлена противоположно напряженности электрического поля, и поэтому в металлическом проводнике, находящемся в поле, электроны сосредоточатся на одной его стороне. Внутри проводника возникнет собственное электрическое поле, напряженность которого равна по модулю напряженности внешнего поля, и поэтому напряженность результирующего поля внутри проводника равна нулю (рис. 21.1). Следовательно, под действием электрического поля в проводнике наводится заряд, который сосредотачивается на его поверхности, т. е. $E = 0$.

Если проводник, не вынимая из электрического поля, разрезать на две части, то мы получим два разноименно заряженных проводника (рис. 21.2).

Перераспределение зарядов в проводнике, в результате которого напряженность электрического поля внутри проводника обращается в нуль, называют электростатической индукцией.

При равновесии зарядов напряженность электрического поля внутри проводника равна нулю.

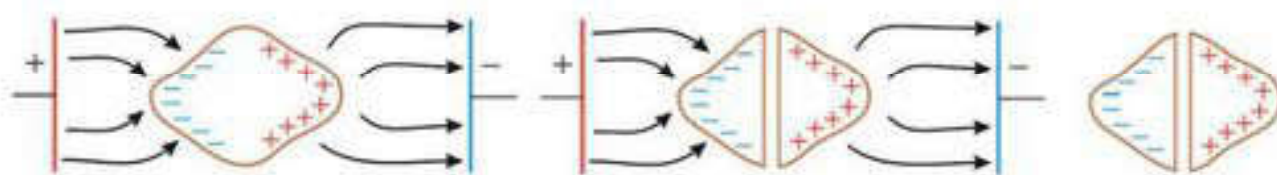


Рис. 21.2



Рис. 21.3

Это свойство проводников в электрическом поле используют для создания электростатической защиты: например, чувствительные к электрическому полю приборы заключают в металлические корпуса. Причем для этого не обязательно даже, чтобы стенки корпусов были сплошными, — достаточно использовать металлическую сетку, которую называют иногда “сеткой Фарадея” (рис. 21.3).

Электростатическую защиту используют, чтобы защитить людей, работающих в сильном электрическом поле. В этом случае металлической сеткой окружают пространство, в котором работают люди.

Громоотвод (молниеотвод) служит для защиты зданий и судов от разрушительных действий молнии. Его действие основано на свойстве металлических остроконечных стержней как бы извлекать электричество из наэлектризованных предметов, в сторону которых остроконечия обращены. Громоотвод состоит из одного или нескольких металлических стержней, поставленных на верхней части здания, обращенных остриями вверх и металлически соединенных с землей. Грозовые облака, проходя над такими стержнями, теряют свое электричество. Электрический разряд происходит или бесшумно, будучи сопровождаемый слабым светом на оконечности стержня, или же в стержень ударяет молния, сопровождаемая громом.

Диэлектрики. Как вы уже знаете, в диэлектриках нет свободных зарядов. Однако это не значит, что в них вообще нет заряженных частиц, ведь в атомах и молекулах диэлектриков, как и в любых других веществах, есть положительно заряженные ядра и отрицательно заряженные электроны. Заряды в атомах и молекулах диэлектрика сильно связаны друг с другом, и поэтому их называют связанными зарядами.

Рассмотрим подробнее, что происходит в диэлектриках при внесении их в электрическое поле. Под действием сил электрического поля связанные заряды разворачиваются так, что располагаются вдоль линий электрического поля (рис. 21.4).

Итак, под действием внешнего электрического поля молекулы диэлектриков выстраиваются по направлению напряженности внешнего электрического поля. Это явление называют *поляризацией ди-*

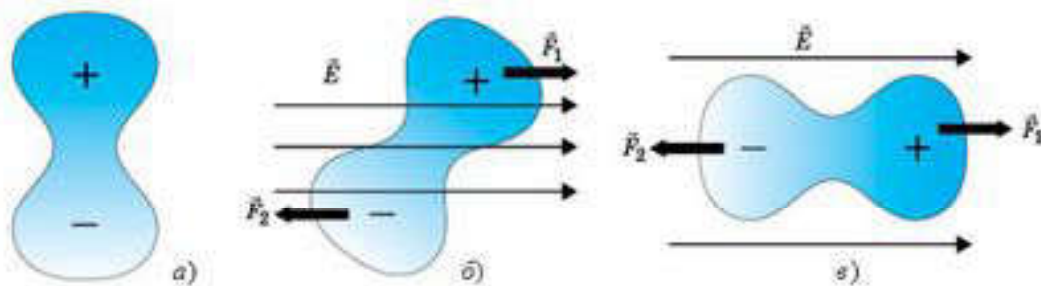


Рис. 21.4

электрика. В результате поляризации диэлектрика на его поверхности появляются заряды (рис. 21.5).

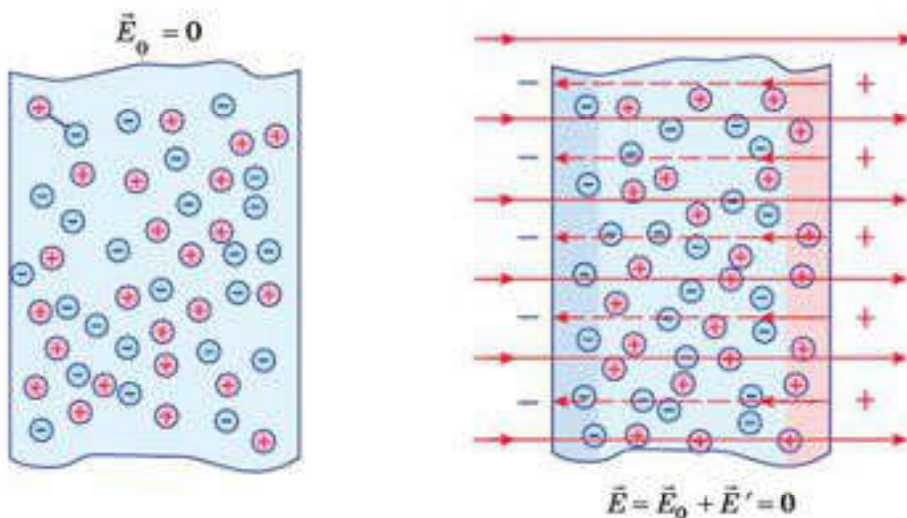


Рис. 21.5

Мы видим, что положительные и отрицательные заряды, образовавшиеся вследствие поляризации, внутри диэлектрика компенсируют друг друга (рис. 21.6). А на поверхности диэлектрика такой компенсации нет, поэтому и возникают поверхностные заряды.

На рисунке 21.6 схематически показано, как в результате поляризации диэлектрика на его поверхности появляются связанные заряды. Таким образом, вследствие поляризации диэлектрика напряженность электрического поля внутри диэлектрика уменьшается.

Благодаря поляризации незаряженные диэлектрики притягиваются к заряженному телу независимо от знака его заряда.

Напомним, что величину, которая показывает, во сколько раз уменьшится напряженность внешнего электрического поля внутри однородного диэлектрика, называют **относительной диэлектрической проницаемостью** и обозначают $[\epsilon]$.

Значения диэлектрической проницаемости для разных веществ могут очень сильно различаться.



Рис. 21.6

Например, для воздуха $\epsilon = 1,0006$, что очень мало отличается от единицы. Очень близка к единице и диэлектрическая проницаемость других газов ($\epsilon \approx 1$). Обусловлено это главным образом малой концентрацией молекул в газах.

Значение диэлектрической проницаемости большинства жидкостей и твердых тел — от нескольких единиц до нескольких десятков. Сравнительно велика диэлектрическая проницаемость воды: $\epsilon = 81$.



1. Какие тела называются проводниками? Приведите примеры.
2. Что происходит в проводнике, попавшем в электрическое поле? В каком направлении будут двигаться при этом свободные электроны?
3. Объясните, почему поле, созданное этими зарядами внутри проводника, направлено противоположно внешнему полю.
4. Какие тела называются диэлектриками? Приведите примеры.
5. Как происходит поляризация диэлектрика?

Что вы усвоили по данной теме?

Что нового вы открыли для себя на уроке?	На что вы обратили особое внимание? Почему?	Какая информация заставила вас задуматься?

§ 22. Электроёмкость. Конденсатор



Ключевые слова:

- ✓ электроёмкость
- ✓ конденсатор
- ✓ фарад



На этом уроке вы:

- узнаете назначение и устройство конденсатора.



Электроёмкость. Если одиночному проводнику сообщить электрический заряд q , то потенциал на его поверхности будет ϕ . Можно заметить, что при увеличении величины заряда на проводнике до $2q$ величина потенциала на нем увеличится до 2ϕ . Следовательно, чем больше величина заряда на проводнике, тем больше потенциал на его поверхности. Тогда можно ввести коэффициент пропорциональности C . Его назвали **электроёмкостью проводника**.

Электроёмкость проводника — это физическая величина, которая показывает, какой заряд необходимо сообщить проводнику, чтобы его потенциал стал равен 1 В.

$$C = \frac{q}{\phi}. \quad (22.1)$$

Единица измерения емкости в Международной системе единиц СИ фарад (Ф): $[C] = [Ф] = \left[\frac{Кл}{В} \right]$.

Емкость в 1 Ф — это емкость такого проводника, которому для повышения потенциала на 1 В необходимо сообщить заряд 1 Кл. 1 Ф — это очень большая емкость. Такой емкостью обладал бы шар радиусом $9 \cdot 10^9$ км. Поэтому на практике емкость часто выражают в микрофарадах и нанофарадах

$$1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}, \quad 1 \text{ нФ} = 10^{-9} \text{ Ф}.$$

Конденсатор. Если к изолированному заряженному проводнику в форме пластинки приблизить другой незаряженный проводник, то можно заметить, что потенциал заряженного проводника уменьшится. Удалив второй проводник, убеждаемся, что потенциал первого проводника принимает прежнее значение. Этот опыт показывает, что емкость проводника увеличивается с приближением к нему другого проводника. Если между проводниками поместить твердый диэлектрик (например, слюду), то потенциал первого проводника опять уменьшится, а заряд его не изменится. Следовательно, наличие твердого диэлектрика между проводниками приводит к увеличению емкости данной системы.

Систему из двух разноименно заряженных проводников, разделенных тонким слоем диэлектрика, называют **конденсатором** (от лат. “Condensare” — уплотнять, сгущать). Конденсатор обладает емкостью гораздо большей емкости одиночных проводников.

Емкостью конденсатора называется физическая величина, определяемая отношением заряда q одного из проводников к разности потенциалов U между ними.

Емкость конденсатора находят по формуле:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U}. \quad (22.2)$$

Емкость конденсатора зависит от его конструкции. Если проводники плоские и расположены параллельно, то конденсатор называется **плоским** (рис. 22.1). Каждая из заряженных пластин плоского конденсатора создает вблизи поверхности электрическое поле, которое сосредоточено между ними.

Пластины плоского конденсатора называются **обкладками**.

Емкость плоского конденсатора зависит не от величины заряда на нем, а от толщины диэлектрика и площади пластины. Т. е.

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}. \quad (22.3)$$

Здесь S — площадь пластины, d — расстояние между ними, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м — электрическая постоянная, ϵ — относительная диэлектрическая проницаемость среды.

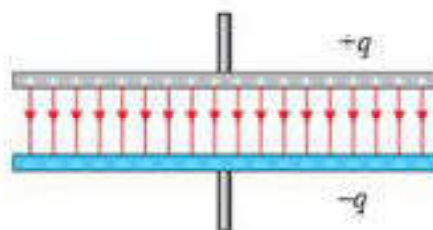


Рис. 22.1



Рис. 22.2

На рисунке 22.2 приведен внешний вид разных конденсаторов.

На схемах конденсатор обозначают значком $-| |-$.

Заряженный конденсатор обладает электрической энергией. Ее величина рассчитывается по формуле:

$$W_c = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}. \quad (22.4)$$

Конденсаторы применяются для накопления электрической энергии и использования ее при быстром разряде (фотовспышка), для разделения цепей постоянного и переменного тока, в выпрямителях, колебательных контурах и других радиоэлектронных устройствах. Конденсаторы можно соединять друг с другом. При этом их общая емкость зависит от способа соединения конденсаторов и может увеличиваться.

Последовательное соединение конденсаторов. Это такое соединение, при котором на всех конденсаторах одинаковый заряд (рис. 22.3).

При этом соединении справедливы следующие соотношения:

1. $q_1 = q_2 = q_3 = q$.
2. $U_1 + U_2 + U_3 = U$.
3. $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$.

При последовательном соединении конденсаторов общее напряжение равно сумме падений напряжения на каждом конденсаторе, а общая емкость системы конденсаторов уменьшается.

Параллельное соединение конденсаторов. Это такое соединение, когда на конденсаторах одинаковое напряжение (рис. 22.4).

При этом соединении справедливы следующие соотношения:

1. $U_1 = U_2 = U$.
2. $q_1 + q_2 = q$.
3. $C = C_1 + C_2$.

При параллельном соединении общий заряд на конденсаторах равен суммарному заряду всех конденсаторов, а емкость батареи конденсаторов равна сумме емкостей отдельных конденсаторов и увеличивается.

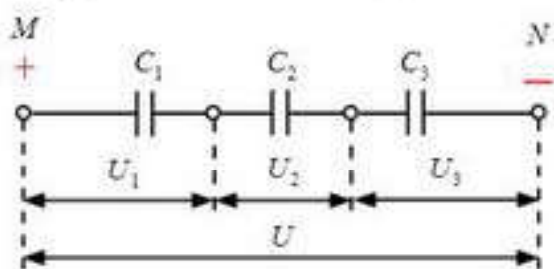


Рис. 22.3

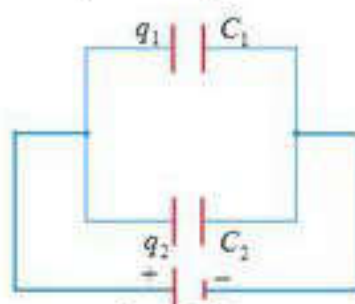


Рис. 22.4



1. Электроемкость проводника $C = 40$ нФ. Что это означает?
- *2. Можно ли говорить об электроемкости тела из диэлектрика?
3. Что представляет собой конденсатор?
4. В каких случаях металлические проводники образуют конденсатор?
5. Что понимают под зарядом конденсатора?
- *6. Какими опытами можно доказать, что заряженный конденсатор обладает энергией?
- *7. Как изменится емкость плоского конденсатора, если: а) увеличить заряд обеих его обкладок в 2 раза; б) заряд одной обкладки оставить прежним, а заряд второй уменьшить в 3 раза?
- *8. Как изменится энергия заряженного конденсатора, отключенного от источника тока, если увеличить его емкость в 3 раза?
- *9. В вашем распоряжении имеются два конденсатора одинаковой емкости. Как нужно соединить конденсаторы, чтобы получить а) удвоенную емкость, б) емкость, меньшую в два раза?



Упражнение 14

- *1. Три последовательно соединенных конденсатора емкостями $C_1 = 300$ пФ, $C_2 = 40$ пФ и $C_3 = 100$ пФ подключены к источнику тока с напряжением 160 В. Найдите напряжение U_2 на конденсаторе емкостью C_2 . (Ответ: 104 В)
- *2. Какова емкость батареи конденсаторов, соединенных по схеме, изображенной на рисунке 22.5, если учесть, что емкость каждого конденсатора 4 мкФ. (Ответ: 1,33 мкФ)
3. Какова энергия заряженного конденсатора емкостью 5 нФ, если разность потенциалов между его обкладками 400 В? (Ответ: 400 мкДж)
4. Какой заряд нужно сообщить конденсатору емкостью 10 мкФ, чтобы разность потенциалов между его пластинами стала равна 120 В? (Ответ: 1,2 мКл)
5. Какова электроемкость конденсатора, если после сообщения ему заряда 0,4 мКл между его обкладками возникла разность потенциалов 800 В? (Ответ: 0,5 нФ)
- *6. Определите емкость батареи конденсаторов (рис. 22.6), если значения емкостей конденсаторов даны в нФ. (Ответ: 40 нФ)
- *7. Площадь каждой пластины плоского конденсатора равна 520 см². На каком расстоянии друг от друга надо расположить пластины в воздухе, чтобы при подключении их к источнику тока напряжением 12 В на пластинах появился заряд 55,2 нКл? (Ответ: 0,1 мм)
- *8. Плоский конденсатор состоит из двух пластин площадью 59 см² каждая. Между ними находится слой стекла. Какой максимальный заряд можно накопить на этом конденсаторе, если при напряженности поля 10 МВ/м в стекле происходит пробой конденсатора? (Ответ: 5,22 нКл)
- *9. В импульсной фотовспышке лампа питается от конденсатора емкостью 800 мкФ, заряженного до напряжения 800 В. Какова энергия вспышки и средняя мощность, если продолжительность разряда 2,4 мс? (Ответ: 256 Дж; 107 кВт)

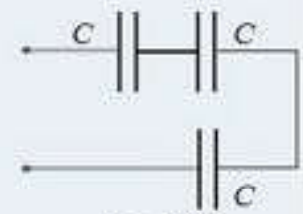


Рис. 22.5

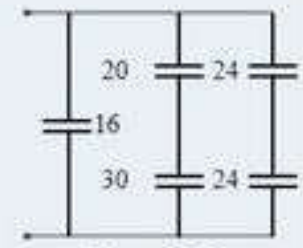


Рис. 22.6

Что вы усвоили по данной теме?

Что нового вы открыли для себя на уроке?	На что вы обратили особое внимание? Почему?	Какая информация заставила вас задуматься?

Самое важное в главе

Основы электростатики

Тело электризуется, когда оно теряет или приобретает электроны и имеет либо положительный, либо отрицательный заряд. При электризации заряды не создаются, а перераспределяются. Наэлектризовать тело можно трением, соприкосновением с заряженным телом и индукцией. Явление электризации подчиняется закону сохранения заряда:

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const.}$$

Вещества по электрическим свойствам делятся на проводники и диэлектрики. У проводников много свободных заряженных частиц, а диэлектрики состоят из связанных зарядов. Поэтому диэлектрики используются в качестве изоляторов, а проводники, наоборот, в качестве проводников.

Одноименные заряды отталкиваются, разноименные притягиваются. Величину силы взаимодействия находят с помощью закона Кулона:

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

Электрическое взаимодействие осуществляется посредством электрического поля. Электрическое поле изображают с помощью силовых линий — это линии, касательные к которым совпадают с направлением вектора напряженности:

Напряженность электрического поля — силовая характеристика:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}.$$

Потенциал электрического поля — энергетическая характеристика:

$$\phi = \frac{W}{q}.$$

Электрическое поле можно “спрятать” в конденсаторе — устройстве, состоящем из двух проводников, разделенных тонким слоем диэлектрика.

Конденсатор характеризуется особой величиной — электроемкостью. Электроемкость конденсатора — это физическая величина, определяемая отношением модуля заряда одной из обкладок конденсатора к разности потенциалов между ними:

$$C = \frac{q}{U}.$$

Заряженный конденсатор обладает энергией:

$$W_c = \frac{CU^2}{2}.$$

Соединение конденсаторов	
последовательное	параллельное
1. $q = q_1 = q_2 = q_3$	1. $q = q_1 + q_2 + q_3$
2. $U = U_1 + U_2 + U_3$	2. $U = U_1 = U_2 = U_3$
3. $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$	3. $C = C_1 + C_2 + C_3$

Постоянный электрический ток

ГЛАВА

5

Невозможно представить нашу жизнь без телевизора, компьютера, стиральной машины, электрических ламп, электродрели и других электрических приборов.

Как они работают?

Какие законы описывают их работу?



В современном мире трудно представить себе какую-то отрасль жизнедеятельности без электрической энергии. Будь то тяжелая промышленность, сельское хозяйство, транспорт или нефтяная промышленность и т. д.



Каким образом получают электрическую энергию?

Какие альтернативные источники энергии эффективнее для человечества на сегодняшний день?



5

§ 23. Постоянный электрический ток. Источники электрического тока



Ключевые слова:

- ✓ электрический ток
- ✓ источник тока
- ✓ ЭДС
- ✓ внутреннее сопротивление

На этом уроке вы:

- научитесь выяснять условия возникновения и существования электрического тока, работу источника тока.

Нам уже известно, что заряженные частицы, попавшие в электрическое поле, испытывают на себе действие электрических сил.



В электрическое поле, созданное двумя бесконечными разноименно заряженными пластинами, поместим сначала нейтральные частицы, затем положительно заряженные частицы и потом электроны. Мы обнаружим, что во всех случаях частицы будут участвовать в тепловом (хаотичном) движении, интенсивность которого зависит от температуры (рис. 23.1).

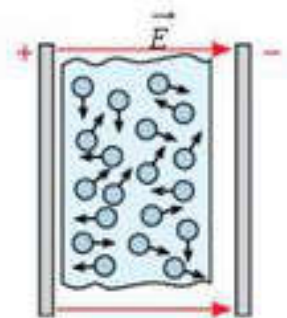


Рис. 23.1

Во втором и третьем случаях на хаотичное движение частиц будет накладываться их упорядоченное движение, вызванное действием сил электрического поля пластин (рис. 23.2).

Упорядоченное (направленное) движение заряженных частиц называется электрическим током.

Электрический ток похож на движение стайки мошкеры, которая уносится ветром в одном направлении, несмотря на то, что каж-

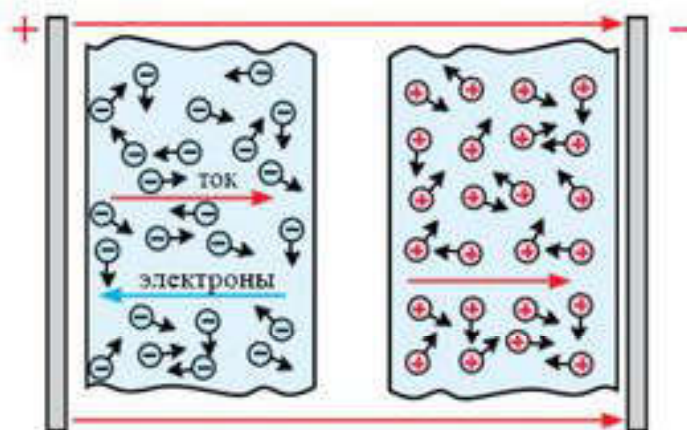


Рис. 23.2

дая отдельно взятая мошка в стайке движется в разных направлениях.

За направление электрического тока условно принято направление, по которому движутся в проводнике положительные заряды.

Если же пластины будут заряжены одноименными равными по величине зарядами, то упорядоченного движения частиц мы наблюдать не будем (рис. 23.3).

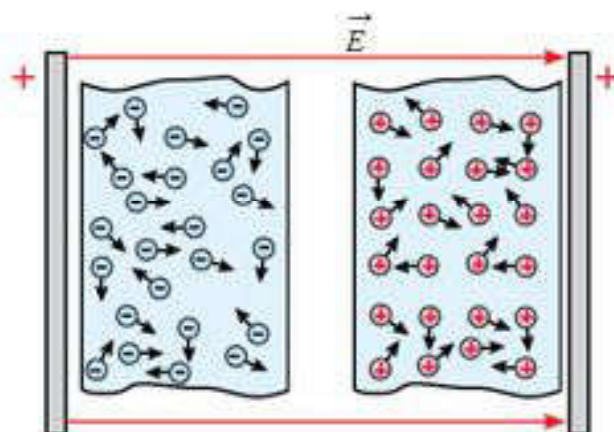


Рис. 23.3

Это можно проверить экспериментально. Зарядим стержни двух электрометров, сообщив им одинаковые по величине и знаку потенциалы, а затем соединим их металлическим стержнем. Мы увидим, что стрелки электрометров останутся в первоначальном положении (рис. 23.4). Значит, электрического тока в образовавшейся цепи не будет.

Если же стержни электрометров зарядить, сообщив им разные потенциалы, и вновь соединить их металлическим стержнем, заряды на стержнях начнут перераспределяться. Этот процесс будет идти до тех пор, пока не сравняются потенциалы стержней. Об этом можно судить по показаниям электрометров. До момента выравнивания потенциалов в цепи будет идти электрический ток (рис. 23.5).

Исходя из мысленных и реальных экспериментов, делаем выводы: для того, чтобы возник и существовал электрический ток, необходимо выполнить два условия:

1. *Наличие в среде свободных заряженных частиц.*
2. *Наличие электрического поля, способного перемещать заряженные частицы.*

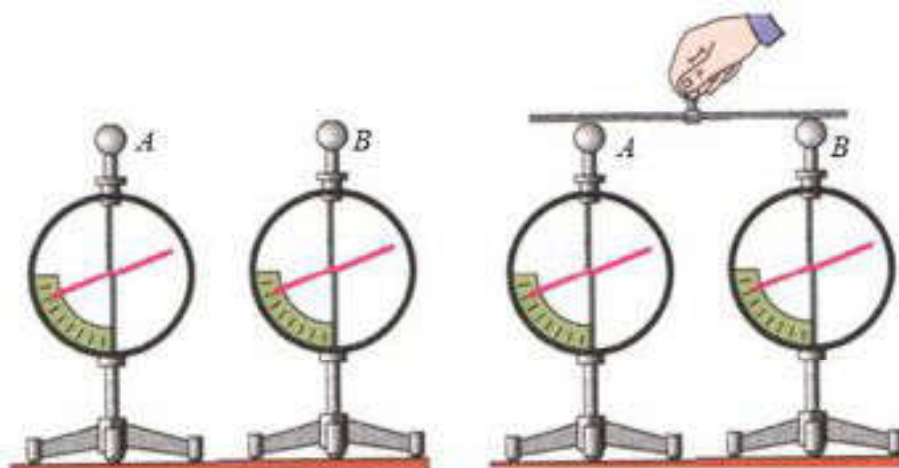


Рис. 23.4

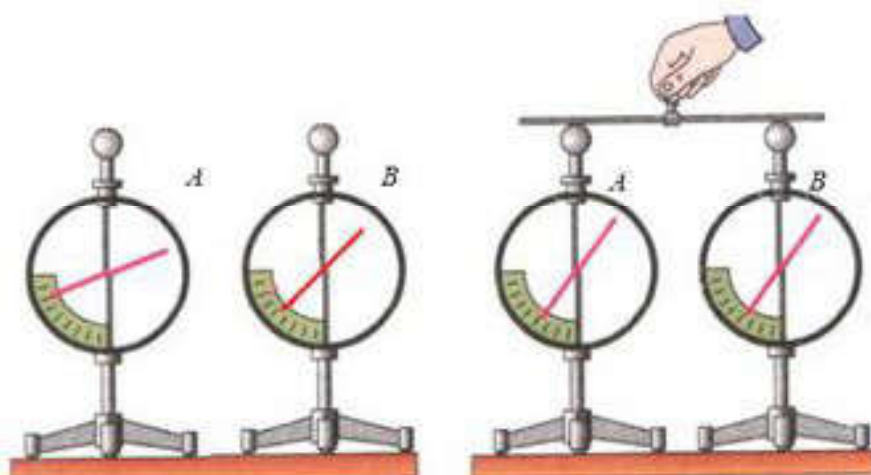


Рис. 23.5

Допустим, что в данной среде (например, в металлах) имеются свободные заряженные частицы (в металлах это электроны). При отсутствии электрического поля эти частицы будут двигаться беспорядочно, и скорость этого хаотичного движения определяется температурой тела. Если же создать в данной среде электрическое поле, то оно будет действовать на заряженные частицы с силой, которую называют электрической, и под действием этой силы свободные заряженные частицы, сохраняя свое беспорядочное движение, начнут двигаться в определенном направлении. Тогда в среде возникает **электрический ток**. Если же в среде нет свободных заряженных частиц, то тока не будет. Поэтому все среды делятся на проводники электрического тока и диэлектрики (вещества, не проводящие ток).

Источники тока. Для того, чтобы внутри проводника постоянно существовало электрическое поле, т. е. на концах проводника существовала разность потенциалов, необходимо устройство, которое бы преобразовывало какой-либо вид энергии в электрический. Такое устройство называется **источником тока**. Внутри источника тока под действием сил неэлектрической природы (их называют **сторонними силами**) происходит разделение зарядов, которые собираются на клеммах (зажимах) источника. Внутри источника сторонние силы совершают работу по перемещению заряда, и за счет этого на его зажимах поддерживается постоянная разность потенциалов.

*Работа, совершаемая сторонними силами по перемещению единичного положительного заряда по замкнутой цепи, называется **электродвижущей силой источник а тока**:*

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ст}}}{q_0},$$

обозначается символом \mathcal{E} и измеряется в вольтах.

$$[\mathcal{E}] = [\text{В}]$$

В зависимости от того, какой вид энергии превращает источник тока в электрическую энергию, различают соответствующие им виды источников (табл. 23.1).

Таблица 23.1

Преобразование энергии	Название источников тока
Механическая энергия в электрическую	Электрофорная машина, генератор
Внутренняя энергия в электрическую	Термоэлемент
Световая энергия в электрическую	Фотоэлемент, солнечная батарея
Химическая энергия в электрическую	Гальванический элемент, аккумулятор, батареи

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

До конца XVIII в. все источники тока были основаны на электризации трением. Наиболее эффективным источником тока стала электрофорная машина. Если диски привести во вращение в противоположных направлениях, то благодаря трению щеток о диски на кондукторах накапливаются заряды противоположных знаков (рис. 23.6).

Существует другой источник тока — гальванический элемент, где используется энергия химической реакции (рис. 23.7). В сосуд, где находится раствор серной кислоты, помещают цинковый и медный электроды. Атомы цинка активнее взаимодействуют с кислотой, и ионы цинка вырываются из цинка, заряжая его отрицательно. Медь с кислотой слабо взаимодействует, и она приобретает положительный заряд. Поэтому между электродами возникает разность потенциалов.

Некоторые виды источника тока

Электрофор



Рис. 23.6

Гальванические элементы

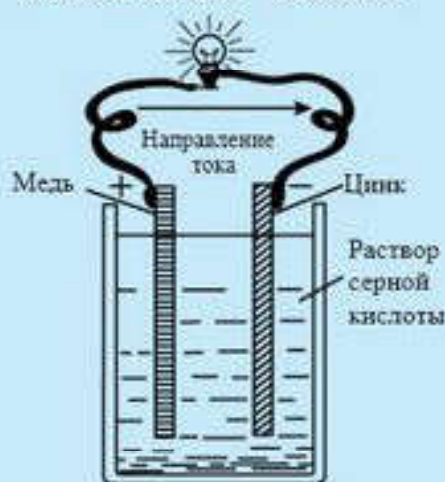


Рис. 23.7

В качестве источника тока используют термоэлемент, который превращает внутреннюю энергию в электрическую. Если две проволоки из разных металлов спаять и место спая нагреть, то возникнет электрический ток (рис. 23.8).



Рис. 23.8



Рис. 23.9



Рис. 23.10

При освещении некоторых веществ (селена, германия, кремния, оксида меди и др.) тоже возникает разность потенциалов. Так работает солнечная батарея (рис. 23.9).

Один из видов источников тока изображен на рисунке 23.10.



Рис. 23.11

За счет работы сторонних сил в источнике тока накапливается электрическая энергия. Для того, чтобы использовать эту энергию, необходим потребитель тока. Источник тока, потребители тока, замыкающие устройства, соединенные между собой проводами, образуют электрическую цепь (рис. 23.11).

Кроме электродвижущей силы источник тока характеризуется внутренним сопротивлением. Заряды, перемещаясь внутри источника, преодолевают сопротивление со стороны источника.



1. Что понимают под электрическим током?
2. Какие условия необходимо выполнить для того, чтобы в цепи возник ток?
3. В каком направлении течет ток, и в каком направлении движутся электроны в проводнике?
4. Какие силы называются сторонними, и где они действуют?
5. Как вы думаете, насколько важна роль источника тока в электрической цепи и в чем она заключается?
6. Какая величина характеризует источник тока?
7. Объясните физический смысл ЭДС источника тока.
8. Что понимают под внутренним сопротивлением источника тока?
9. Что означает надпись на источнике тока 9 В?
10. Какую работу совершили сторонние силы, перемещая по цепи заряд 1,5 Кл, если ЭДС источника тока 4,5 В?

Что вы усвоили по данной теме?

Что особенно вам понравилось на уроке?	Какой конкретный опыт вы приобрели?	Какие вопросы возникли? Почему?

§ 24. Электрическая цепь и ее составные части. Сила тока. Напряжение

**На этом уроке вы научитесь:**

- применять условные обозначения элементов электрической цепи при графическом изображении электрических схем;
- объяснять физический смысл напряжения и силы тока, их единицы измерения.

**Ключевые слова:**

- ✓ электрическая цепь
- ✓ сила тока
- ✓ напряжение

Действия тока. Прохождение электрического тока сопровождается непрерывным расходом энергии на преодоление сопротивления. Эту энергию доставляет источник электрической энергии, в котором происходит процесс преобразования механической, химической, тепловой или другого вида энергии в электрическую. Электрический ток, проходя по потребителям (а ими могут быть лампы, электроплитки, пылесосы, электродвигатели), может оказывать тепловое (наблюдается во всех проводниках, кроме сверхпроводников), магнитное (наблюдается во всех проводниках) и химическое (наблюдается в электролитах) действия, т. е. электрический ток совершает работу.

Тепловое действие тока заключается в том, что ток, проходя по проводнику, вызывает его нагревание. Наиболее отчетливо это действие проявляется в электронагревательных приборах (рис. 24.1).

Магнитное действие заключается в том, что ток, протекая по проводникам, создает вокруг них магнитное поле. Так, например, если пропустить ток по двум параллельным проводникам в одном направлении, то они начнут притягиваться, если же токи идут в противоположных направлениях, то проводники будут отталкиваться (рис. 24.2).

**Рис. 24.1**

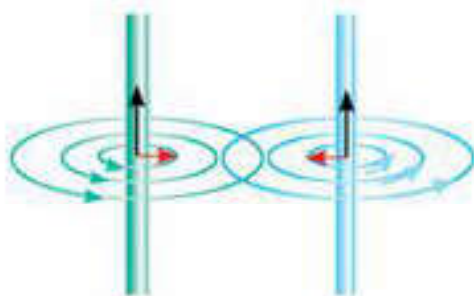


Рис. 24.2

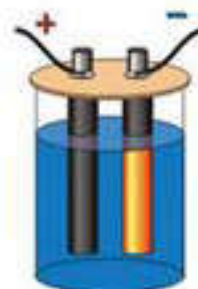


Рис. 24.3

Химическое действие тока заключается в том, что при прохождении тока через водные растворы солей, щелочей или кислот, наблюдается выделение веществ (рис. 24.3).

Электрическая цепь. Источник тока, потребители, замыкающие устройства, соединенные между собой проводами, образуют электрическую цепь. Если выключатель разомкнуть, то ток в цепи прекратится.

Для удобства изображения электрической цепи и ее основных элементов вводят условные обозначения элементов (табл. 24.1). Получившийся чертеж называется *электрической схемой*.

Таблица 24.1

Условное обозначение элементов электрической цепи			
<p><i>Источники тока</i></p> <p>Гальванический элемент</p>	<p><i>Потребители</i></p> <p>Лампочка</p> <p>Звонок</p>	<p><i>Управляющие элементы</i></p> <p>Ключ</p> <p>Потенциометр</p> <p>Реостат</p>	<p><i>Соединение проводов</i></p> <p>Клеммы</p> <p>Пересечение проводов с соединением</p> <p>Пересечение проводов без соединения</p>
<p>Батарея элементов</p>	<p>Резистор (сопротивление)</p> <p>Нагревательный элемент</p>	<p>Предохранитель</p>	<p>Амперметр</p> <p>Вольтметр</p>

Сила тока. Мы знаем, что электрический ток, проходя по потребителям, совершает различные действия, которые проявляются в разной степени — сильнее или слабее. Совершенно ясно, что чем больший заряд пройдет за единицу времени по потребителю, тем большее действие окажет ток. Поэтому для характеристики действия тока вводят особую величину — *силу тока*.

Сила тока I — это физическая величина, которая показывает, какой величины заряд проходит через поперечное сечение проводника за единицу времени t .

$$I = \frac{q}{t}. \quad (24.1)$$

Единицу силы тока в честь французского физика А. М. Ампера назвали **ампером**. $[I] = [A]$.

За 1 А принимают такую силу тока, которая, протекая по отрезкам двух параллельных проводников длиной по 1 м, находящихся на расстоянии 1 м друг от друга, вызывает их взаимодействие с силой $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

На практике часто применяют дольные единицы силы тока, например,

$$1 \text{ мА} = 10^{-3} \text{ А}, \quad 1 \text{ мкА} = 10^{-6} \text{ А}.$$

Измеряют силу тока с помощью амперметра, который включают в цепь последовательно с тем прибором, силу тока в котором измеряют.

Напряжение. Электрическая цепь имеет еще одну характеристику, которую называют **напряжением** $[U]$. Электрическое поле, перемещая заряженные частицы, совершает работу. Эту работу называют **работой тока**. Очевидно, что величина этой работы зависит от напряжения.

Напряжение — это физическая величина, показывающая, какую работу совершает электрическое поле при перемещении единичного заряда по проводнику u .

$$U = \frac{A}{q_0}.$$

Единицу измерения напряжения в честь итальянского физика А. Вольта назвали **вольт** :

$$[U] = [V] = \left[\frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} \right].$$

Если при перемещении по проводнику заряда в 1 Кл электрическое поле совершает работу в 1 Дж, то говорят, что напряжение на концах проводника равно 1 В.

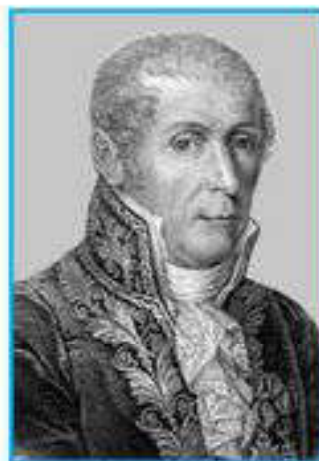
На практике часто применяют дольные и кратные единицы напряжения, например :

$$1 \text{ мВ} = 10^{-3} \text{ В}, \quad 1 \text{ мкВ} = 10^{-6} \text{ В}, \quad 1 \text{ кВ} = 10^3 \text{ В}.$$

Напряжение измеряют с помощью вольтметра, который включается параллельно тому участку цепи, на котором необходимо определить напряжение.



Андре Мари Ампер
(1775—1836)



Алессандро Вольта
(1745—1827)



1. Назовите действия, которые оказывает ток, проходя по электрической цепи.
2. Приведите примеры теплового, химического и магнитного действий тока.
3. Назовите основные составляющие электрической цепи.
4. Каково назначение источника тока и потребителя в электрической цепи?
5. Какое место в электрической цепи занимает амперметр? Почему именно такое?
6. Чем отличается включение вольтметра в электрическую цепь от включения амперметра?
7. Начертите схему электрической цепи, состоящей из источника тока, звонка, амперметра, реостата, соединенных последовательно, и вольтметра, измеряющего напряжение на реостате.
8. Рассмотрите две схемы рисунка 24.4, а, б. На схеме рисунка 24.4, а показания амперметра равны 1,2 А. Каковы показания этого же амперметра, включенного в ту же цепь в другое место (рис. 24.4, б)?

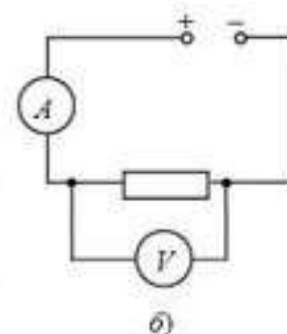
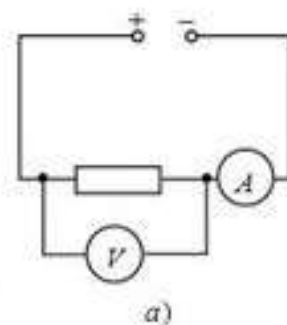


Рис. 24.4



Упражнение 15

1. Выразите в амперах силу тока $I_1 = 200 \text{ мА}$, $I_2 = 420 \text{ мкА}$, $I_3 = 0,034 \text{ кА}$.
2. Выразите в вольтах напряжение $U_1 = 240 \text{ мВ}$, $U_2 = 3,40 \text{ кВ}$, $U_3 = 780 \text{ мкВ}$.
3. Сила тока в лампочке фонарика равна 200 мА. Сколько электронов прошло через поперечное сечение спирали, если фонарик работал 12 мин? Величина элементарного заряда $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$. (Ответ: $9 \cdot 10^{20}$)
4. По графику (рис. 24.5) определите силу тока в проводнике. (Ответ: 4 А)
5. Электроплитка работала 15 мин. Какой заряд прошел через поперечное сечение ее спирали, если сила тока в плитке равна 2,5 А? (Ответ: 2,25 кКл)
6. Через поперечное сечение спирали лампочки, находящейся под напряжением 220 В, прошел заряд 400 Кл. Определите работу электрического поля. (Ответ: 88 кДж)
7. Какой заряд прошел по резистору, если электрическое поле совершило работу 2,4 кДж, а на резистор подано напряжение 12 В? (Ответ: 200 Кл)

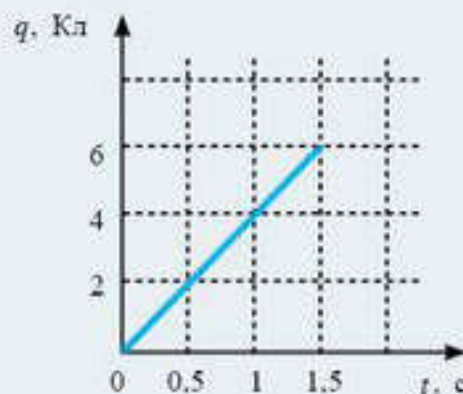


Рис. 24.5

Что вы усвоили по данной теме?

Что особенно вам понравилось на уроке?	Какой конкретный опыт вы приобрели?	Какие вопросы возникли? Почему?

§ 25. Закон Ома для участка цепи. Электрическое сопротивление проводника. Удельное сопротивление вещества. Реостат и потенциометр



На этом уроке вы:

- научитесь применять закон Ома для участка цепи при решении задач, объяснять физический смысл сопротивления;
- научитесь применять формулу сопротивления проводника при решении задач.



Ключевые слова:

- ✓ закон Ома
- ✓ сопротивление
- ✓ удельное сопротивление
- ✓ реостат
- ✓ потенциометр

Эксперименты Ома. История открытия закона Ома достаточно любопытна. В 1826 г. Георг Симон Ом, будучи учителем физики и математики в школе, сделал открытие, которое помогло лучше понять природу электрического тока. Он обнаружил зависимость напряжения от силы тока. Данный физический закон был назван законом Ома в честь своего первооткрывателя. В то время многие ученые пытались разгадать природу электричества. Многие сведения о нем уже были открыты и известны, но далеко не все. В 1821 г. Дэви установил, что металлы можно расположить в ряд по возрастающей проводимости: железо, платина, олово, цинк, золото, медь, серебро. Он же доказал, что проводимость пропорциональна площади поперечного сечения проволоки и обратно пропорциональна ее длине. Так как в то время еще не был изобретен амперметр, то Ом для определения силы тока воспользовался методом французского физика Ш. О. Кулона (крутильные весы), но несколько изменил его. Над проволокой с током он помещал магнитную стрелку, подвешенную на нити. При закручивании сила упругости нити удерживала стрелку в равновесии, а углом кручения измерялась сила тока. Так как сила тока пропорциональна магнитной силе, в ходе многочисленных экспериментов Ом установил, что:



Георг Симон Ом
(1789—1854)

- 1) сила тока постоянна в различных участках цепи;
- 2) сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на нем;
- 3) сила тока убывает с увеличением длины провода и с уменьшением площади его поперечного сечения.

Сопротивление проводника. Свободные заряженные частицы, двигаясь в проводнике под действием электрического поля упорядоченно, взаимодействуют с ионами данного проводника. При этом замедляется скорость их упорядоченного движения, что приводит к уменьшению

силы тока. Свойство проводников препятствовать прохождению электрического тока назвали *электрическим сопротивлением*. Разные проводники по-разному препятствуют прохождению тока, т. е. они обладают разным сопротивлением.

Физическая величина, характеризующая способность проводника препятствовать прохождению тока, называется электрическим сопротивлением. Обозначается электрическое сопротивление символом R .

Именно Г. С. Ом предложил ввести в физику эту новую физическую величину R — сопротивление проводника. И совершенно ясно, что чем больше проводимость проводника, тем меньше его сопротивление. Величину сопротивления проводника цилиндрической формы рассчитывают по формуле:

$$R = \rho \frac{l}{S}. \quad (25.1)$$

Здесь коэффициент пропорциональности ρ определяется внутренней структурой материала проводника. Этот коэффициент называется *удельным сопротивлением вещества*.

Удельное сопротивление — это физическая величина, определяемая сопротивлением проводника единичной длины и единичного сечения.

У каждого вещества свое значение удельного сопротивления, и оно заносится в специальные таблицы.

Единицей измерения сопротивления в системе СИ является Ом. Так ее назвали в честь Г. С. Ома.

Сопротивление проводника равно 1 Ом, если при напряжении на его концах в 1 В по нему идет ток с силой 1 А.

Единица измерения удельного сопротивления в СИ будет $[\rho] = [\text{Ом} \cdot \text{м}]$. При решении задач часто используют внесистемную единицу удельного

сопротивления $[\rho] = \left[\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \right]$.

Измеряют сопротивление с помощью омметра.

Из металлов лучшие проводники тока серебро и медь, т. к. у них наименьшее удельное сопротивление. Во многих случаях в электроприборах нужны вещества с большим удельным сопротивлением. К ним относятся различные сплавы, например, нихром, никелин, константан. Существуют вещества с огромным удельным сопротивлением, например, эбонит, фарфор, керамика. Эти вещества называются *диэлектриками* и используются в качестве изоляторов.

Как показали опыты, сопротивление проводников зависит от температуры, а именно с повышением температуры сопротивление проводников повышается.



- Опираясь на внутреннее строение вещества, объясните, почему с ростом температуры сопротивление проводника возрастает?

Закон Ома для участка цепи. Эксперименты, проведенные Омом, привели его к открытию закона, которому подчиняется ток, протекая по проводнику:

Сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка и обратно пропорциональна его сопротивлению .

$$I = \frac{U}{R}. \quad (25.2)$$



- Почему в начале XIX в. трудно было установить закономерности протекания тока по проводнику? Какими приборами можно воспользоваться в настоящее время для того, чтобы установить эти закономерности?

Доказать, что сопротивление проводника зависит от его длины и от площади поперечного сечения, можно, проведя опыт (рис. 25.1).



Рис. 25.1

Сначала в цепь источника по очереди включаем проволоки из никелина, нихрома одинакового сечения, длины которых увеличиваем в 1,5, 2, 3, и 4 раза.

Затем в цепь источника по очереди включаем проволоки из никелина, нихрома одинаковой длины, сечение которых отличается в 2, 3 и 4 раза.

Каждый раз при рассчитывании сопротивления проводников используем формулу: $R = \frac{U}{I}$.

Результаты экспериментов подтверждают формулу (25.1).

График зависимости силы тока от напряжения называют *вольт-амперной характеристикой*. Для проводника она выглядит так, как изображено на рисунке 25.2.

Реостат и потенциометр. Часто в электрической цепи необходимо изменять силу тока. Например, в электрической цепи электронагревателя (чтобы изменить его накал), громкоговорителя (чтобы менять громкость звука) и т. д.

Силу электрического тока можно регулировать с помощью специальных приборов — *реостатов*. Конструкции реостатов чрезвычайно разнообразны. Различают:

- 1) ползунковый реостат (рис. 25.3, б, в);
- 2) рычажный реостат (рис. 25.3, а);
- 3) штепсельный реостат или магазин сопротивлений (рис. 25.3, з).

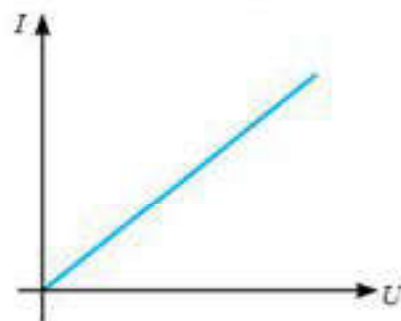


Рис. 25.2



Рис. 25.3

В школе чаще всего используют ползунковый реостат, изображенный на рисунке 25.3, б. На керамический каркас наматывается проволока с большим удельным сопротивлением. Покрывается проволока тонким слоем не проводящего ток вещества. Над обмоткой расположен металлический стержень 3, по которому перемещается ползунок 4. Своими контактами он прижат к виткам проволоки. От трения ползунка о витки слой изоляционной пленки стирается и электрический ток проходит от витков проволоки к ползунку, а через него по стержню к потребителю. У реостата есть несколько клемм 1, 2, 5 (рис. 25.3, б). Если провода присоединить к клеммам 1 и 2, то ток, пройдя по виткам реостата, через ползунок 4 и клемму 2 выйдет в цепь. На схеме это выглядит так, как указано в нижнем углу рисунка 25.3, б. На схеме реостат имеет условное обозначение, как указано на рисунке 25.4.

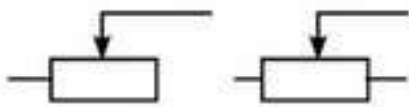


Рис. 25.4

Перемещая ползунок влево, уменьшаем сопротивление реостата, что приводит к увеличению силы тока в цепи.

Реостат можно использовать и в другом качестве — в качестве делителя напряжения. В этом случае у реостата задействовано три клеммы 1, 2, 5. Ток входит через клемму 1, а выходит через клеммы 5 и 2. На схеме это выглядит так, как на рисунке 25.3, б в левом верхнем углу. На клеммы 1 и 5 подается полное напряжение U , а с клемм 2 и 1 снимают его часть U_1 (рис. 25.5). Из закона Ома для участка цепи следует, что напряжение прямо пропорционально сопротивлению проводника $U = IR$, а сопротивление проводника прямо пропорционально длине проводника. Значит, напряжение на всем реостате между клеммами 1 и 5 равно $U_{\text{вход}} = IR$, а на участке реостата между ползунком 2 и клеммой 1 напряжение равно $U_{\text{вых}} = IR_1$. Тогда

$$\frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{R_1}{R}, \quad (25.3)$$

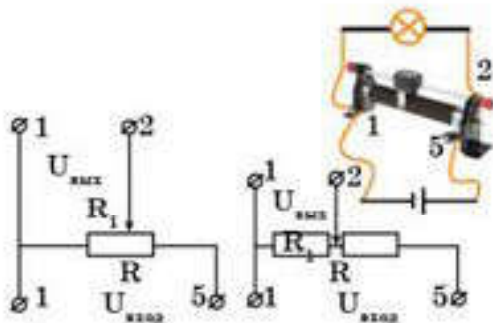


Рис. 25.5



- Используя делитель напряжения, можно ли лампочку, рассчитанную на напряжение 12 В, включить в цепь напряжением 120 В (рис. 25.5, верхний правый край).



- 1. С какими трудностями столкнулись ученые при изучении установления законов протекания тока по проводнику в начале XIX в.?
- 2. Обозначьте три величины, которые связывают закон Ома?
- 3. Каков физический смысл сопротивления проводника?
- 4. Каким образом можно изменить сопротивление проводника?
- 5. Что такое удельное сопротивление проводника, и для чего был введен этот термин?
- 6. Как выглядит график зависимости силы тока в проводнике от напряжения на нем, и почему именно так?
- 7. Как выглядит график зависимости силы тока в проводнике от его сопротивления?
- 8. У какого проводника сопротивление самое большое (рис. 25.6)?
- 9. Чем реостат отличается от делителя напряжения?
- 10. Объясните, почему делитель напряжения делит напряжение.
- 11. Каким образом надо соединить между собой бытовые электрические приборы в квартире, если они рассчитаны на одинаковое напряжение?
- 12. Как включить в электрическую цепь с большим напряжением лампы, рассчитанные на гораздо меньшее напряжение?

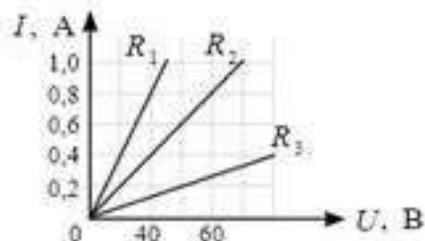


Рис. 25.6

Примеры решения задач

1. Определите площадь сечения и длину проводника из алюминия, если сопротивление алюминия составляет 0,1 Ом, а масса — 54 г.

<p>Дано :</p> <p>$m = 54 \text{ г}$</p> <p>$R = 0,1 \text{ Ом}$</p> <p>$\rho_s = 2,9 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$</p> <p>$\rho_0 = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$</p> <hr/> <p>$S = ?$</p> <p>$l = ?$</p>	<p>СИ</p> <p>0,054 кг</p>	<p>Решение. Сопротивление проводника найдем по формуле:</p> $R = \frac{\rho_s l}{S}, \quad (1)$ <p>где ρ — удельное сопротивление, l — длина проводника, S — площадь поперечного сечения.</p>
---	---------------------------	---

Массу проводника можно найти так:

$$m = \rho_0 V = \rho_0 S l, \quad (2)$$

где ρ_0 — плотность алюминия. Отсюда, умножив первое уравнение на второе, получим,

$$Rm = \rho_0 \rho_s l^2, \quad l = \sqrt{\frac{Rm}{\rho_0 \rho_s}};$$

$$l = \sqrt{\frac{0,1 \text{ Ом} \cdot 0,054 \text{ кг}}{2,7 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 2,9 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}}} = \sqrt{\frac{54 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2}{7,83 \cdot 10^{-5}}} = \sqrt{69 \text{ м}^2} = 8,3 \text{ м}.$$

Разделив первое уравнение на второе, получим: $\frac{R}{m} = \frac{\rho_s}{\rho_o S^2}$.

Отсюда $S = \sqrt{\frac{\rho_s m}{\rho_o R}} = 2,4 \text{ мм}^2$.

$$S = \sqrt{\frac{2,9 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot 54 \cdot 10^{-3} \text{ кг}}{2,7 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,1 \text{ Ом}}} = \sqrt{5,8 \cdot 10^{-12} \text{ м}^4} \approx 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 2,4 \text{ мм}^2.$$

Ответ : $l \approx 8,3 \text{ м}$; $S = 2,4 \text{ мм}^2$.

2. Сколько времени длится работа стартера автомобиля, если при силе тока 250 А по нему протекает 2000 Кл электричества?

Дано :	Решени е.
$q = 2000 \text{ Кл}$	т. к. $I = \frac{q}{t}$, то $t = \frac{q}{I}$
$I = 250 \text{ А}$	
$t = ?$	$t = \frac{2000 \text{ Кл}}{250 \text{ А}} = 8 \text{ с.}$

Ответ : 8 с.

3. Через проводник длиной 11 м и сечением 0,1 мм², находящийся под напряжением 220 В, протекает ток силой 4 А. Из какого материала изготовлен проводник?

Дано :	СИ	Решени е.
$l = 11 \text{ м}$		$R = \frac{\rho_s l}{S}$;
$S = 0,1 \text{ мм}^2$	$1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2$	Из закона Ома для участка цепи следует, что $R = \frac{U}{I}$.
$U = 220 \text{ В}$		Тогда $\rho_s = \frac{R \cdot S}{l} = \frac{U \cdot S}{I \cdot l}$
$I = 4 \text{ А}$		
$\rho_s = ?$		

$$\rho_s = \frac{220 \text{ В} \cdot 1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2}{4 \text{ А} \cdot 11 \text{ м}} \approx 50 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

По таблице “Удельное сопротивление материалов” находим, что это константан.

Ответ : константан .

4. Линия электропередач имеет длину 200 км. Для ее изготовления использовали стальной провод сечением 120 мм². Сила тока в линии 150 мА. Каково падение напряжения в линии?

Дано :	СИ	Решени е.
$l = 200 \text{ км}$	$2 \cdot 10^5 \text{ м}$	Из закона Ома для участка цепи следует, что
$S = 120 \text{ мм}^2$	$120 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$	$U = I \cdot R$, где $R = \frac{\rho_s l}{S}$.
$I = 150 \text{ мА}$	$150 \cdot 10^{-3} \text{ А}$	Тогда $U = I \cdot \frac{\rho_s l}{S}$.
$\rho_s = 12 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$		
$U = ?$		

$$U = \frac{150 \cdot 10^{-3} \text{ А} \cdot 12 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot 2 \cdot 10^5 \text{ м}}{120 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2} = 30 \text{ В}.$$

Ответ : 30 В.

5. а) Как изменится напряжение на зажимах лампы, изображенной на рисунке 25.7, если ползунок реостата передвинуть в крайнее правое положение? б) В какую сторону нужно передвинуть ползунок реостата, установленный посередине, для того, чтобы показания амперметров увеличились? в) Одинаковыми ли будут показания амперметров в цепи при различных положениях ползунка реостата? г) Как изменится напряжение на зажимах лампы при крайнем левом положении ползунка, если последовательно реостатом включить еще один реостат?

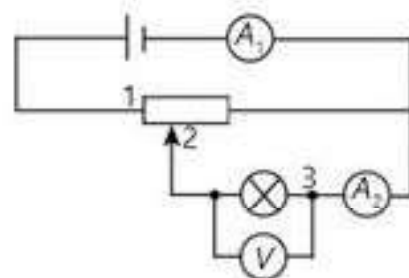


Рис. 25.7

Решение : а) Реостат в данной схеме работает как делитель напряжения, а лампа присоединена параллельно к правой части реостата, и поэтому напряжение на ней будет таким же, как на правой части реостата. Если же ползунок реостата передвинуть в крайнее правое положение, то сопротивление этой части реостата будет равно нулю, следовательно, напряжение на лампе (его покажет вольтметр, подключенный параллельно к ней) будет равно нулю (напряжение на участке цепи прямо пропорционально сопротивлению участка).

б) Если ползунок реостата передвинуть влево, то сопротивление части реостата, к которой присоединена лампа, возрастет. Тогда ток от точки 1 доходит до точки 2, где находится ползунок и разветвляется. Теперь он будет протекать и через реостат, и через лампу по пути 2, 3. А так как сила тока тем больше, чем меньше сопротивление, то при перемещении ползунка влево сопротивление части реостата 1—2, через которую ток идет к лампе, уменьшается и ток, текущий через лампу, будет возрастать. Следовательно, возрастут и показания амперметров.

в) Показания амперметра A_2 все время меньше показаний амперметра A_1 , так как амперметр A_1 показывает силу тока в неразветвленной части цепи, а она равна сумме токов, текущих в разветвленных частях цепи.

г) Увеличится (подумайте, почему?).



Упражнение 16

- *1. Как изменится сопротивление стальной проволоки, если от нее отрезать $\frac{1}{4}$ часть? (Ответ: уменьшится в 1,33 раза)
- *2. Один ученик утверждал, что если сопротивление амперметра сделать большим, чем сопротивление цепи, то прибор все равно будет правильно измерять силу тока. Другой ученик говорил, что показания амперметра правильны только в том случае, когда его сопротивление мало по сравнению с сопротивлением цепи. Кто из учеников прав?
- *3. Найдите падение напряжения на участке телеграфной линии длиной 1 км и сечением $0,5 \text{ мм}^2$, если по ней идет ток 8 мА. Провода выполнены из стали ($\rho_{\text{стали}} = 12 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$).

(Ответ: 1,92 В)

- *4. В электронагревателе никелиновую проволоку заменили нихромовой проволокой такой же длины, и при этом сопротивление проволоки увеличилось в 2 раза. Какая проволока толще? Во сколько раз отличаются диаметры проволок? (Ответ: нихромовая, в 1,414 раза)
- *5. Электрическая лампочка, рассчитанная на напряжение 12 В и силу тока 0,3 А, подключена к источнику медным проводом длиной 30 см и сечением 0,34 мм². Начертите схему подключения лампочки к источнику. Каковы сопротивления лампочки и проволоки? При какой длине провода его сопротивление стало бы равно сопротивлению лампы? (Ответ: $R_{\text{пр}} = 1,5 \text{ мОм}$; $R_{\text{л}} = 40 \text{ Ом}$; 800 м)
- *6. На реостат, полное сопротивление которого равно 84 Ом, включенный в цепь как делитель напряжения, подано напряжение 24 В (рис. 25.7). Каким будет выходное напряжение (напряжение на лампочке), если сопротивление части реостата между точками 1 и 2 равно $R_1 = 28 \text{ Ом}$? (Ответ: 16 В)

Что вы усвоили по данной теме?

Что особенно вам понравилось на уроке?	Какой конкретный опыт вы приобрели?	Какие вопросы возникли? Почему?

§ 26. Последовательное и параллельное соединение проводников



Ключевые слова:

- ✓ последовательное и параллельное соединение проводников

На этом уроке вы:

- научитесь рассчитывать электрические цепи, используя закон Ома для участка цепи при последовательном и параллельном соединении проводников.

В повседневной жизни мы постоянно используем большое количество потребителей электрической энергии, которые включаются в электрическую цепь по-разному. Так, например, в каждой квартире одновременно могут работать несколько лампочек, электрическая плита, пылесос, телевизор. Разберем несколько возможных соединений потребителей.

Самым простым соединением резисторов является **последовательное соединение**, при котором через все резисторы проходит одинаковой силы ток. При таком соединении в электрической цепи нет разветвлений. Например, так могут быть соединены две лампочки (рис. 26.1). Электрический заряд под действием электрического поля, созданного источником тока, движется от положительного полюса источника тока по проводам к лампочке Л1, а затем проходит через лампочку Л2,

амперметр и возвращается к источнику. Понятно, что величина заряда, проходящего по электрическим проводам в единицу времени, остается неизменной в любой части цепи. Поэтому сила тока при последовательном соединении проводников в них одинаковая :

$$I = I_1 = I_2. \quad (26.1)$$

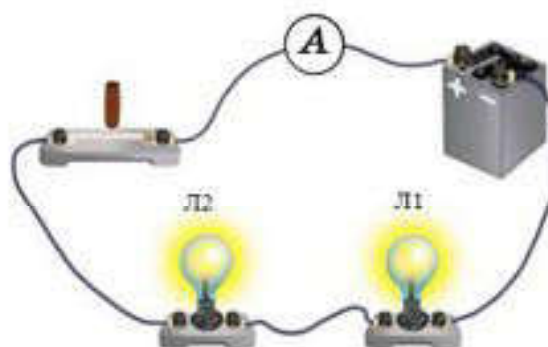


Рис. 26.1

Для того чтобы переместить заряд по резистору, электрическое поле должно совершить работу по преодолению сопротивления проводника. Поэтому, чем больше резисторов в цепи, тем большую работу необходимо совершить полю. Понятно, чем больше сопротивление движению заряда, тем большую работу совершает электрическое поле. Значит, полная работа, совершенная полем по перемещению заряда через обе лампочки, равна сумме работ поля в каждой лампочке. А так как напряжение — это работа, совершенная электрическим полем по перемещению единичного заряда, то и **общее напряжение на всей цепи равно сумме отдельных напряжений на каждой лампочке, т. е.**

$$U = U_1 + U_2. \quad (26.2)$$

Так как $U = IR$, $IR = IR_1 + IR_2$, получим, что общее сопротивление цепи равно сумме сопротивлений отдельных резисторов.

$$R = R_1 + R_2. \quad (26.3)$$

Внесем наши выводы в таблицу.

$I = I_1 = I_2$
$U = U_1 + U_2$
$R = R_1 + R_2$
$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$

Полученные выводы называются *признаками последовательного соединения проводников*. Проверить их можно экспериментально, собрав цепь (рис. 26.2), где одинаковые лампочки соединены последовательно.

Примером **последовательного соединения** может быть елочная гирлянда.

При **параллельном соединении** на всех резисторах создается одно и то же напряжение. Это легко доказать экспериментально (рис. 26.3).

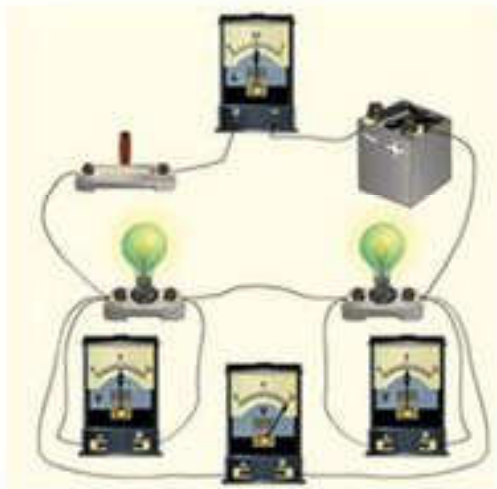


Рис. 26.2



Рис. 26.3

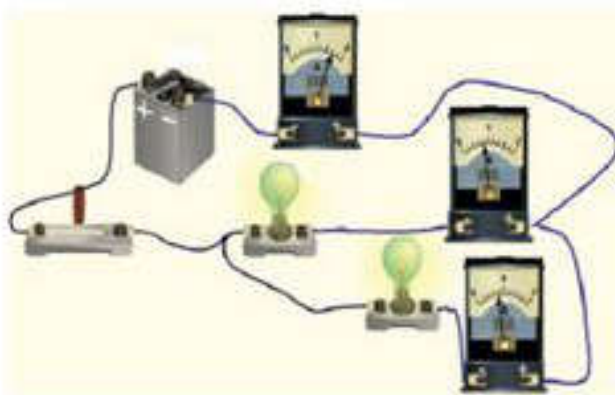


Рис. 26.4

Показания всех вольтметров одинаковые, т. е. напряжение на всей цепи равно напряжению на отдельных участках:

$$U = U_1 = U_2. \quad (26.4)$$

Если собрать электрическую цепь по схеме, изображенной на рисунке 26.4, то легко увидеть, что сила тока в неразветвленной цепи равна сумме сил токов в каждой

отдельной лампочке, т. е. *сила тока в неразветвленной части цепи равна сумме сил токов в отдельных ветках цепи:*

$$I = I_1 + I_2. \quad (26.5)$$



Сравните показания вольтметров (рис. 26.2) и сделайте вывод.

Так как $I = \frac{U}{R}$, то формула (26.5) переписывается так:

$$\begin{aligned} \frac{U}{R} &= \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}, \\ \frac{1}{R} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}. \end{aligned} \quad (26.6)$$

При параллельном соединении проводников величина, обратная общему сопротивлению цепи, равна сумме обратных величин сопротивлений каждого участка цепи.

Примером параллельного соединения могут быть соединения бытовых приборов в квартире.

Внесем наши выводы в таблицу.

$I = I_1 + I_2$
$U = U_1 = U_2$
$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$
$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$

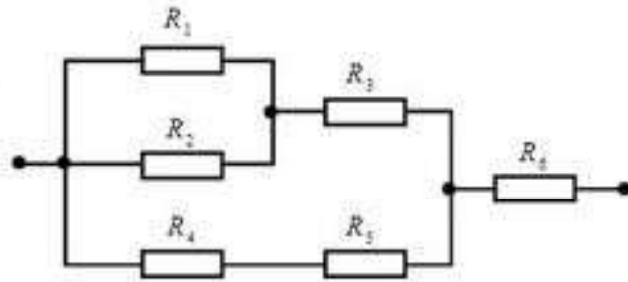


Рис. 26.5

Кроме указанных выше соединений существует еще и смешанное соединение (рис. 26.5).



1. В чем состоит отличие между последовательным и параллельным соединениями?
2. Как надо соединить проводники, чтобы их общее сопротивление уменьшилось?
3. Как изменится сопротивление медной проволоки, если сложить ее пополам?
4. В чем недостаток последовательного соединения?
5. Амперметр, которым решили измерить силу тока в лампочке, по ошибке включили параллельно к ней. Что произойдет в цепи?
6. Вольтметр, которым решили измерить напряжение на лампочке, по ошибке включили последовательно с ней. Какие изменения произойдут в цепи?
7. Как используется электрическая энергия?
8. Каким образом можно превратить электроэнергию в другие виды энергии — в механическую, внутреннюю, магнитную, химическую, световую?

Примеры решения задач

1. Из проволоки сопротивлением 10 Ом сделано кольцо (рис. 26.6). Где следует присоединить провода, подводящие ток, чтобы сопротивление получившейся цепи равнялось 0,9 Ом?

Дано :	Решение :
$R_k = 10 \text{ Ом}$	Сопротивление ветви ACB обозначим r_1 , а сопротивление ветви ADB — r_2 .
$R = 0,9 \text{ Ом}$	
$\frac{l_2}{l_1} = ?$	

Тогда общее сопротивление получившейся цепи (участки ACB и ADB соединены параллельно) равно

$$R = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}.$$

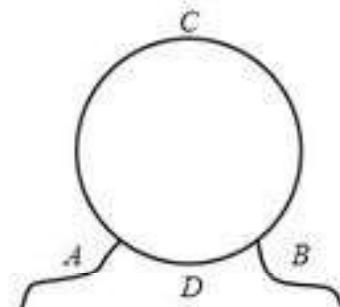


Рис. 26.6

Сопротивление кольца равно $R_k = r_1 + r_2$, откуда $r_2 = R_k - r_1$, тогда получим:

$$R = \frac{r_1(R_k - r_1)}{r_1 + R_k - r_1}$$

Освободившись от знаменателя, получим: $RR_k = R_k r_1 - r_1^2$. (1)

Зная из условия задачи, что $R_k = 10$ Ом, а $R = 0,9$ Ом, подставим эти численные значения в формулу (1) и получим: $10 \cdot 0,9 = 10r_1 - r_1^2$,

$$9 = 10r_1 - r_1^2.$$

Запишем данное выражение в виде квадратного уравнения:

$$r_1^2 - 10r_1 + 9 = 0.$$

Решая это квадратное уравнение $r_1 = 5 \pm \sqrt{25 - 9} = 5 \pm 4$, получим два корня: один — значение сопротивления для более короткого отрезка проводника и он равен $r_1 = 1$ Ом, а другой для более длинной части $r_2 = 9$ Ом. А так как сопротивление проводников прямо пропорционально их длине, то и длины получившихся отрезков относятся как $l_2 : l_1 = 9 : 1$.

$$\text{Ответ : } \frac{l_2}{l_1} = \frac{9}{1}.$$

2. Елочная гирлянда спаяна из лампочек для карманного фонаря. При включении этой гирлянды в сеть на каждую из лампочек приходится напряжение 3 В. Почему же опасно производить какие-либо эксперименты с электрическим током (например, сунуть палец в патрон, выкрутив одну из лампочек)?

Сопротивление лампочки от карманного фонаря мало — несколько Ом. Сопротивление всей гирлянды — несколько десятков Ом. Сопротивление пальца — несколько сотен Ом. При последовательном соединении падение напряжения на участках цепи пропорционально сопротивлениям участков; поэтому на палец, если его сунуть в патрон, придется практически все напряжение цепи.

3. Вычислите общее сопротивление цепи (рис. 26.7), если $R = 4$ Ом.

Дано :	Решение :
$R = 4$ Ом	Резисторы 1 и 2 соединены параллельно, следовательно, их общее сопротивление можно найти, используя признаки параллельного соединения:
$R_{\text{общ}} = ?$	

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{2R} + \frac{1}{2R} \text{ или } \frac{1}{R'} = \frac{2}{2R}, \text{ т. е. } R' = \frac{2R}{2} = R.$$

Резистор R' и резистор 3 соединены последовательно, тогда их общее сопротивление $R'' = R' + R = R + R = 2R$.

Схема цепи будет выглядеть так (рис. 26.8). Теперь R'' и резистор 4 соединены параллельно, т. е.

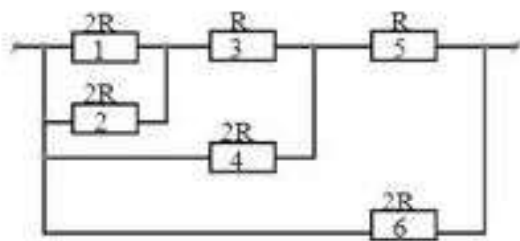


Рис. 26.7

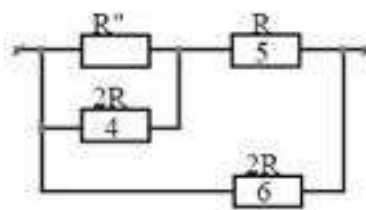


Рис. 26.8

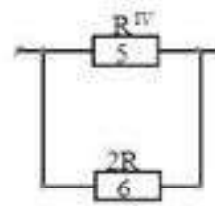


Рис. 26.9

$$\frac{1}{R'''} = \frac{1}{R''} + \frac{1}{2R} = \frac{1}{2R} + \frac{1}{2R} = \frac{2}{2R} \text{ и } R''' = R.$$

Резистор R''' и резистор 5 соединены последовательно, поэтому их общее сопротивление $R^{IV} = R''' + R = R + R = 2R$. Тогда получим новый вид схемы (рис. 26.9).

R^{IV} и резистор 6 соединены параллельно, поэтому

$$R_{\text{общ}} = \frac{R^{IV} \cdot 2R}{R^{IV} + 2R} = \frac{2R \cdot 2R}{4R} = R = 4 \text{ Ом.}$$

Ответ : $R_{\text{общ}} = 4 \text{ Ом.}$

4. Лампа, рассчитанная на напряжение 36 В и ток 2 А, включена в сеть напряжением 220 В через реостат, изготовленный из константановой проволоки сечением 1 мм^2 . Каковы сопротивление реостата и длина проволоки, необходимой для его изготовления?

Дано :	СИ	Решени е.
$U_{\lambda} = 36 \text{ В}$		
$I_{\lambda} = 2 \text{ А}$		
$U = 220 \text{ В}$		
$S = 1 \text{ мм}^2$		
$\rho_s = 50 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$		
$R - ?$ $l - ?$		

$$1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Решени е.

Нарисуем схему включения лампы (рис. 26.10). Найдем падение напряжения на реостате

$$U_p = U - U_{\lambda}.$$

При последовательном соединении сила тока в лампе и реостате одинаковы, т. е. $I_p = I_{\lambda}$.

Тогда сопротивление реостата найдем, используя закон Ома для участка цепи:

$$R = \frac{U_p}{I_p} = \frac{U - U_{\lambda}}{I_{\lambda}} = \frac{(220 - 36)\text{В}}{2\text{А}} = 92 \text{ Ом.}$$

т. к. $R = \frac{\rho_s l}{S}$, то длина проволоки равна: $l = \frac{RS}{\rho_s}$.

$$l = \frac{92 \text{ Ом} \cdot 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2}{50 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}} = 184 \text{ м.}$$

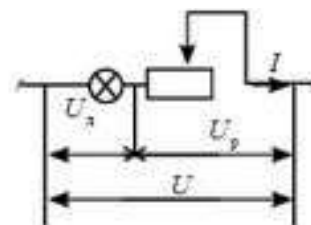


Рис. 26.10

Ответ : $R = 92 \text{ Ом}; l = 184 \text{ м.}$



Упражнение 17

1. Цепь состоит из двух последовательно соединенных резисторов сопротивлениями 4 Ом и 12 Ом. Сила тока в первом резисторе равна 1,2 А. Каково напряжение на каждом резисторе и общее напряжение?
(Ответ: 4,8 В; 14,4 В; 19,2 В)
- *2. Какие сопротивления можно получить, имея три резистора по 12 Ом?
(Ответ: $R = 36$ Ом, 18 Ом, 8 Ом, 4 Ом)
- *3. Каково общее сопротивление цепи (рис. 26.11), если $R_1 = R_2 = 4$ Ом, $R_3 = 6$ Ом, $R_4 = 12$ Ом?
(Ответ: $R = 4,8$ Ом)
- *4. Определите общее сопротивление цепи и общее напряжение цепи (рис. 26.12), если ток в R_1 равен 1 А.
(Ответ: 12 Ом; 24 В)

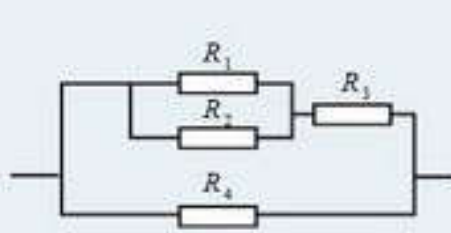


Рис. 26.11

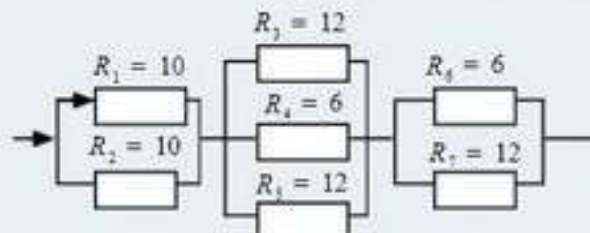


Рис. 26.12

- *5. Рассчитайте общее сопротивление каждого соединения (рис. 26.13), если $R_1 = R_2 = 4$ Ом, $R_3 = R_4 = R_5 = 8$ Ом, $R_6 = 15$ Ом.
(Ответ: а) 16 Ом; б) 1,6 Ом; в) 25,7 Ом)

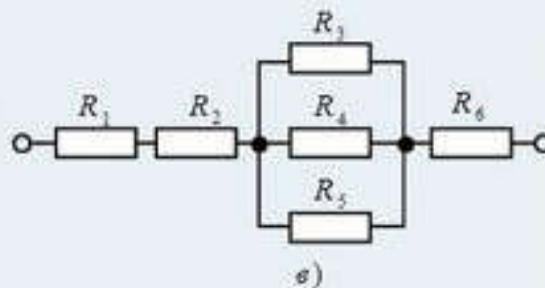
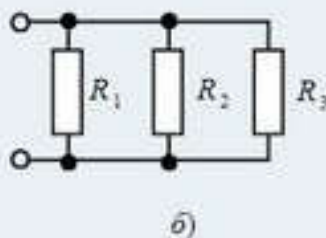
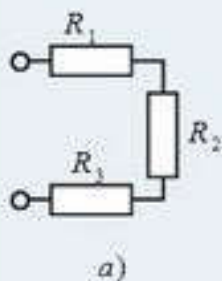


Рис. 26.13

Что вы усвоили по данной теме?

Что особенно вам понравилось на уроке?	Какой конкретный опыт вы приобрели?	Какие вопросы возникли? Почему?

§ 27. Работа и мощность электрического тока. Тепловое действие электрического тока. Коэффициент полезного действия (КПД). Закон Джоуля-Ленца



На этом уроке вы:

- научитесь применять формулы мощности и работы тока в решении задач;
- научитесь применять закон Джоуля-Ленца при решении задач.



Ключевые слова:

- ✓ работа и мощность тока
- ✓ коэффициент полезного действия (КПД)
- ✓ тепловое действие тока
- ✓ закон Джоуля-Ленца

Это вы знаете

Вам уже известны действия тока. Вспомните, за счет чего происходит нагревание воды в электрокипяльнике? За счет чего светится электрическая лампочка? Каким образом управляют процессами автоматической сборки автомобилей? Почему для того, чтобы двигался троллейбус, его необходимо подключать к электропроводам?

Работа тока. Электрическая энергия легко преобразуется в другие виды энергии: механическую, химическую, световую, внутреннюю энергию вещества, что широко применяется в промышленности и в быту. Совершаются такие преобразования за счет работы тока.

Разберемся с понятием работа тока. Электрическое поле, которое перемещает заряды по проводнику, совершает работу. Эту работу и называют *работой тока*. Следовательно, работа электрического тока на участке цепи равна:

$$A = q \cdot U,$$

где q — электрический заряд, проходящий по участку цепи, а U — напряжение на участке.

Учитывая, что $q = I \cdot t$, где I — сила тока в проводнике, а t — время прохождения электрического тока, для работы тока получим:

$$A = IUt. \quad (27.1)$$

По формуле (27.1) рассчитывают работу тока на потребителях, при чем учитываются все действия тока (магнитное, тепловое и химическое).

Используя закон Ома для участка цепи $I = \frac{U}{R}$, где R — сопротивление однородного участка цепи, можно получить другую формулу для расчета работы тока:

$$\frac{UI t}{t}, \quad (27.2)$$

или

$$A = I^2 R t. \quad (27.3)$$

Мы знаем, что электрическое поле создается за счет работы сторонних сил внутри источника. Величину работы сторонних сил можно рассчитать по формуле:

$$A_{\text{ст}} = qE \quad (27.4)$$

С учетом того, что $q = I \cdot t$, получим, что полную работу тока можно рассчитать по формуле:

$$A = EIt, \quad (27.5)$$

Работа, совершаемая сторонними силами, называется полной (или затраченной) работой в электрической цепи. Она учитывает работу электрического поля как на потребителе электрической энергии, так и работу поля по перемещению заряда внутри источника тока.

Единицей измерения работы является **джоуль (Дж)**:

$$[A] = [\text{Дж}]$$

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

Прибор, который измеряет работу тока, называется *электрическим счетчиком*. Он устанавливается в каждой квартире, на каждом предприятии.

Это вы знаете

Одну и ту же механическую работу можно выполнить за разное время. Вспомните, как называется величина, характеризующая быстроту выполнения механической работы.

Мощность тока. Для электрического тока тоже вводят особую величину — мощность.

Мощность электрического тока — это физическая величина, характеризующая быстроту преобразования электрической энергии в другие виды энергии.

$$P = \frac{A}{t}, \quad (27.6)$$

Единицей измерения мощности тока является ватт (Вт):

$$[P] = [\text{Вт}] = \left[\frac{\text{Дж}}{\text{с}} \right].$$

Мощность электрического тока на участке цепи с сопротивлением R находят по формуле: $P = \frac{UIt}{t} = UI$.

$$P = UI. \quad (27.7)$$

Аналогично полная мощность, потребляемая электрической цепью, равна:

$$P = EI. \quad (27.8)$$

Учитывая, что $U = IR$, а $I = \frac{U}{R}$, формулу (27.7), по которой рассчитывают мощность, выделяющуюся на потребителе тока, можно записать иначе:

$$P = I^2 R = \frac{U^2}{R}. \quad (27.9)$$

В этом случае речь идет о тепловой мощности.

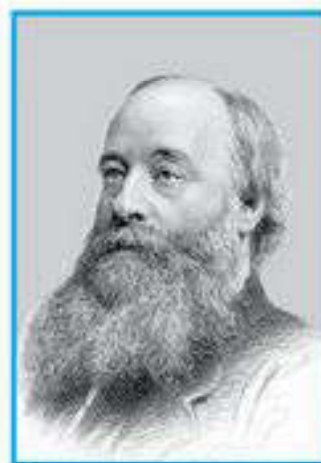
Так как единица измерения мощности тока — ватт, то единицу измерения работы можно представить в виде: [Дж] = [Вт · с].

На практике часто применяют внесистемную единицу работы тока — киловатт-час:

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 3,6 \text{ МДж}.$$

Для измерения мощности тока существуют специальные приборы — ваттметры.

КПД в электрической цепи. Если в цепь включен электродвигатель, то энергия электрического тока, во-первых, расходуется на совершение механической работы и эта работа будет полезной $A_{\text{полз}}$, во-вторых, энергия затрачивается на нагревание обмоток электродвигателя и соединительных проводов и эта энергия будет теряемой. Следовательно, в любой электрической цепи существуют потери энергии. Значит, есть смысл говорить о коэффициенте полезного действия, который можно рассчитать из следующих соображений. Тогда КПД будет равен:



Джеймс Прескотт
Джоуль
(1818—1889)

$$\eta = \frac{A_{\text{полз}}}{A_{\text{затр}}}. \quad (27.10)$$

Говоря о коэффициенте полезного действия источника тока, *под полезной работой подразумевают работу, совершаемую во внешней цепи постоянного тока*:

$$A_{\text{п}} = IUt = I^2 Rt.$$

Затраченная (полная) работа — это работа источника тока, и она равна работе сторонних сил:

$$A_{\text{затр}} = A_{\text{стор}} = qE = IEt.$$

$$\eta = \frac{IUt}{Et} \cdot 100\% = \frac{U}{E} \cdot 100\%. \quad (27.11)$$

Следовательно, КПД источника показывает, какая часть от ЭДС источника выделяется в виде напряжения на потребителе.

Тепловое действие тока. Закон Джоуля-Ленца. Электрический ток, проходя по проводнику, нагревает его. Это можно наблюдать в спиральных электрической лампы или электроплитки.



- Как объяснить, почему нагревается проводник при пропускании через него тока? Какие процессы происходят в проводнике при этом?



Эмилий
Христианович
Ленц
(1804—1865)

В любом проводнике кроме ионов находятся свободные заряженные частицы (электроны или ионы), которые, перемещаясь под действием электрического поля, взаимодействуют с ионами или атомами вещества. При этом они передают им часть своей энергии. В результате работы электрического тока происходит увеличение внутренней энергии проводника, что ведет к повышению его температуры.

Эксперименты, проведенные английским физиком Д. П. Джоулем и русским физиком Э. Х. Ленцем, показали, что в неподвижных металлических проводниках вся работа тока идет на их нагревание, т. е. на увеличение их внутренней энергии. Сам же нагретый проводник отдает приобретенную энергию окружающим им телам.

Так как работа электрического тока рассчитывается по формулам $A = IUt$, $A = \frac{U^2 t}{R}$ или $A = I^2 Rt$, то и количество теплоты, которое выделится в проводнике, находится по этим же формулам:

$$Q = IUt; Q = \frac{U^2 t}{R}; Q = I^2 Rt.$$

Закон Джоуля-Ленца: Количество теплоты, выделяемое на неподвижном проводнике при прохождении через него тока, равно произведению квадрата силы тока, сопротивлению проводника и времени прохождения тока:

$$Q = I^2 Rt. \quad (27.12)$$

Мы знаем, что за счет работы сторонних сил на клеммах источника появляется разность потенциалов. Если к клеммам источника подключить электрическую лампочку, то электрическое поле, перемещая заряд по спирали лампочки и внутри источника, совершает работу. Согласно закону сохранения энергии:

$$A_{\text{стор}} = A_{\text{лампа}} + A_{\text{внутр}}.$$

С учетом того, что $A_{\text{стор}} = EIt$, а $A_{\text{лампа}} = I^2 Rt$, $A_{\text{внутр}} = I^2 rt$, то $EIt = I^2 Rt + I^2 rt$.

Отсюда:

$$I = \frac{E}{R + r}. \quad (27.13)$$

Выражение (27.13) представляет собой математическую запись закона Ома для полной (замкнутой) цепи.

Сила тока в замкнутой цепи прямо пропорциональна ЭДС источника тока и обратно пропорциональна полному сопротивлению.

цепи, равному сумме сопротивления внешней цепи и внутреннего сопротивления источника.

Из закона Ома для полной цепи следует:

$$E = U_{\text{внеш}} + U_{\text{внутр}}. \quad (27.14)$$



1. По каким формулам рассчитывают работу электрического тока?
2. В чем состоит отличие полезной работы тока от полной?
3. Какую внесистемную единицу работы вы знаете? Каков ее физический смысл?
4. Что понимают под мощностью тока?
5. Мощность электронагревателя равна 900 Вт? Что это означает?
6. За месяц работы показания электросчетчика изменились на 120 кВт·час. Расшифруйте запись.
7. Почему при прохождении тока по проводнику происходит его нагревание?
8. Почему провода, по которым электрическая энергия подводится к утюгу, нагреваются намного меньше, чем спираль утюга?
9. О чем говорит закон Джоуля-Ленца?
10. Можно ли, используя закон Джоуля-Ленца, рассчитать химическое действие тока? Ответ поясните.
11. Накал электрической лампочки уменьшился. Изменилась ли мощность, потребляемая лампочкой?
12. Тамбур вагона освещается пятью лампочками, включенными параллельно. Как изменится расход электроэнергии, если уменьшить число ламп до четырех? Каким будет ответ, если лампочки будут соединены последовательно? Ответ обоснуйте.

Примеры решения задач

1. Какой длины надо взять нихромовый проводник сечением $0,1 \text{ мм}^2$, чтобы изготовить нагреватель, на котором можно за 5 мин довести до кипения 1,5 л воды, взятой при 20°C . Напряжение в сети 220 В, КПД кипятильника 90%.

Дано :

$$S = 0,1 \text{ мм}^2$$

$$T = 5 \text{ мин}$$

$$V = 1,5 \text{ л}$$

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

$$U = 220 \text{ В}$$

$$\eta = 90\%$$

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

$$c = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_0 = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$l = ?$$

СИ

$$0,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$300 \text{ с}$$

$$1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$0,9$$

Решение :

КПД нагревателя находится по формуле $\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{з}}}$. Нагреватель нужен для того, чтобы нагреть до температуры кипения воду. Значит, полезное действие — это сообщение воде количества теплоты, необходимого для доведения ее до кипения. Оно находится по формуле:

$$A_{\text{п}} = Q_1 = cm(t_2 - t_1),$$

$$\text{где } m = \rho \cdot V = 1,5 \text{ кг.}$$

Электрический ток, проходя по спирали нагревателя, совершает работу, которую можно найти по формуле: $A_1 = Q_2 = \frac{U^2}{R} \cdot \tau$. Тогда формула КПД примет вид:

$$\eta = \frac{cm(t_2 - t_1)R}{U^2 \tau} \quad (1)$$

Сопротивление нагревателя найдем как сопротивление любого проводника: $R = \frac{\rho_0 l}{S}$, отсюда длина нихромового проводника будет равна:

$$l = \frac{RS}{\rho_0} \quad (2)$$

Из формулы (1) найдем сопротивление:

$$R = \frac{\eta U^2 \tau}{cm(t_2 - t_1)}$$

Подставим это значение в формулу (2):

$$l = \frac{\eta \tau U^2 S}{cm(t_2 - t_1) \rho_0}$$

Произведем вычисления:

$$l = \frac{0,9 \cdot 300 \text{ Дж} \cdot (220\text{В})^2 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2}{4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1,5 \text{ кг} \cdot (100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) \cdot 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}} \approx 2,36 \text{ м.}$$

Ответ : $l \approx 2,36 \text{ м.}$



Упражнение 18

1. При напряжении 220 В в электрической лампе за 5 мин израсходовано 12 кДж энергии. Какова сила тока в лампе? (*Ответ*: 30 мА)
2. Два троллейбуса с одинаковыми электродвигателями движутся с разными скоростями. Какой из них потребляет большую мощность — тот, который движется быстрее, или тот, который движется медленнее? Считайте, что сопротивление движению в обоих случаях одинаково.
3. Электрическая плитка при силе тока 6 А за 8 мин работы потребляет 2,2 МДж энергии. Каково сопротивление спирали плитки? (*Ответ*: 127 Ом)
4. При ремонте электроплитки длину ее спирали укоротили на 10% от начальной длины. Во сколько раз изменится потребляемая плиткой мощность при включении ее в ту же цепь? (*Ответ*: увеличится в 1,1 раза)
5. В утюге, рассчитанном на напряжение 220 В, имеются две обмотки с одинаковым сопротивлением $R = 80,7 \text{ Ом}$. С помощью переключателя в сеть можно включать: а) одну обмотку; б) две обмотки, соединенные последовательно; в) две обмотки, но соединенные параллельно. Рассчитайте мощность утюга в каждом случае. (*Ответ*: 600 Вт; 300 Вт; 1200 Вт)
6. Электродвигатель подъемного крана подключен к источнику тока напряжением 380 В, при этом сила тока в его обмотке 20 А. Определите КПД крана, если груз массой 1000 кг он поднял на высоту 20 м за 1 мин. (*Ответ*: 44 %)

Что вы усвоили по данной теме?

Что особенно вам понравилось на уроке?	Какой конкретный опыт вы приобрели?	Какие вопросы возникли? Почему?

§ 28. Зависимость электрического сопротивления металлов от температуры. Сверхпроводимость

**На этом уроке вы:**

- научитесь описывать природу электрического тока в металлах и зависимость сопротивления от температуры в металлах.

**Ключевые слова:**

- ✓ зависимость сопротивления от температуры
- ✓ сверхпроводимость



- Что происходит в проводнике при его нагревании? Как эти изменения влияют на электрические свойства проводника? Как будет меняться сила тока в лампе, если постепенно повышать напряжение на ней?

Различные вещества по-разному проводят электрический ток. Все металлы являются хорошими проводниками. Но в связи с тем, что у каждого металла свое строение, то и ток они проводят по-разному. Носителями заряда в металлах являются *свободные электроны*. Это было доказано опытами немецкого физика Э. Рикке и американских физиков Т. Стюарта и Р. Толмена.

Рикке составил электрическую цепь, состоящую из двух алюминиевых цилиндров, между которыми был помещен медный цилиндр, и пропускал по цепи ток в течение года (рис. 28.1). Пропускание тока не привело к изменению химического состава вещества цилиндров и их масс.

Вывод: ток в металлах проводят свободные электроны. Американские ученые Т. Стюарт и Р. Толмен провели опыт с цилиндрической катушкой с намотанным на нее медным проводом. Катушка приводилась во вращение и резко тормозилась (рис. 28.2), при этом в ней возникал кратковременный ток, обусловленный тем, что свободные электроны продолжали движение по инерции.

Ранее мы выяснили, что сопротивление проводника зависит от его геометрических размеров и от вещества металла. Определим, от каких еще величин зависит сопротивление металлического проводника. Можно предположить, что величина сопротивления металла должна меняться с из-

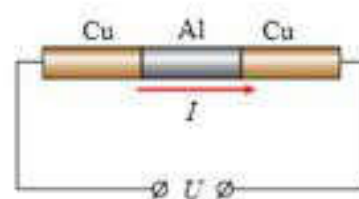


Рис. 28.1



Рис. 28.2

менением температуры, т. к. зависит от температуры само движение свободных электронов. Для того чтобы выяснить правдивость этой гипотезы, к аккумулятору присоединим стальную спираль, а затем начнем нагревать ее в пламени горелки. Амперметр, включенный в эту цепь, покажет уменьшение силы тока. Это означает, что с изменением температуры сопротивление проводника меняется. Если при температуре, равной 0°C , сопротивление проводника равно R_0 , а при температуре t оно равно R , то относительное изменение сопротивления, как показывает опыт, прямо пропорционально изменению температуры t :

$$\frac{R - R_0}{R_0} = \alpha t.$$

$$R = R_0(1 + \alpha t). \quad (28.1)$$

Отсюда:

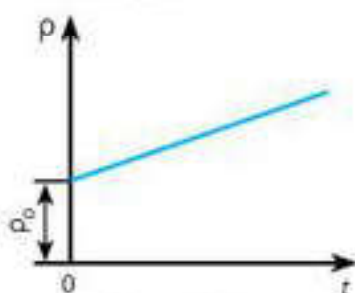
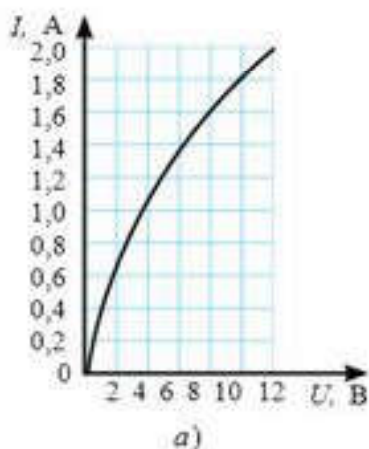
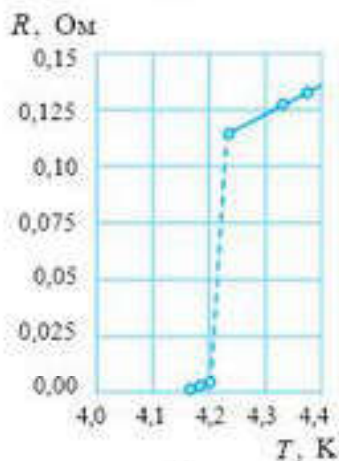


Рис. 28.3



а)



б)

Рис. 28.4

Коэффициент пропорциональности α называется **температурным коэффициентом сопротивления**. Он характеризует зависимость сопротивления вещества от температуры. Температурный коэффициент сопротивления численно равен относительному изменению сопротивления проводника при нагревании на 1 К.

Так как геометрические размеры металла при нагревании меняются незначительно, то изменение сопротивления металла связано с удельным сопротивлением металла:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t). \quad (28.2)$$

Коэффициент α также мало меняется при изменении температуры проводника, тогда, согласно формуле (28.2), получим, что удельное сопротивление проводника линейно зависит от температуры (рис. 28.3).

Увеличение сопротивления можно объяснить тем, что при повышении температуры увеличивается амплитуда колебаний ионов в узлах кристаллической решетки, поэтому свободные электроны сталкиваются с ними чаще, теряя при этом направленность движения. Так, сопротивление вольфрамовой нити лампы накаливания увеличивается при прохождении по ней тока более чем в 10 раз. Поэтому вольт-амперная характеристика лампы накаливания представляет собой не прямую зависимость, а выглядит так, как изображено на рисунке 28.4, а.

Зависимость сопротивления металлов от температуры используют в электрических термометрах. Такие термометры позволяют измерять очень низкие и очень высокие температуры, когда обычные жидкостные термометры непригодны.

Из формулы (28.2) следует, что с понижением температуры сопротивление металлов уменьшается. В 1911 г. голландский физик Х. Камерлинг-Оннес открыл явление *сверхпроводимости*. Он проводил измерения электрического сопротивления ртути при низких температурах. Ученый хотел выяснить, насколько малым может стать сопротивление вещества электрическому току, если максимально очистить вещество от примесей и максимально снизить температуру. Результат этого исследования оказался неожиданным: при температуре ниже 4,15 К сопротивление ртути почти мгновенно исчезло. График такого поведения сопротивления в зависимости от температуры приведен на рисунке 28.4. б.

Можно сделать вывод, что ртуть, начиная с этой температуры, перестает оказывать сопротивление электрическому току. Оказалось, что у *некоторых металлов тоже присутствует сверхпроводимость*. Если из такого металла изготовить кольцо и возбудить в нем ток, то он будет циркулировать в кольце бесконечно долго. Самое длительное существование незатухающего тока в проводнике составило около двух лет, и оно было вынуждено прекращено по внешним причинам.



- Какие преимущества можно получить, если использовать сверхпроводящие металлы?



1. Почему все металлы являются хорошими проводниками?
2. Почему проводимость металлов электронная?
3. Опишите поведение свободных электронов в металле при отсутствии внешнего электрического поля и при его наличии.
4. Объясните, почему с ростом температуры сопротивление металлов возрастает?
5. Какие преимущества имеют сверхпроводники?
6. Когда электрическая лампочка потребляет большую мощность: сразу после включения ее в сеть или спустя несколько минут?
7. Если бы сопротивление спирали электроплитки не менялось с температурой, то какой должна быть ее длина при номинальной мощности: большей или меньшей?

Что вы усвоили по данной теме?

Что особенно вам понравилось на уроке?	Какой конкретный опыт вы приобрели?	Какие вопросы возникли? Почему?

§ 29. Электронагревательные приборы, лампа накаливания, короткое замыкание, плавкие предохранители



Ключевые слова:

- ✓ электронагревательные приборы
- ✓ лампа накаливания
- ✓ короткое замыкание
- ✓ предохранители

На этом уроке вы:

- узнаете, как работают электронагревательные приборы, причины возникновения и способы предотвращения короткого замыкания.



- Как вы думаете, как и где можно использовать тот факт, что электрический ток, проходя по проводнику, нагревает его?

Электронагревательные приборы. Современный мир невозможно представить без электронагревательных приборов, осветительных ламп, в основе работы которых лежит тепловое действие тока.

В домашних условиях широко применяют электрические плитки, утюги, чайники, кипятильники. В промышленности тепловое действие тока используют для выплавки специальных сортов стали и многих других металлов, для электросварки. В сельском хозяйстве с помощью электрического тока обогревают теплицы, кормозапарники, инкубаторы, сушат зерно, готовят силос.

Основная часть всякого нагревательного электрического прибора — нагревательный элемент. Нагревательный элемент представляет собой проводник с большим удельным сопротивлением, способный выдерживать, не разрушаясь, нагревание до высокой температуры (1000—1200°C). Чаще всего для изготовления нагревательного элемента

применяют нихром (его удельное сопротивление $\rho = 1,1 \text{ мОм} \cdot \text{м}$) или вольфрам (его удельное сопротивление $\rho = 55 \text{ нОм} \cdot \text{м}$). Большое удельное сопротивление нихрома и вольфрама дает возможность изготавливать из них весьма удобные, малые по размерам, нагревательные элементы.

В нагревательном элементе проводник в виде проволоки или ленты наматывается на пластинку из жароустойчивого материала: слюды,

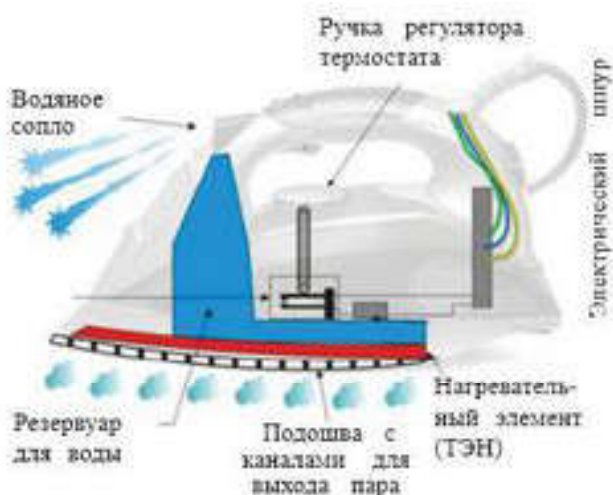


Рис. 29.1

керамики. Так, например, нагревательным элементом в электрическом утюге служит нихромовая лента, от которой нагревается нижняя часть утюга (рис. 29.1).

Работа электрической лампы накаливания тоже основана на тепловом действии тока. Основная часть современной лампы накаливания (рис. 29.2) — спираль из тонкой вольфрамовой проволоки (рис. 29.3). Вольфрам — тугоплавкий металл, его температура плавления 3387°C . В лампе накаливания вольфрамовая спираль нагревается до 3000°C , при такой температуре она достигает “белого каления” и светится ярким светом. Спираль помещают в стеклянную колбу, из которой выкачивают насосом воздух, чтобы спираль не перегорала. Но в вакууме вольфрам быстро испаряется, спираль становится тоньше и тоже сравнительно быстро перегорает. Чтобы предотвратить быстрое испарение вольфрама, современные лампы наполняют азотом, иногда криптоном или аргоном. Молекулы газа препятствуют выходу частиц вольфрама из нити, т. е. разрушению накаленной нити.

В настоящее время лампы накаливания постепенно вытесняются энергосберегающими лампами, лампами дневного света и светодиодными лампами (рис. 29.4).

Как работает светодиодная лампа, можно выяснить с помощью рисунка 29.5. В этой лампе есть полупроводниковый кристалл, который излучает свет при пропускании через него тока. Цвет света зависит от материала вещества кристалла.



Рис. 29.2



Рис. 29.3



Рис. 29.4

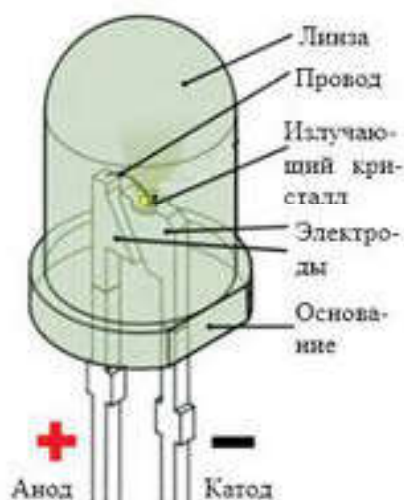


Рис. 29.5

Энергосберегающие лампы работают несколько иначе. Устройство практически всех энергосберегающих ламп одинаковое.

В состав лампы входит несколько деталей.

Запомните!

Помните, что пары ртути опасны для организма человека, поэтому, если энергосберегающая лампа разбилась, очень важно правильно утилизировать осколки и обработать место.

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Газоразрядная трубка — это видимая часть лампы, излучающая свет. Газоразрядная трубка соединяется с корпусом. В корпусе находится внутренняя часть лампы, представляющая собой электронную схему пуска и питания. Данная электрическая схема позволит лампе зажечься. Рассмотрим, что происходит в лампе во время работы. Трубка, запаянная с двух сторон, называется колбой энергосберегающей лампы. Электроды находятся на противоположных концах этой колбы. Электрический сосуд лампы имеет форму изогнутой колбы, покрытый слоем люминофора. Эта колба содержит инертный газ и небольшое количество ртутных паров. Причиной свечения лампочки при подключении к ней питания является превращение нейтральных атомов паров ртути в ионы в связи с потерей ими электронов. Этот процесс называется ионизацией.

Вы никогда не задумывались над тем, почему в энергосберегающей лампе колба имеет причудливо изогнутую форму? Сделано это для уменьшения длины всей лампы. Изогнутая форма колбы позволяет это сделать. За счет спиральной намотки длину самой газоразрядной трубки можно увеличить, при этом длина лампы при такой форме будет уменьшена. Если бы этого не делали, то лампа не поместилась бы в люстру.

Короткое замыкание. Коротким замыканием называют соединение концов участка цепи проводником, сопротивление которого очень мало по сравнению с сопротивлением участка цепи. Короткое замыкание может возникнуть, например, при ремонте проводки под током или при случайном соприкосновении оголенных проводов. При этом сопротивление цепи резко уменьшается, поэтому в цепи возникает большая сила тока, из-за чего провода при этом могут сильно нагреться и загореться. Кроме этого, уменьшение сопротивления цепи может возникнуть при включении параллельно дополнительных потребителей. Избежать этой опасности помогают предохранители.

Предохранитель. Предохранитель — это устройство для предотвращения недопустимого и опасного действия установки, машины, аппарата, прибора, оружия и пр. в результате нарушения нормальных условий и режимов их работы, аварий и др. Наиболее распространены

плавкие предохранители для защиты электрических сетей от токов короткого замыкания.

Предохранитель плавкий — это устройство для защиты электрических установок от токов коротких замыканий и перегрузок (рис. 29.6).

Электрические цепи всегда рассчитаны на определенную силу тока. Если по какой-либо причине сила тока в цепи превышает допустимое значение, то провода могут значительно нагреться, а покрывающая их изоляция — воспламениться. Причиной значительного увеличения силы тока в сети может быть одновременное включение мощных потребителей тока, например, электрических плиток. Основной частью плавкого предохранителя является плавкая вставка. Плавкая вставка — это проволока из легкоплавкого металла (например, свинца), находящаяся внутри фарфорового цилиндра. Как только сила тока в цепи превысит допустимое значение, так свинец расплавится и цепь разорвется.



Рис. 29.6

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Тепловой расцепитель (рис. 29.7) представляет собой биметаллическую пластину, нагреваемую протекающим током. При протекании тока выше допустимого значения биметаллическая пластина изгибается и приводит в действие защелку пружины, отводящую подвижный контакт, разрывая тем самым электрическую цепь. В отличие от плавкого предохранителя, автоматический предохранитель готов к следующему использованию после остывания пластины.

Очень ходовым устройством в сфере электрики является электрический автомат (рис. 29.8). Его значение трудно переоценить. Общий смысл данного электротехнического устройства прост — включение и выключение питания, а при чрезмерном значении силы тока его роль сводится к своевременному срабатыванию и отключению того или иного устройства, в цепи которого он стоит. Проще говоря, это одно устройство, имеющее две функции — выключателя и защиты от больших токов. С его появлением уже нет необходимости повсеместного применения плавких защитных предохранителей. Ведь раньше основную защиту по току выполняли именно предохранители. Электрические автоматы намного удобнее в использовании. Если сгоревший предохранитель необходимо заменить, то автомат можно завести простым движением рычажка вверх.



Рис. 29.7



Рис. 29.8

Достоинством плавких предохранителей является простота и дешевизна; недостатком — необходимость замены плавких вставок, что особенно затрудняется в установках высокого напряжения, кроме того, плавкие предохранители защищают электрические машины только от токов коротких замыканий.

Еще есть предохранители, действие которых основано не на плавлении, а на тепловом расширении тел при нагревании. Предохранители располагают на специальном щитке, устанавливаемом у самого ввода проводов в квартиру, называемом счетчиком. В каждый из проводов последовательно включают отдельный предохранитель.



1. Как работают электронагревательные приборы?
2. В чем заключается принцип действия электрического утюга?
3. Опишите устройство и принцип действия лампы накаливания.
4. Назовите преимущества светодиодных и энергосберегающих ламп.
5. Когда наблюдается короткое замыкание?
6. Для чего нужны предохранители?
7. Каков принцип действия плавкого предохранителя?
8. Как работает тепловой расцепитель?
9. На чем основан принцип работы электрического автомата?
10. В чем недостаток плавкого предохранителя?
11. Каковы преимущества электрического автомата?

Что вы усвоили по данной теме?

Что особенно вам понравилось на уроке?	Какой конкретный опыт вы приобрели?	Какие вопросы возникли? Почему?

§ 30. Химическое действие электрического тока. Закон Фарадея



Ключевые слова:

- ✓ химическое действие тока
- ✓ электрохимический эквивалент
- ✓ закон Фарадея

На этом уроке вы:

- узнаете, как возникает природа электрического тока в жидкостях.



- Известно, что если в воду опустить электрический провод под напряжением, то вода будет проводить ток. Как вы думаете, проводят ли ток другие жидкости?

Это вы знаете

Тело человека, на 80% состоящее из воды, хорошо проводит электрический ток. Действие тока на человеческий организм оказывает как отрицательное, так и положительное действие.

С электропроводностью жидкостей в нашей жизни связано очень многое. С ней мы встречаемся, пользуясь батарейками в мобильных телефонах, аккумуляторами в автомобилях. Из расплавленных бокситов получают алюминий — металл, который используют в самолетостроении и изготовлении банок для напитков типа “Кока-кола”, “Фанта”. Электропроводность жидкостей также используют для того, чтобы получить хромированные, никелированные изделия.

Соберем электрическую цепь (рис. 30.1) из источника тока, лампочки, ключа и сосуда с дистиллированной водой, в которую опущены два электрода. Лампочка после замыкания ключа светиться не будет. Значит, в дистиллированной воде ток не возникает. Объясняется это тем, что в чистой воде нет свободных зарядов — все заряды связанные (рис. 30.2). Если вместо воды в сосуд насыпать соли, то лампочка такая не светится. Если же постепенно добавлять в воду соль, то лампочка начнет светиться. Это означает, что в водном растворе соли электрический ток идет. Следовательно, в водном растворе появились свободные заряженные частицы (рис. 30.3, а).

Молекулы воды окружают молекулы соли и разрывают ее на две частицы, заряженные положительно и отрицательно (рис. 30.3, б). Их называют **ионами**. Значит, проводимость жидкостей **ионная**. Процесс распада нейтральных молекул на ионы называется **электролитической диссоциацией**.

Растворы солей, кислот и щелочей в воде называются электролитами. Электролиты являются хорошими проводниками тока.

В отличие от металлов и газов прохождение тока через электролит сопровождается химическими реакциями на электродах, что приводит к выделению на них химических элементов, входящих в состав электролита.



Рис. 30.1

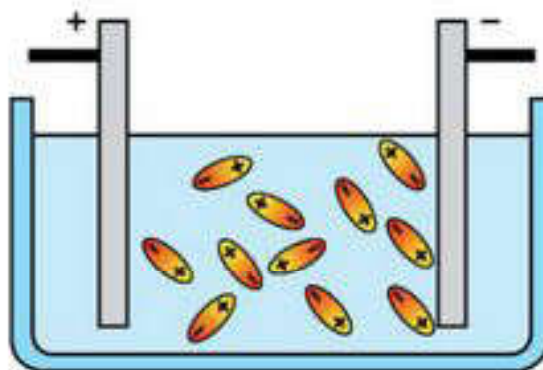
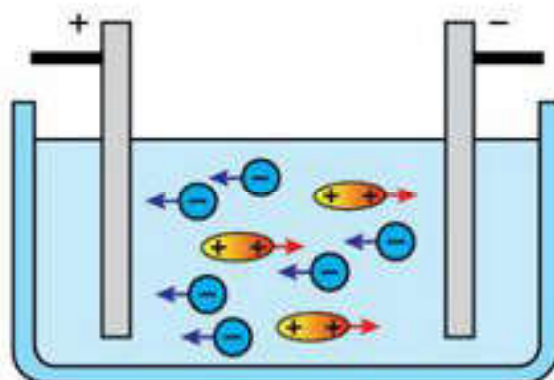


Рис. 30.2



а)



б)

Рис. 30.3

Явление выделения на электродах вещества называется **электролизом**. Электролиз изучал английский физик М. Фарадей. Он установил закон электролиза.



Майкл Фарадей
(1791—1867)

Масса вещества, выделяющегося на электроде, прямо пропорциональна заряду, прошедшему через электролит.

$$m = kq. \quad (30.1)$$

Так как $q = It$, то закон электролиза можно записать в виде:

$$m = kIt. \quad (30.2)$$

Следовательно, масса вещества, выделяющегося на электроде, прямо пропорциональна силе тока, текущего по электролиту, и времени его прохождения. Коэффициент k в формуле (30.1) называется **электрохимическим эквивалентом вещества**. Его находят экспериментально.

Электрохимический эквивалент вещества — это физическая величина, определяемая массой вещества, которая выделится на электроде при прохождении через электролит 1 Кл электричества.

Единица измерения электрохимического эквивалента вещества: $[k] = \left[\frac{\text{кг}}{\text{Кл}} \right]$. Электролиз широко применяется в технике. Приведем примеры применения электролиза:

1. Электролитический метод получения чистых металлов. Иначе этот метод называется **рафинированием**. Хорошим примером является электролитическое очищение меди, драгоценных металлов — золота и серебра.

2. Посредством электролиза можно покрыть металлические предметы тонким слоем другого металла. Этот процесс называется **гальваностегией**. Делается это для защиты изделий от коррозии. Изделия покрываются трудно окисляемыми металлами — никелем или хромом (никелирование и хромирование).

3. **Гальванопластика** — изготовление рельефной копии предмета. Этот процесс был разработан русским ученым Б. С. Якоби (1801—1874), который в 1836 г. применил этот способ для изготовления полых фигур для Исаакиевского собора в Санкт-Петербурге.

4. Получение оксидных защитных пленок на металлах (анодирование).

5. Электрохимическая обработка поверхности металлического изделия (полировка).

6. Очистка воды — удаление из нее растворимых примесей, в результате получается так называемая “мягкая” вода.

7. Электрохимическая заточка режущих инструментов (хирургические ножи, бритвы).



1. Почему дистиллированная вода не проводит электрический ток?
2. Что произойдет в воде, если в нее добавить соль или кислоту?
3. Что вы понимаете под электролизом?
4. Что называется электролизом?
5. Почему нельзя прикасаться к незаизолированным электрическим проводам голыми руками?
6. Почему для гальванического покрытия изделия чаще используют никель и хром?
7. Почему провода осветительной сети обязательно имеют резиновую оболочку, а провода, предназначенные для сырых помещений, кроме того еще просмолены снаружи?
8. Приведите примеры применения электролиза в технике.



Упражнение 19

1. Сколько алюминия выделится при электролизе за 20 мин, если сила тока 4 А? (Ответ: 0,445 г)
2. За 10 мин на электроде выделилось серебро массой 670 мг. Амперметр, включенный последовательно с емкостью с водой, показал 0,9 А. Верно ли показание амперметра? (Ответ: нет, 1 А)
3. За какое время при электролизе раствора хлорной меди (CuCl_2) на катоде выделится медь массой 4,74 г, если сила тока в цепи 2 А? (Ответ: 2 ч)
- *4. На электроды, помещенные в раствор медного купороса, подано напряжение 12 В. Какую энергию необходимо израсходовать, чтобы получить 1 кг меди? (Ответ: 36 МДж)
- *5. Какая мощность расходуется на нагревание раствора азотнокислого серебра, если за 6 ч из него выделилось 120 г серебра? Сопротивление раствора 1,2 Ом. (Ответ: 30 Вт)

Что вы усвоили по данной теме?

Что особенно вам понравилось на уроке?	Какой конкретный опыт вы приобрели?	Какие вопросы возникли? Почему?

Самое важное в главе

Постоянный электрический ток

Электрический ток — упорядоченное движение заряженных частиц под действием сил электрического поля. За направление тока выбрано направление движения положительно заряженных частиц. Электрический ток называют постоянным, если сила тока и его направление не меняются с течением времени.



Величины, характеризующие электрическую цепь	Величины, характеризующие источник тока
Сила тока $I = \frac{q}{t}$ (А)	Электродвижущая сила (ЭДС) $E = \frac{A_{\text{стор}}}{q_0}$ (В)
Напряжение $U = \frac{A_{\text{зат}}}{q}$ (В)	Внутреннее сопротивление r (Ом)
Сопротивление $R = \rho \frac{l}{S}$ (Ом)	

Закон Ома для участка цепи: $I = \frac{U}{R}$.

Признаки последовательного соединения проводников	Признаки параллельного соединения проводников
<p>I_1, R_1 I_2, R_2</p>	<p>I_1, R_1 I_2, R_2</p>
$I_1 = I_2 = I$	$I = I_1 + I_2$
$U = U_1 + U_2$	$U = U_1 = U_2$
$R = R_1 + R_2$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$
$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$	$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$

Ток, проходя по проводнику, оказывает тепловое действие. Количество теплоты, которое выделяется при этом, находят по закону Джоуля-Ленца: $Q = I^2 R t$.

Ток, проходя через электролит, оказывает химическое действие. При этом масса выделившегося вещества находится по закону Фарадея: $m = kq$.

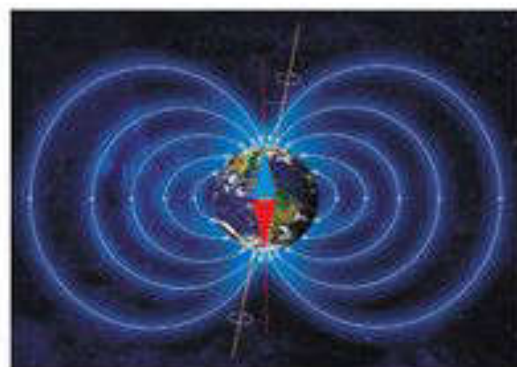
Электромагнитные явления

ГЛАВА

6

Земля окружена магнитным полем, которое защищает ее от космического излучения.

Каким образом магнитное поле защищает Землю?



С помощью электроизмерительных приборов измеряют силу тока, напряжение, сопротивление, мощность и другие величины, характеризующие электрическую цепь.

На чем основан принцип действия электроизмерительных приборов?



На производстве широко используют электромагниты, с помощью которых переносят железный лом и другие железные предметы.

Почему электромагниты переносят только железные предметы? Что лежит в основе работы электромагнитов?



Современную жизнь трудно представить без электрического транспорта, электрических двигателей, трансформаторов.

Магнитные взаимодействия и электродвигатели. Что их объединяет?



6

§ 31. Постоянные магниты. Магнитное поле



Ключевые слова:

- ✓ магниты
- ✓ постоянные магниты
- ✓ магнитное поле
- ✓ силовые линии магнитного поля
- ✓ магнитное поле Земли

На этом уроке вы:

- научитесь характеризовать основные свойства магнитов и графически изображать магнитное поле посредством силовых линий.



- Вспомните, что вы знаете о магнитах. Обсудите известные вам основные свойства магнитов.
- Гвозди притягиваются к магнитам, а потом сами начинают притягивать к себе железные опилки. Как вы думаете, почему так происходит?

Мы привыкли к тому, что постоянно сталкиваемся с магнитами. Они широко применяются в различных сферах нашей жизни. Каждый из нас знаком с компасом. Каждый знает, что вокруг Земли есть магнитное поле, которое защищает ее от космических лучей.

И в тоже время мы даже не подозреваем сколько магнитов вокруг нас. Во многих электрических приборах и устройствах (в электробритвах, динамиках, магнитофонах, в часах, в пылесосах) есть магниты и электромагниты. Наша звезда — Солнце — это грандиозный магнит. Галактики и туманности представляют собой огромные по размерам магниты. Магниты широко применяются в ускорителях заряженных частиц, в генераторах переменного и постоянного тока, на заводах для подъема и погрузки контейнеров и металлолома, с их помощью осуществляется подъем затонувших судов. Трудно перечислить области, где не требуются разнообразные по силе и размерам магниты. Проблема создания сильных, сверхсильных магнитных полей стала одной из основных в современной физике и технике. Над их разработкой работают ученые всего мира, в том числе и Казахстана.

Остановимся на магнитных взаимодействиях более подробно.

Магнитные свойства сильномагнитных веществ известны очень давно. Более трех тысяч лет назад свойство магнитных стрелок устанавливаться в направлении с севера на юг уже использовалось в Китае на практике. Еще тогда ученые этой страны снабжали колесницы особыми «указателями», которые обычно представляли собой намагниченную ложку (рис. 31.1) или человеческую фигурку, рука которой при помощи постоянного магнита всегда указывала на юг.

Магнитные свойства были известны и в древней Греции, о чем можно судить по легендам, дошедшим до наших дней. Так, в одной из легенд говорилось о горе, обладающей свойством притягивать железные предметы. Эта магнитная гора, стоящая на берегу моря, якобы выдергивала железные гвозди из приближавшихся к ней кораблей, отчего корабли рассыпались, и мореплаватели погибали. С давних времен известно, что минерал магнетит в подвешенном состоянии всегда указывает одно и то же направление. Залежи минерала были обнаружены в древнем городе Магнесия (рис. 31.2). Слово “магнит” произошло от названия самого города. Данный минерал обладает магнитными свойствами: он притягивает к себе предметы из железа, кобальта, никеля. Словосочетание *magnetis lithos* означает камень из Магнесии.



Рис. 31.1

В настоящее время известны магниты двух видов: природный, или естественный, и искусственный. К природным относятся железная руда, сплавы из никеля и кобальта, которые обладают свойством притягивать мелкие железные предметы. Предметы, изготовленные из никеля, кобальта или железа, под действием электрического тока приобретают магнитные свойства (намагничиваются). Они становятся искусственными магнитами.

Тела, длительное время сохраняющие магнитные свойства, называются **постоянными магнитами**. Они относятся к искусственным магнитам.

Постоянные магниты — наиболее привычный нам вид магнитов. Они постоянные в том смысле, что будучи однажды намагничеными эти магниты сохраняют определенный уровень остаточной намагниченности достаточно долго. Разные виды постоянных магнитов имеют различные характеристики или свойства. Одни из них легко размагничиваются, другие, наоборот, трудно размагнитить. Некоторые намагничиваются так, что их магнитные свойства проявляются очень сильно, а у других слабо. Магнитные свойства у разных постоянных магнитов меняются с изменением температуры.



Рис. 31.2



Рис. 31.3

Постоянные магниты можно изготовить только из трех химических элементов и их сплавов: железа, никеля, кобальта.

Опыт показывает, что разные части постоянного магнита притягивают железные опилки с разной силой (рис. 31.3, а и 31.3, б). Наибольшей силой притяжения обладают концы магнита. Их называют *полюсами магнита*. У любого магнита существует два полюса: северный и южный. Северный обозначают символом *N* (англ. North), а южный символом *S* (англ. South).

Если постоянный магнит в форме тонкой полоски расположить на плавающей в воде деревянной дощечке, то он поворачивается одним концом в направлении Северного полюса Земли, а другим — в направлении Южного. Поэтому концы магнита так и называются северным и южным полюсами. Это наблюдение привело к созданию компаса. Первые компасы появились в Китае в III веке. В Европе компасом стали пользоваться, начиная с XII века. Затем были изготовлены магнитные стрелки, которые ориентировались определенным образом под действием магнитного поля Земли.

Если расположить два полосовых магнита рядом на гладком столе, то мы обнаружим, что одноименные полюса отталкиваются, а разноименные полюса притягиваются (рис. 31.4).

Взаимодействие магнитов друг с другом, их действие на магнитные стрелки или железные опилки происходит посредством особого вида материи — магнитного поля. *Магнитное поле* — это вид материи, непрерывный в пространстве, существующий независимо от нас и наших знаний о нем и не регистрируемый нашими органами чувств.

Обнаружить магнитное поле можно по его действию на магнитные стрелки, железные опилки.

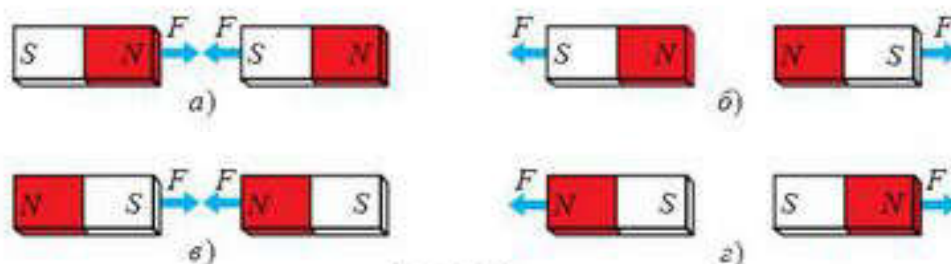


Рис. 31.4

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Способность железа и его сплавов, а также никеля и кобальта сильно намагничиваться исчезает при нагревании до высокой температуры. Чистое железо теряет такую способность при нагревании до 753°C , кобальт при 1127°C , никель при 358°C .



Поместим полосовые и подковообразные магниты под листом прозрачного оргстекла, на котором рассыпаны железные опилки. Мы обнаружим, что опилки будут располагаться по замкнутым линиям (рис. 31.5). В зависимости от того, как будут расположены полюсы магнитов, формы этих линий выглядят по-разному. Чтобы получить картину силовых линий магнитного поля, необходимо встряхивать опилки, постукивая по оргстеклу.



Рис. 31.5

Для того чтобы удобнее было иллюстрировать магнитное взаимодействие, учеными было предложено ввести понятие силовых линий магнитного поля.

Силовые линии магнитного поля — это линии, вдоль которых располагаются оси магнитных стрелок или железных опилок. Эти линии замкнутые, у них нет начала и конца. Принято считать полюс магнита, из которого выходят силовые линии, *северным*, а в который входят — *южным*. Направление магнитного поля совпадает с направлением северного конца магнитной стрелки. Густота силовых линий больше там, где действие поля сильнее. Понятно, что в реальном поле силовых линий нет.



■ Как направлены силовые линии внутри магнита?

Во многих опытах железные опилки заменяют магнитные стрелки, т. к. они намагничиваются в магнитном поле и становятся подобны магнитным стрелкам.

Если магнит разрезать на две части, то каждая часть будет иметь два полюса, т. е. магниты всегда имеют два полюса: северный и южный. Поэтому картина расположения опилок возле каждой половинки магнитов останется той же.

Обратимся к истории изучения свойств магнитов.

В 1600 г. английский ученый Вильям Гильберт в труде “О магните, магнитных телах и о великом магните Земли” описал эксперимент, который должен был объяснить магнетизм Земли. Гильберт изготовил шар из магнитной руды и исследовал, каким образом шар действует на маленькую железную стрелку. Он обнаружил сходство поведения этой стрелки с поведением стрелки компаса, вращающейся на горизонтальной оси вблизи Земли, и пришел к заключению, что Земля представляет собой гигантский магнит.

Гильберт формулирует следующие важные свойства магнита.

1. Магнит имеет два полюса (северный и южный) и обладает в различных частях различной силой притяжения; на полюсах эта сила наиболее заметна.
2. Разноименные полюсы притягиваются, одноименные отталкиваются.
3. Магнит, подвешенный на нитке, располагается определенным образом в пространстве, указывая север и юг.
4. Земной шар — это большой магнит.
5. Нельзя получить магнит с одним полюсом.



Рис. 31.6

То, что вокруг Земли существует магнитное поле, доказали исследования французского физика А. М. Ампера. Оно обусловлено круговыми токами, циркулирующими в ядре Земли (рис. 31.6). Земля в целом представляет собой огромный шаровой магнит (рис. 31.6).

Магнитные и географические полюса Земли не совпадают друг с другом. Южный магнитный полюс S находится вблизи северного географического полюса недалеко от северного берега озера Виктория (Канада). Северный магнитный полюс N находится вблизи южного географического полюса вблизи берегов Антарктиды. Магнитные полюса Земли перемещаются.

Магнитное поле Земли — невидимый щит, защищающий нашу планету от воздействия космического излучения. Оно не пускает вредоносные частички внутрь и заставляет их огибать планету.

Это вы знаете

На поверхности Земли имеются территории, где ее собственное магнитное поле сильно искажено магнитным полем железных руд, залегающих на небольшой глубине. Одна из таких территорий — Курская магнитная аномалия, расположенная в Курской области.

Перечислим области применения постоянных магнитов:

- 1) в автомобильных электрогенераторах;
- 2) в радиомикрофонах;
- 3) в магнитофонах;
- 4) в усилителях звука;
- 5) в трансформаторах.

В стоматологии внедряются импланты на магнитах для надежного закрепления зубных протезов. Они притягиваются друг к другу и поэтому остаются неподвижными, т. е. их закреплять не надо.



1. Проведите опыты, показывающие перераспределение магнитных опилок в поле постоянных магнитов и объясните полученные результаты.
2. Сформулируйте правило взаимодействия магнитных полюсов.
- *3. Изготовьте самодельный компас. Подумайте, какие предметы вам понадобятся. Объясните принцип работы компаса.
- *4. Одним и тем же магнитом можно намагнитить очень большое количество стальных палочек. За счет какой энергии происходит намагничивание этих палочек?
- *5. Определите, на каких рисунках правильно изображены силовые линии магнитных полей (рис. 31.7).
- *6. Проведите эксперимент. Насыпьте железные опилки на оргстекло. Поднесите под оргстекло полосовой магнит и начните его вращать. Объясните перемещение опилок и полученные рисунки.
- *7. Объясните, для каких целей можно использовать данное "устройство" (рис. 31.8).
- *8. Найдите ошибку в рисунке 31.9.
- *9. Каким образом магнитное поле Земли "участвует" в появлении северного сияния?
- *10. Почему северное сияние наблюдается только на полюсах Земли?
- *11. Почему на планетах, где нет магнитного поля, нет жизни?
- *12. Имеются две одинаковые стальные спицы, одна из которых намагничена. Как узнать, какая из спиц намагничена, не пользуясь ничем, кроме самих спиц?



Рис. 31.7



Рис. 31.8



Рис. 31.9

Что вы усвоили по данной теме?

Что заинтересовало вас на уроке?	Какие умения вы приобрели?	Какую информацию по теме урока вы бы добавили?	По поводу какой информации у вас возникли вопросы? Какие?

§ 32. Магнитное поле прямолинейного проводника с током. Магнитное поле катушки с током

**Ключевые слова:**

- ✓ магнитное взаимодействие
- ✓ магнитное поле
- ✓ силовые линии магнитного поля
- ✓ правило обхвата правой рукой

На этом уроке вы:

- научитесь объяснять свойства магнитного поля и определять направление линий магнитного поля прямого тока и соленоида.

В 1820 г. датский физик Эрстед на опыте обнаружил, что электрический ток действует на магнитную стрелку. Он предположил, что вокруг проводника с током возникает магнитное поле. Этим открытием было положено начало новой главы физики — учению об электромагнетизме.

Рассмотрим опыт, проделанный ученым Х. Эрстедом (рис. 32.1). От источника тока протянут жесткий металлический провод, рядом с которым расположена магнитная стрелка, надетая на иглу. Пока в проводе тока нет, стрелка указывает на север (рис. 32.1, а). Теперь подключим

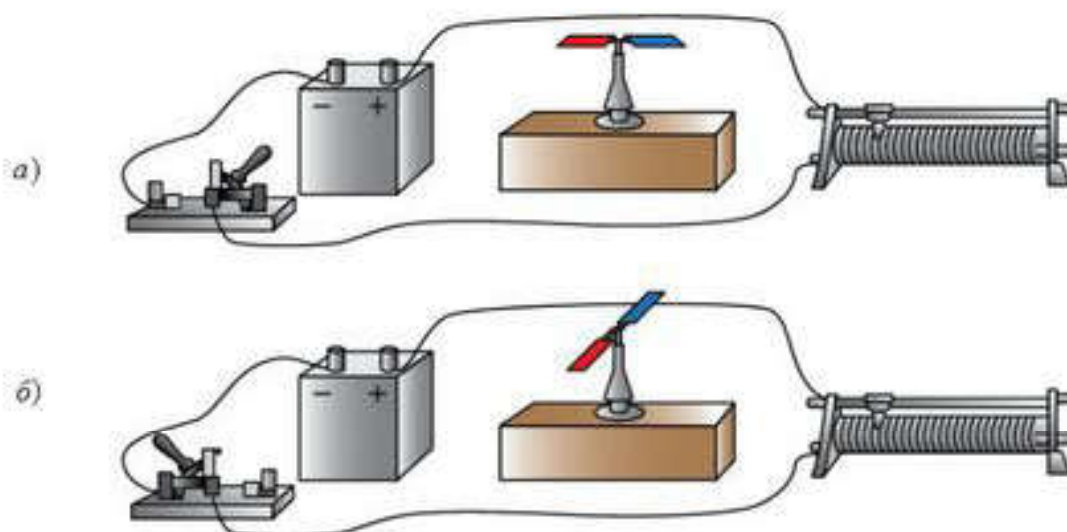


Рис. 32.1

концы провода к источнику тока. Мы увидим, что стрелка сразу же установится поперек провода (рис. 32.1, б). Если переместим стрелку на некоторое расстояние недалеко от провода, результат будет тем же: при замыкании цепи стрелка будет поворачиваться, располагаясь перпендикулярно проводу.



Рис. 32.2

Эрстед объяснил результат опыта так. Так как стрелка отклоняется, находясь в любом месте вблизи провода, значит, в пространстве вокруг провода существует силовое поле, которое и воздействует на магнитную стрелку. А поскольку на магнитную стрелку может действовать только магнитное поле, то в пространстве вокруг проводника с током существует магнитное поле. Знакомство с ним мы начали в § 31, описав существование магнитного поля постоянного магнита.

Опыт Эрстеда показал, что электрический ток, протекая по проводникам, создает вокруг него магнитное поле.

Французский физик А. М. Ампер считал, что взаимодействие токов отличается от взаимодействия неподвижных электрических зарядов. Он проделал опыты (рис. 32.2), в которых было обнаружено взаимодействие параллельных токов, осуществляемое посредством магнитного поля. Параллельные проводники, в которых токи протекают в одном направлении, притягиваются, а если токи текут в противоположных направлениях, то проводники отталкиваются друг от друга, причем сила взаимодействия токов зависит от расстояния между ними. Это взаимодействие током было названо магнитным взаимодействием, а силу взаимодействия токов назвали магнитной силой.

Ампер и Эрстед своими опытами показали, что магнитное поле создается не только магнитами, но и электрическим током и движущимися заряженными частицами.

Магнитное поле — это особый вид материи, посредством которого осуществляется взаимодействие между токами и движущимися заряженными частицами.

Запомните!

Неподвижные электрические заряды создают электростатическое поле, а движущиеся заряды (ток) создают магнитное поле. В природе нет магнитных зарядов, а есть ток, который и создает магнитное поле.

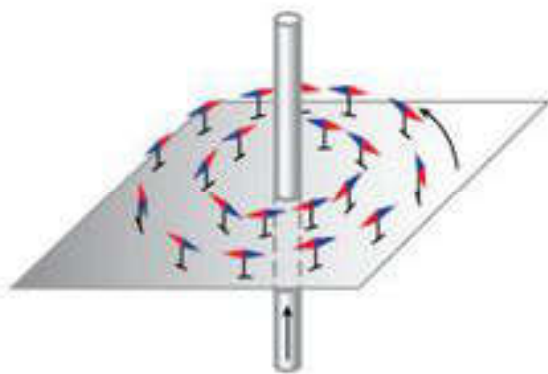


Рис. 32.3



Рис. 32.4

Рассмотрим, как выглядит магнитное поле, создаваемое прямолинейным проводником с током. Для этого проведем через прозрачное оргстекло прямой проводник и пропустим по нему ток (рис. 32.3). Магнитные стрелки выстроятся по окружностям вокруг проводника. Если поменять направление тока в проводнике, стрелки как по команде развернутся в другую сторону.

Если вместо магнитных стрелок насыпать на стекло железные опилки, то они тоже расположатся по окружностям, причем вблизи проводника опилки располагаются гуще, а чем дальше от него — тем реже (рис. 32.4). Это говорит о том, что, удаляясь от проводника, магнитное поле ослабевает. Такие линии образуются потому, что опилки намагничиваются и ведут себя подобно маленьким магнитным стрелочкам: располагаясь вдоль силовых линий магнитного поля, они разворачиваются, образуя множество кольцеобразных цепочек. Итак, силовые линии магнитного поля прямого проводника с током являются концентрическими окружностями, опоясывающими проводник.

Направлением силовой линии магнитного поля принято считать направление, куда указывает северный конец магнитной стрелки. Например, на рисунке 32.3 расположение северных концов показывает, что силовые линии поля направлены против часовой стрелки.

Для определения направления силовых линий магнитного поля прямого проводника с током есть специальные правила. **Правило обхвата правой рукой:** если прямой проводник обхватить ладонью так, чтобы отогнутый большой палец указывал направление тока в проводнике, то оставшиеся пальцы укажут направление силовых линий магнитного поля.



Рис. 32.5

Это же правило известно и как “правило правого буравчика”: если буравчик с правой резьбой ввинчивать по направлению тока, то направление вращения рукоятки укажет направление силовых



а)



б)

Рис. 32.6

линий магнитного поля. Т. е. магнитное поле прямых проводников с током выглядит как концентрические окружности. Рассмотрим теперь проводник, свернутый в виде спирали, по которому идет ток (рис. 32.5). Проводник, выполненный таким образом, называется *катушкой* или *соленоидом* (греч. “solen” — трубка). Расположим вдоль его оси лист оргстекла и рассыпем на нем железные опилки. На рисунке 32.5 отчетливо видно, что опилки выстроились в виде замкнутых линий, наиболее часто расположенных внутри витков соленоида. Следовательно, магнитное поле внутри соленоида сильнее, чем вне его. Кроме этого, внутри соленоида опилки располагаются практически прямолинейно. Этот факт говорит об однородности магнитного поля внутри соленоида.

Намотаем теперь проволоку на каркас, располагая витки вплотную друг к другу, мы получим катушку. Замкнем цепь и поднесем к катушке мелкие гвоздики — часть из них притянется к ней (рис. 32.6, а). Если в нее вставить железный или стальной стержень — *сердечник*, то притянется заметно больше гвоздиков (рис. 32.6, б). Другими словами, происходит усиление магнитного поля. Катушка из изолированной проволоки с железным сердечником внутри называется *электромагнитом*. При прочих равных условиях магнитное поле электромагнита всегда сильнее магнитного поля соленоида или катушки без сердечника.

Как же происходит усиление магнитного поля, когда в соленоид помещают стальной сердечник? Сначала ток, идущий по соленоиду, намагничивает сердечник. Намагнитившись, сердечник создает собственное поле, которое совпадает по направлению с полем соленоида. Эти поля складываются, и образуется новое, более сильное поле. Об этом мы судим по количеству притянувшихся гвоздиков или стальных скрепок. Магнитное поле будет еще сильнее, если по катушке пропустить электрический ток большей силы.

Кроме того, при одной и той же силе тока *поле электромагнита можно усилить, увеличив число витков проводника в его обмотке*. Это объясняется тем, что магнитные поля, создаваемые каждым из витков, накладываются друг на друга и тем самым образуют новое, более сильное магнитное поле.

Это вы знаете

Соленоид, подвешенный на нити, при пропускании через него тока, устанавливается под действием магнитного поля Земли так же, как стрелка компаса (рис. 32.7). Следовательно, магнитное поле катушки с током взаимодействует с магнитным полем Земли, которое оказывает на нее ориентирующее действие.

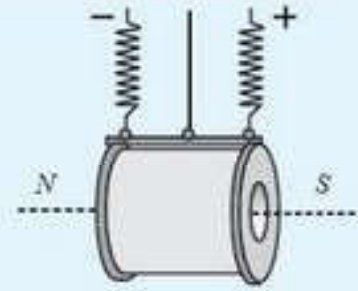


Рис. 32.7

Соленоид применяется в кассовых аппаратах для разрезания билетов и чеков, в электроприводах, телефонных трубках, в различных электромагнитных пускателях, выключателях, электронизмерительных приборах, грузоподъемных машинах на заводах, в магнитных сепараторах и т. д.



1. Почему в опыте Эрстеда важно присутствие магнитной стрелки?
2. Какой основной вывод следует из опыта Эрстеда?
3. Какая сила заставляет железные опилки располагаться по окружностям, подобно магнитным стрелкам?
4. Какие опыты доказывают, что вокруг проводника с током существует силовое поле?
5. На листе оргстекла рассыпаны железные опилки. Как вы думаете, что произойдет с ними, если: а) ударить по стеклу пальцем; б) поднести снизу магнит северным полюсом, а потом южным?
6. Для каких целей применяют правило обхвата правой рукой?
7. Какое другое правило можно использовать вместо правила обхвата правой рукой?
8. Что используют для изучения магнитного поля соленоида?
9. Как выглядят силовые линии магнитного поля соленоида?
10. Как усилить магнитное действие катушки с током?
11. Почему магнитное поле электромагнита сильнее поля соленоида?
12. Из каких элементов вы бы изготовили самодельный магнит? Где его можно применить?
13. Как определить полюса соленоида?



1. Через соленоид (катушка с однослойной намоткой провода) пропускают ток (рис. 32.8). Определите полюсы катушки.
2. Определите направление тока в катушке и знаки полюсов у источника тока (рис. 32.9), если на верхнем конце катушки находится северный магнитный полюс.
3. Намотка катушки А (рис. 32.10) произведена по ходу часовой стрелки, а катушки В — против хода часовой стрелки. Одинаковые ли полюсы имеют левые концы электромагнитов?

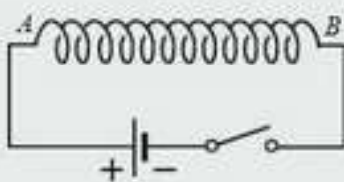


Рис. 32.8

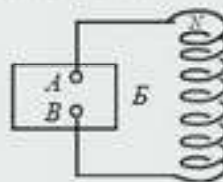


Рис. 32.9

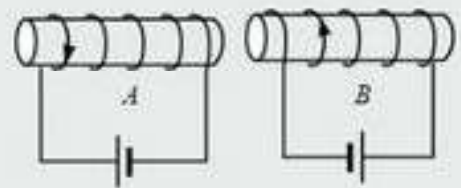


Рис. 32.10



Упражнение 20

1. Нарисуйте в тетради прямолинейный проводник, укажите направление тока в нем. Изобразите силовые линии магнитного поля прямого тока и укажите их направление. Какое правило вы использовали для этого?
2. Нарисуйте соленоид и укажите направление тока в нем.
3. Нарисуйте силовые линии магнитного поля катушки и укажите их направление. Какое правило вы использовали для этого?
4. Как изменится картина силовых линий магнитного поля катушки, если: а) увеличить число витков в ней; б) увеличить силу тока в ней; в) вставить в катушку стальной сердечник?

Что вы усвоили по данной теме?

Что заинтересовало вас на уроке?	Какие умения вы приобрели?	Какую информацию по теме урока вы бы добавили?	По поводу какой информации у вас возникли вопросы? Какие?

§ 33. Электромагниты и их применение



На этом уроке вы:

- научитесь сравнивать магнитные поля, созданные токами разной формы;
- узнаете принцип действия электромагнитов.



Ключевые слова:

- ✓ электромагнит
- ✓ магнитное поле электромагнита

Катушка со вставленным железным (его еще называют *ферромагнитным*) сердечником представляет собой электромагнит (рис. 33.1).

Электромагнит можно рассматривать как магнит, который функционирует, когда по его обмотке течет ток. Полярность электромагнита может быть легко изменена путем изменения направления тока.

Перечислим преимущества электромагнитов:

1. Их размеры могут быть любыми, от микроскопических до очень больших.

2. Включая, выключая ток в обмотке электромагнита, его можно быстро намагнитить и размагнитить.

3. Меняя силу тока, число витков и сердечник, можно легко управлять силой магнитного действия.

4. Меняя полярность тока, легко изменить направление магнитной силы.



Рис. 33.1

Именно поэтому электромагниты широко распространены. Невозможно представить себе отрасль электротехники, где бы не использовались электромагниты.

Электромагниты и их применение. Рассмотрим примеры, где используются электромагниты.

Электромагниты часто используются для хранения информации, так как многие материалы способны поглощать магнитное поле, которое может быть впоследствии считано для извлечения информации. Они находят применение практически в любом современном приборе.



Рис. 33.2



Рис. 33.3

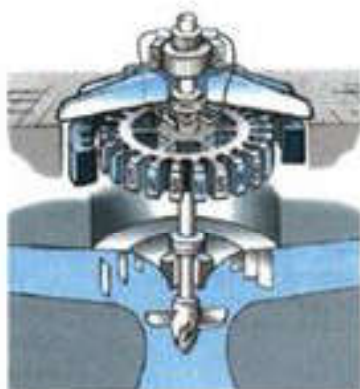


Рис. 33.4



Рис. 33.5

Где еще применяют электромагниты? В быту они используются в ряде бытовых приборов. Колонки, громкоговорители и магнитофоны — это устройства, в которых реализуется этот эффект.

Где применяют электромагниты в жизни? Простейшими примерами служат дверные звонки (рис. 33.2) и электромагнитные замки. Создавая сильное поле, возникает электромагнитная блокировка дверей. Дверь остается закрытой, пока ток проходит через электромагнит. Телевизоры, компьютеры, автомобили, лифты и копировальные аппараты — вот, где применяют электромагниты, и это далеко не полный список.

Электродвигатели (рис. 33.3) и генераторы жизненно важны в современном мире. Мотор принимает электрическую энергию и использует магнит, чтобы превратить электрическую энергию в кинетическую. Генератор (рис. 33.4), наоборот, преобразует движение, используя магниты, чтобы вырабатывать электричество.

При перемещении габаритных металлических объектов используются грузоподъемные электромагниты (рис. 33.5). С их помощью можно также поднимать и перемещать массивные объекты, например, автомобили перед утилизацией. Они также используются при транспортировке. Так в поездах Европы и Азии электромагниты использу-

ются для перевозки автомобилей. Это помогает поездам двигаться на феноменальных скоростях. Они также необходимы при сортировке металлолома, для отделения чугуна и других черных металлов от цветных.



1. Как взаимодействуют катушки с токами?
2. Как определить, какой торец катушки является северным, а какой южным полюсом?
3. Почему электромагниты широко применяются? Предложите свои варианты применения.
4. Электрический звонок, включенный последовательно с лампой 40 Вт, звонит слишком тихо. Лампой какой мощности (25 Вт или 60 Вт) нужно заменить данную, чтобы звонок стал звенеть громче?
5. Соедините проводами детали (рис. 33.6) так, чтобы можно было нажатием выключателя 1 привести звонок 3 в действие от аккумулятора 2.



Рис. 33.6

Что вы усвоили по данной теме?

Что заинтересовало вас на уроке?	Какие умения вы приобрели?	Какую информацию по теме урока вы бы добавили?	По поводу какой информации у вас возникли вопросы? Какие?

§ 34. Действие магнитного поля на проводник с током. Электродвигатели, электроизмерительные приборы



На этом уроке вы:

- научитесь описывать действие магнитного поля на проводник с током, объяснять устройство и работу электродвигателя, электроизмерительных и электромагнитных приборов.



Ключевые слова:

- ✓ опыты Ампера
- ✓ сила Ампера
- ✓ правило левой руки
- ✓ вектор магнитной индукции
- ✓ электродвигатель
- ✓ электроизмерительные приборы
- ✓ электромагнитное реле



- В повседневной жизни мы постоянно сталкиваемся с действием электрического тока: движение троллейбусов, работа на электрокарах, использование бытовой техники. Как же они работают? Что приводит их в движение?

Ампер, проводя опыты с проводниками, расположенными параллельно и подведенным к ним током (рис. 34.1), доказал, что их взаимодействие осуществляется посредством магнитного поля. Он высказал гипотезу: магнитное поле постоянного магнита должно действовать на проводник с током. Для того чтобы ее проверить, Ампер провел ряд опытов, помещая прямолинейный проводник с током в пространство между полюсами дугообразного магнита (рис. 34.1).

Пропуская ток по проводнику, Ампер установил, что *магнитное поле всегда действует с определенной силой на проводник с током*. Меняя силу тока, Ампер выяснил, что сила действия магнита на проводник с током увеличивается с увеличением силы тока. С увеличением длины проводника с током, находящегося в пространстве между полюсами дугообразного магнита, возрастает сила магнитного взаимодействия. В ходе опытов Ампер установил, что максимальной сила действия магнита на ток становится тогда, когда проводник располагается перпендикулярно силовым линиям магнитного поля, и равна нулю, когда проводник с током устанавливается параллельно силовым линиям поля. Кроме этого, сила действия магнита на проводник с током зависит от самого магнитного поля, создаваемого магнитом. Обобщая результаты опытов, Ампер установил, что *сила, с которой магнитное поле действует на проводник с током, зависит прямо пропорционально от силы тока в проводнике, от длины его активной части (т. е. от длины той части, которая находится в магнитном поле), от величины магнитного поля и зависит от угла расположения проводника в магнитном поле*.

$$F_A = BIl \sin \alpha,$$

Здесь I — сила тока в проводнике, l — длина части проводника, находящейся в магнитном поле, B — вектор магнитной индукции (величина, характеризующая магнитное поле), α — угол между силовыми линиями магнитного поля и силой тока в проводнике.

Силу, с которой магнитное поле действует на проводник с током, называют силой Ампера.



Рис. 34.1

Под вектором магнитной индукции понимают векторную величину, которая является силовой характеристикой магнитного поля. Он обозначается символом \vec{B} .

Ампер установил, что при изменении направления тока и при изменении расположения полюсов магнита меняется направление силы Ампера. Так, в случае, изображенном на рисунке 34.2, сила Ампера направлена влево, но при изменении направления тока в проводнике (при изменении полярности источника) сила Ампера действует вправо и проводник будет выталкиваться из магнита. Аналогично направление силы Ампера меняется при повороте магнита на 90° .

Направление силы Ампера находят по *правилу левой руки*: если левую руку расположить так, чтобы силовые линии магнитного поля входили в ладонь, а четыре пальца руки направить по току, то отставленный под углом 90° большой палец покажет направление силы Ампера (рис. 34.2). Поясним использование этого правила и проиллюстрируем его другим рисунком (рис. 34.3).

Силовые линии магнитного поля между полюсами магнита будут направлены от северного полюса к южному. Именно такое направление укажет магнитная стрелка, помещенная в пространство между полюсами. Значит, чтобы линии входили в ладонь, необходимо отвернуть ее от себя, причем четырьмя пальцами вверх — по направлению тока. Тогда отогнутый большой палец укажет, что проводник будет смещаться вправо, что мы и наблюдаем в этом опыте.

Теперь становится понятно, почему, когда проводник с током перпендикулярен линиям индукции магнитного поля, сила максимальна и равна :

$$F_{\max} = BI \Delta l.$$

Используя данную формулу, легко установить физический смысл вектора магнитной индукции.

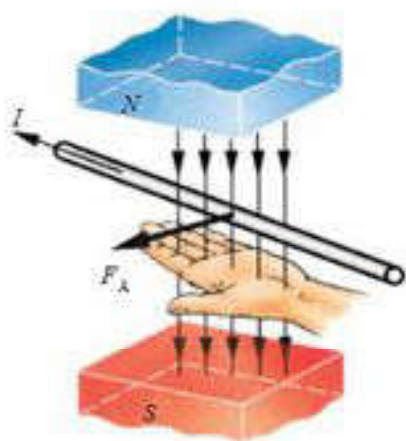


Рис. 34.2

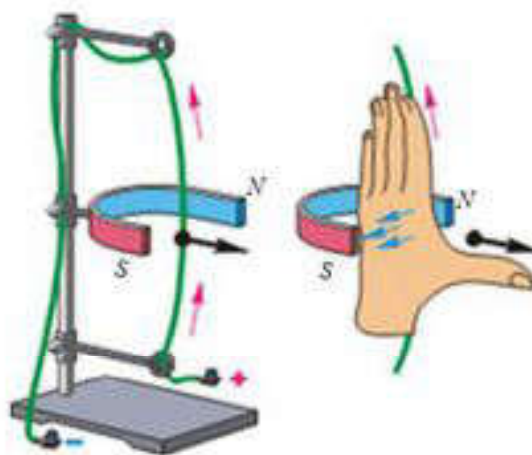
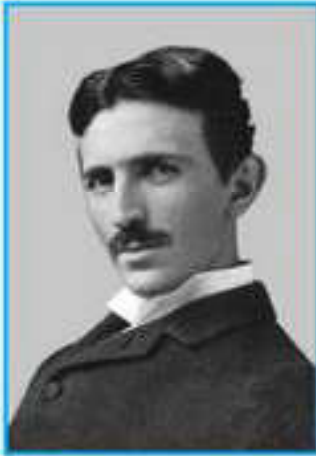


Рис. 34.3



Никола Тесла
(1856—1943)

Под вектором магнитной индукции следует понимать физическую величину, определяемую максимальной силой, с которой магнитное поле действует на проводник длиной 1 м, по которому течет ток 1 А.

$$B = \frac{F_{max}}{I\Delta l}$$

В международной системе единиц индукция магнитного поля измеряется в теслах (Тл):

$$[B] = [Тл] = \left[\frac{Н}{А \cdot м} \right]$$

Эта единица названа в честь сербского физика Николы Тесла.

Тесла — единица измерения индукции магнитного поля в Международной системе единиц, равная индукции такого однородного магнитного поля, в котором на 1 м длины прямого проводника, расположенного перпендикулярно вектору магнитной индукции, с током силой 1 А действует сила 1 Н.



Поместим между полюсами дугообразного магнита проводник с током в виде рамки (рис. 34.4).

Применив в правой и левой части рамки правило левой руки, найдем направление сил Ампера, действующих на них (рис. 34.4, а). Возникнет момент сил, поворачивающий рамку против часовой стрелки, и рамка установится перпендикулярно силовым линиям магнитного поля (рис. 34.4, б). Этот опыт показывает, что магнитное поле оказывает ориентирующее действие на рамку с током.

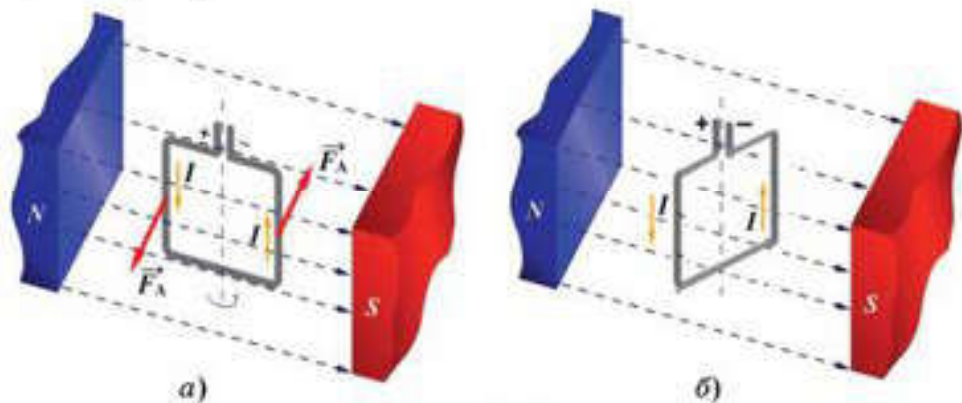


Рис. 34.4



- Что произойдет, если в положении, изображенном на рисунке 34.4, б, ток выключить?

Рамка с током, поворачиваясь в магнитном поле в положении, изображенном на рисунке 34.4, б, будет двигаться с определенной скоростью, и если в этот момент времени ток в ней отключить, то

она, продолжив по инерции свое движение, вернется в начальное положение (рис. 34.4, *а*). Теперь, если снова включить ток, рамка опять, пройдя те же промежуточные положения, повернется в положение (рис. 34.4, *б*), т. е. перпендикулярно силовым линиям магнитного поля. И если поступление тока регулировать так, чтобы он включался в момент (рис. 34.4, *а*) и выключался в момент (рис. 34.4, *б*), то рамка будет вращаться непрерывно. Мы получим *модель электрического двигателя*.

Запомните!

Рамка поворачивается в магнитном поле из-за того, что на правый и левый провод рамки действуют силы Ампера, направленные в противоположные стороны, и относительно вертикальной оси, проходящей через центр рамки, они создают вращающий момент. Именно поэтому рамка и поворачивается.

Электрический двигатель — неоценимое изобретение человека. Благодаря этому устройству наша цивилизация за последние сотни лет ушла далеко вперед. Принцип работы электродвигателя изучают еще со школьной скамьи.

Каков же принцип действия электродвигателя, как он работает и каково его устройство?

На рисунке 34.5, *б* показано устройство электродвигателя, а на рисунке 34.5, *а* представлен принцип действия электродвигателя. Основные части электродвигателя: 1 — якорь (рамка, по которой пропускают ток), 2 — полюса магнита, 3 — корпус двигателя, 4 — щетки, 5 — коллектор, 6 — вентилятор.

Рассмотрим принцип создания механического движения с помощью электричества более подробно. На рисунке 34.5, *а* показан простейший электромотор. В однородном магнитном поле вертикально располагаем проволочную рамку и пропускаем по ней ток. Что происходит? Рамка поворачивается и по инерции двигается какое-то время до достижения горизонтального положения. Это нейтральное положение — мертвая точка — место, где воздействие поля на проводник с током равно нулю.

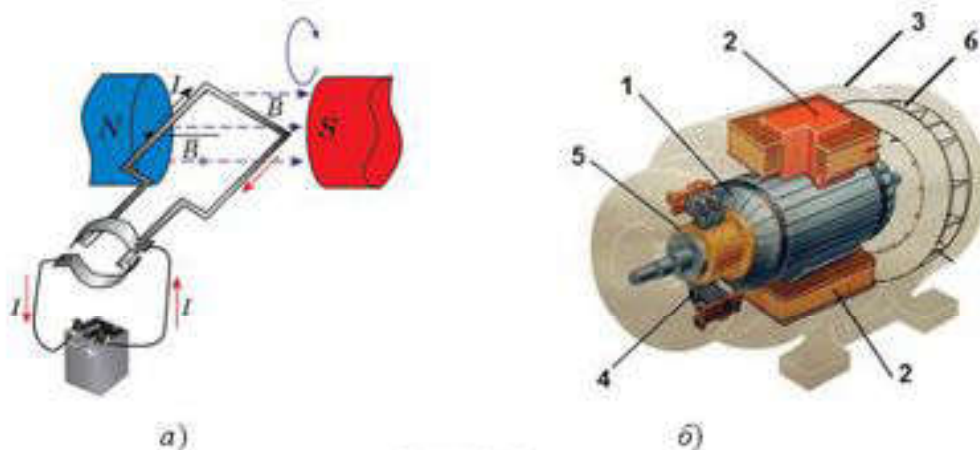


Рис. 34.5

Чтобы движение продолжилось, нужно обеспечить переключение направления тока в рамке в нужный момент. Именно эта роль принадлежит *коллектору* — *каждые пол-оборота переключать направление тока в рамке на противоположное*.

Мы рассмотрели *модель электродвигателя*, которую можно изготовить своими руками.



Борис Семенович
Якоби
(1801–1874)

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Первый электродвигатель изобрел и изготовил Б. С. Якоби. Кроме этого, этот гениальный изобретатель создал первый буквопечатающий телеграфный аппарат и является основателем гальвано пластики.

На основе вращения рамки в магнитном поле работают электронизмерительные приборы. Они делятся на приборы магнитоэлектрической и электромагнитной системы.

Измерительные приборы магнитоэлектрической системы основаны на взаимодействии рамки с током с магнитным полем постоянного магнита (рис. 34.6, *а*). Рамка соединена с легкой стрелкой. По мере увеличения силы измеряемого тока, протекающего по рамке, сама рамка поворачивается в магнитном поле на больший угол, поворачивая при этом и стрелку. На схемах приборы магнитоэлектрической системы обозначаются так, как показано на рисунке 34.6, *б*. Приборы этой системы обладают высокой точностью и чувствительностью.

Существует еще одно применение электромагнитных приборов — *электромагнитное реле*, которое предназначено для управления током большой мощности с помощью тока малой мощности.

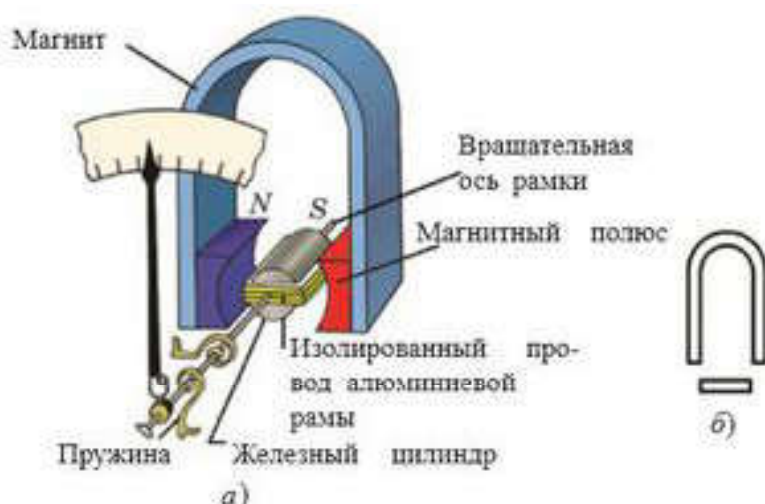


Рис. 34.6

Принцип работы электромагнитных реле основан на применении электромагнитных сил, которые возникают в металлическом сердечнике во время прохождения электрического тока по виткам его катушки. Над сердечником электромагнита устанавливается пластина (подвижный якорь), к которой крепятся от одного до нескольких контактов (рис. 34.7). Напротив закрепленных контактов устанавливают парные им неподвижные контакты.

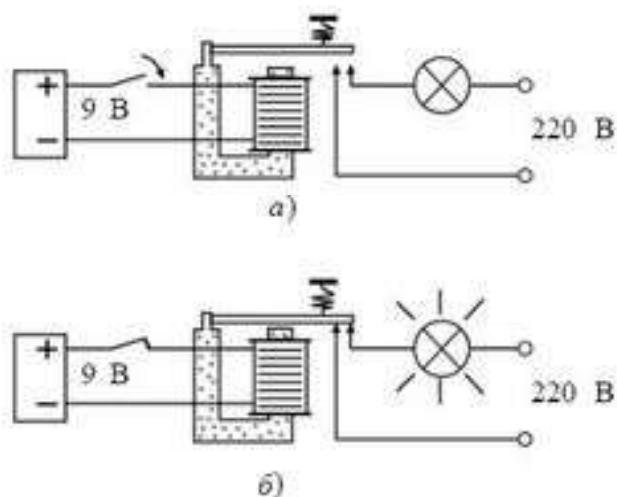


Рис. 34.7

Поддерживать якорь в исходном положении помогает закрепленная пружина. Во время подачи напряжения на электромагнит якорь начинает притягиваться, преодолевая сопротивление пружины, при этом, в зависимости от конструкции имеющегося реле, происходит размыкание или замыкание контактов. Если отключить напряжение, то благодаря пружине якорь вернется в исходное положение. Поэтому лампочка будет либо загораться, либо гаснуть.



1. Какая сила называется силой Ампера?
2. Как находят направление силы Ампера?
3. Каков физический смысл вектора магнитной индукции?
4. Как ведет себя рамка, по которой течет ток, попав в магнитное поле?
5. Где применяют свойство рамки с током поворачиваться в магнитном поле?
6. На рисунке 34.8 изображены четыре проводника с током, находящиеся в магнитном поле. Как движется каждый из этих проводников? Куда направлена сила, действующая на каждый из этих проводников?
7. Прямолинейный провод с током (I) расположен над полюсами подковообразного магнита (рис. 34.9). Будет ли перемещаться провод под действием поля магнита, если он может свободно двигаться во всех направлениях?
8. К подвешенному на тонких нитях кольцевому проводнику, по которому идет ток, поднесли магнит северным полюсом (рис. 34.10). Проводник притянулся. Каково направление тока в проводнике?

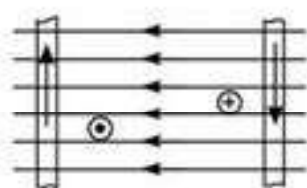


Рис. 34.8

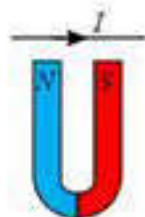


Рис. 34.9

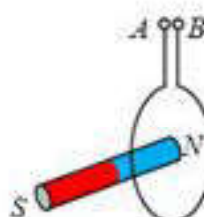


Рис. 34.10

Что вы усвоили по данной теме?

Что заинтересовало вас на уроке?	Какие умения вы приобрели?	Какую информацию по теме урока вы бы добавили?	По поводу какой информации у вас возникли вопросы? Какие?

§ 35. Электромагнитная индукция. Генератор**Ключевые слова:**

- ✓ электромагнитная индукция
- ✓ индукционный ток
- ✓ индукционные генераторы
- ✓ электроэнергетика Казахстана

На этом уроке вы:

- научитесь описывать явление электромагнитной индукции, приводить примеры производства электроэнергии в мире и в Казахстане.



- Вы уже знаете, что электрический ток создает магнитное поле. Как вы думаете, можно ли с помощью магнитного поля получить электрический ток и как это сделать?

После того как Ампер и Эрстед доказали, что вокруг проводника с током возникает магнитное поле, у многих ученых возник естественный вопрос: а нельзя ли с помощью магнитного поля создать электрический ток? Английский физик М. Фарадей 10 лет работал над этой проблемой и в 1831 году смог ее решить.

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

М. Фарадей для того, чтобы не забыть о проблеме создания тока с помощью магнитного поля, постоянно носил в кармане своего пиджака магнит.

Для решения проблемы Фарадей провел опыт: вокруг железного кольца были намотаны две изолированные друг от друга катушки из медной проволоки, причем одна проволока была обмотана вокруг одной

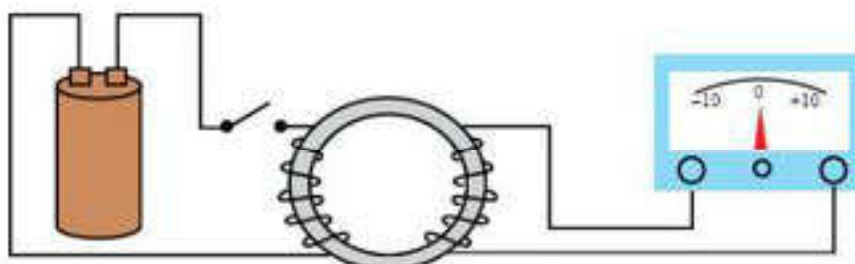


Рис. 35.1

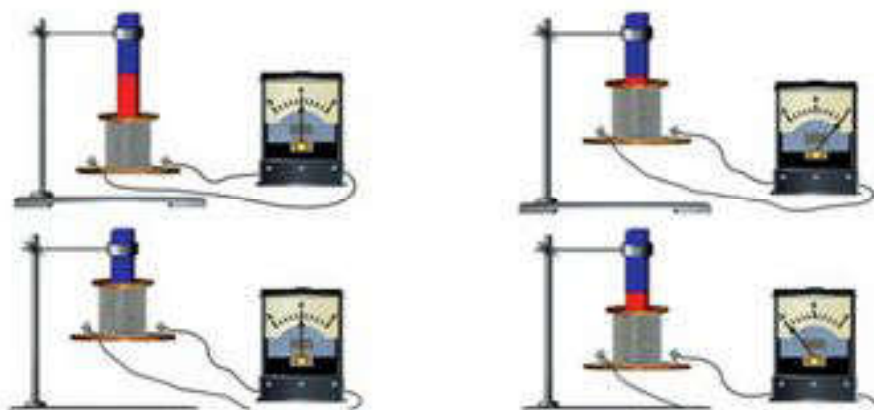


Рис. 35.2

половины кольца, а другая — вокруг другой (рис. 35.1). Через одну проволоку пропускался ток от гальванической батареи, а концы другой были соединены с гальванометром. Ученый обнаружил, что в моменты включения и выключения тока в первой катушке (в эти моменты железное кольцо намагничивалось или размагничивалось) стрелка гальванометра отклонялась от равновесного положения и некоторое время колебалась, а затем быстро останавливалась, что означало только одно: в нейтральной катушке в моменты, когда магнитное поле менялось, возникали мгновенные токи.

Затем Фарадей провел другой опыт. Он внес в катушку стальной магнит (рис. 35.2), приближение и удаление которого вызвало появление в катушке индукционного тока. Фарадей сделал вывод: любое переменное магнитное поле наводит в замкнутом контуре электрический ток. Эффект этого тока такой же, как электрический ток, полученный от обычных гальванических элементов.

Возникновение тока в проводнике, движущемся в магнитном поле (или в неподвижном проводнике, вокруг которого изменяется магнитное поле), называется электромагнитной индукцией. Ток, возникающий при этом, называется индукционным, а устройства для его получения — индукционными электрогенераторами. В таких генераторах происходит превращение механической энергии движущегося проводника (или магнита) в энергию электрического тока. Более 100 лет этот способ является главным для получения электроэнергии в промышленных масштабах.

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Термин “индукция” происходит от латинского “индукцио”, что означает “наведение” (например, навести на мысль, или вызвать мысль). Наведение, возникновение, образование индукционного тока — синонимы.

Основные части индукционного генератора изображены на рисунке 35.3. *Статор* — неподвижная часть генератора. В опыте с рамкой

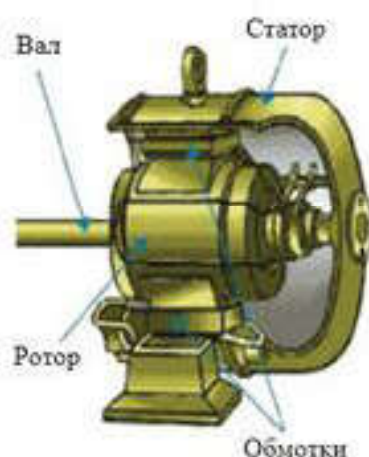


Рис. 35.3

статором являлись полюсы магнита и чашечки-контакты, между которыми находится рамка. Вращающаяся часть генератора — *ротор*. Как правило, он содержит не одну проволочную рамку, а множество проволочных обмоток. В наиболее мощных генераторах проволочные обмотки неподвижны и закреплены на статоре, а движется магнитное поле вместе с расположенными на роторе электромагнитами. Так устроены все генераторы крупных электростанций.

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Вода, падающая с плотины гидроэлектростанции, вращает вал генератора с частотой 1—2 оборота в секунду. Если бы ротор имел только одну индукционную обмотку, то получался бы переменный ток частотой 2—4 Гц, малоприспособный для промышленных нужд. Поэтому используют несколько десятков индукционных обмоток, чтобы получить частоту 50 Гц.



- Если магнит будет покоиться, а катушка относительно него будет двигаться, то и в этом случае магнитное поле меняется. Появится ли индукционный ток? Проверьте это самостоятельно, используя схему на рисунке 35.4.

Можно провести опыт с двумя катушками, по одной из которых идет ток, а другая подключена к гальванометру. При движении любой из катушек (рис. 35.5) во второй возникал индукционный ток.

Эти многочисленные опыты говорят о том, что при изменении магнитного поля в любом замкнутом контуре возникает электрический ток, который назвали индукционным.



Рис. 35.4



Рис. 35.5

М. Фарадей, меняя скорость выдвижения и вдвижения магнита в катушку, установил, что сила индукционного тока становится больше, если увеличивается скорость вдвижения и выдвижения магнита.

Направление индукционного тока находят по правилу Ленца:

Индукционный ток, возникающий в замкнутом контуре, находящемся в изменяющемся магнитном поле, всегда направлен так, что он своим (собственным) магнитным полем старается скомпенсировать изменение внешнего магнитного поля.

Это правило было сформулировано русским физиком Э. Ленцем.

Рассмотрим несколько случаев применения правила Ленца (рис. 35.6).

На рисунке 35.6, а магнит вдвигают в катушку, и поэтому его магнитное поле, пронизывающее витки катушки, возрастает. Следовательно, в катушке появится индукционный ток такого направления, чтобы его магнитное поле уменьшало внешнее поле (т. е. направление вверх). Затем, используя правило обхвата правой рукой, находим направление индукционного тока в катушке (он направлен против часовой стрелки).



- Опираясь на приведенные размышления, объясните, почему индукционный ток в катушке направлен именно так, как указано на рисунках 35.6, б, в, г.

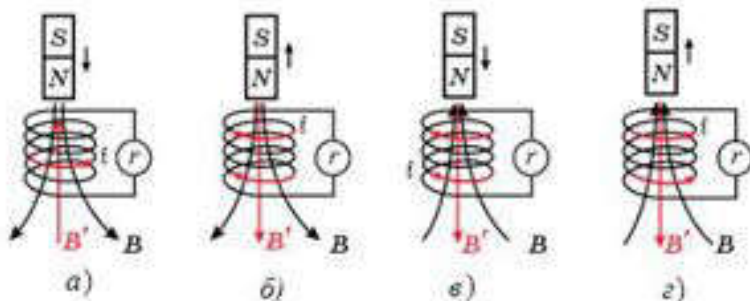


Рис. 35.6

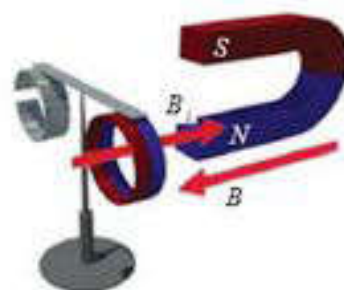


Рис. 35.7

На рисунке 35.7 изображен прибор для демонстрации правила Ленца. Хорошо видно, что при вдвижении магнита внутрь замкнутого алюминиевого кольца в нем возникает ток, создающий собственное магнитное поле, направленное навстречу внешнему полю. Из-за этого кольцо будет отталкиваться от магнита. Если же магнит будем вытягивать из кольца, то кольцо будет двигаться за ним.



Используя правило Ленца, объясните, почему наблюдается такое движение кольца. Если же магнит вносить внутрь разомкнутого кольца или выдвигать из него, то прибор останется неподвижным. Объясните, почему так происходит.

Явление электромагнитной индукции, открытое М. Фарадеем, лежит в основе работы индукционных генераторов, вырабатывающих электроэнергию. Эти генераторы устанавливаются на электростанциях. Электроэнергия вырабатывается на электростанциях, использующих энергию падающей воды (гидроэлектростанции), энергию топлива (теплоэлектростанции), энергию ветра (ветряные электростанции), энергию атома (атомные электростанции).

Суммарная установленная мощность всех электростанций Казахстана составляет 20 тыс. МВт, а фактическая мощность — 15 тыс. МВт. Казахстан вырабатывает 91,9 млрд. кВт·час электроэнергии в год, т. е. электровооруженность Казахстана 4 тыс. кВт·час/чел. в год против 6,7 — в России, 14 — США, 3,5 — в КНР.

К сожалению, выработка большинства электростанций не достигает установленной мощности. Только в 2012 году Казахстан достиг уровня выработки электроэнергии 1991 года (87,4 млрд. кВт·час).

Выработка по типу электростанций распределяется следующим образом: около 72% электроэнергии в Казахстане вырабатывается из угля, 12,3% — из гидроресурсов, 10,6% — из газа и 4,9% — из нефти. Таким образом, этими четырьмя видами электростанций вырабатывается 99,8% электроэнергии, а на альтернативные источники приходится менее 0,2%. Сейчас в энергетической отрасли разрабатываются проекты создания и использования альтернативных источников электроэнергии.

К потребителям электроэнергии относятся промышленность (около 70%), бытовые приборы (около 10%), транспорт (6%), сфера услуг (8%).

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Знаете ли вы, что мощные индукционные генераторы вырабатывают ток с напряжением 15—20 тыс. вольт и обладают КПД 97—98%?



1. Определите направление индукционного тока в катушке и расставьте полярность на клеммах (рис. 35.8).
2. Определите направление движения магнита в случаях, изображенных на рисунке 35.9.

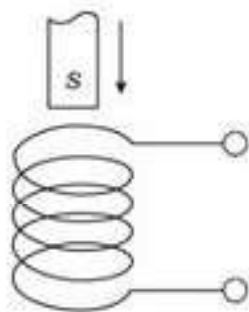


Рис. 35.8

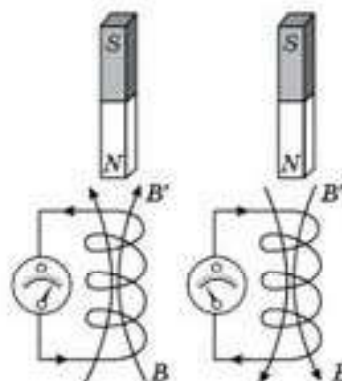


Рис. 35.9

- 3. Полосовой магнит подвесили к пружине и заставили колебаться. При этом свободным концом он входит и выходит в катушку индуктивности, клеммы которой присоединены к осциллографу (рис. 35.10). Что означает картина, наблюдаемая на экране осциллографа? (Осциллограф — это прибор, позволяющий наблюдать колебательные процессы).
- 4. Замкнутое медное кольцо подвешено на тонких длинных нитях вблизи соленоида, закрепленного на столе и подключенного к источнику постоянного тока (рис. 35.11). Первоначально электрическая цепь катушки разомкнута. Как будет двигаться кольцо при замыкании цепи? Ответ поясните, указав, какие физические явления, закономерности вы использовали для объяснения.



Рис. 35.10

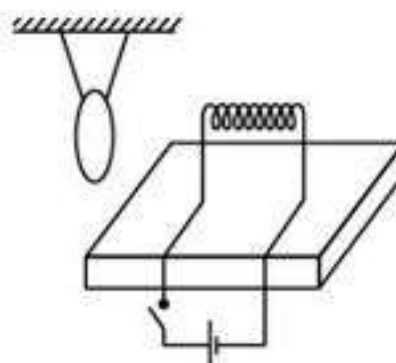


Рис. 35.11

Что вы усвоили по данной теме?

Что заинтересовало вас на уроке?	Какие умения вы приобрели?	Какую информацию по теме урока вы бы добавили?	По поводу какой информации у вас возникли вопросы? Какие?

Самое важное в главе

Электромагнитные явления

Прохождение тока по проводнику всегда сопровождается появлением **магнитного поля**. Изображают магнитное поле с помощью силовых линий. Силовые линии магнитного поля — замкнутые кривые, охватывающие проводник.

Направление силовой линии магнитного поля находят по правилу обхвата правой рукой. Если большой палец правой руки направить по направлению тока, то 4 пальца, обхватившие проводник, покажут направление силовых линий магнитного поля. В эту же сторону указывает северный конец маленькой магнитной стрелки, помещенной в изучаемую точку поля. При изменении направления тока в проводнике направление силовых линий меняется на противоположное.

Электромагниты — это проводники, намотанные на катушки, внутри которых имеется сердечник из железа или стали. Электромагниты способны запасать энергию магнитного поля.

Постоянные магниты — это тела, способные притягивать предметы из железа, стали и некоторых других материалов и длительное время сохраняющие это свойство. У магнитов имеются два полюса — северный и южный. На полюсах магнитное поле наиболее сильное. Силовые линии поля постоянного магнита являются замкнутыми. Они выходят из его северного полюса и входят в южный, замыкаясь внутри магнита.

Земля, а также некоторые другие небесные тела являются постоянными магнитами, т. е. имеют магнитное поле.

Магнитное поле действует на движущиеся заряженные частицы и, как следствие, на проводники с током. На этом явлении основано действие электронизмерительных приборов и электродвигателей.

Все электрические двигатели имеют вращающуюся часть (ротор) и неподвижную часть (статор). В зависимости от назначения в них размещают электромагниты или постоянные магниты, а также коллектор — устройство для регулирования поступления тока в нужные моменты во время каждого оборота ротора.

Электромагнитная индукция — явление возникновения индукционного тока в проводнике, движущемся в магнитном поле, или в неподвижном проводнике, находящемся в переменном (изменяющемся) магнитном поле.

Световые явления

ГЛАВА

7

С древних времен люди размышляли о природе света, который и в наше время играет важную роль.

Как законы распространения света применяются в различных сферах жизни?



Различные виды зеркал, линзы используются нами каждый день.

Каким образом можно получить изображение?



В нашей повседневной жизни мы часто встречаемся с разными оптическими явлениями: радуга, дисперсия, преломление и отражение света, миражи, затмения.

Как люди используют эти явления?



§ 36. Закон прямолинейного распространения света



Ключевые слова:

- ✓ солнечный свет
- ✓ источники света
- ✓ прямолинейное распространение света
- ✓ затмения
- ✓ тени

На этом уроке вы:

- научитесь графически изображать образование теней, солнечных и лунных затмений.



- Наверняка, каждый из вас наблюдал, как лучи света, пересекаясь друг с другом, продолжали свое распространение, не меняя направления, двигаясь дальше по прямой. Как объяснить этот факт?

Световые явления играют в нашей жизни очень важную роль. Свет освещает предметы, нагревает тела, оказывает химическое действие, свет может вырывать из вещества электроны, из-за чего возникает электрический ток. Световая энергия на Земле усваивается листьями растений, преобразуется в электрическую энергию солнечными батареями, обогревает дома, теплицы.

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Всего за три дня Солнце отправляет столько энергии на Землю, сколько ее содержится во всех существующих запасах ископаемых топлива, а за одну секунду — 170 млрд. Дж. Основная часть данной энергии рассеивается и поглощается атмосферой, особенно облаками, и лишь ее треть достигает поверхности планеты. Вся энергия, которую Солнце испускает, превышает ту ее часть, которую Земля получает, в 5 млрд. раз. Но даже такая малая величина в 1600 раз превышает энергию, которую могут дать другие источники, взятые вместе.

Что же из себя представляет свет? Размышлять о природе света начали еще в древние времена. Первые гипотезы были достаточно просты. Так, Аристотель считал, что свет — это действие, исходящее из глаз. Оно как бы ощупывает предметы, доставляя наблюдателю информацию об их форме и качестве. Но он не мог объяснить, почему же в таком случае человек не видит в темноте. В школе Пифагора утверждали, что лучи Солнца “проникают через густой и холодный эфир”, а глаз испускает особые “флюиды”, идущие к предметам, и посредством их человек видит. Демокрит считал, что зрение обусловлено попаданием в глаз мелких частиц, исходящих из предмета, т. е. с каждого предмета

непрерывно срываются оболочки, подобные предмету. Эти оболочки — “образы” предметов, попадая в глаз, вызывают ощущение формы и цвета предмета. До XVII века естествоиспытатели считали, что цвета являются результатом смешивания света с темнотой в разных пропорциях.

В 1672 году английский физик И. Ньютон создал корпускулярную теорию света. Согласно ей, свет — это поток мелких быстро летящих частиц (корпускул), испускаемых светящимися веществами. Эта теория хорошо объясняла отражение и преломление света, его прямолинейное распространение, но волновые свойства света не объясняла. В 1690 году голландский физик Г. Х. Гюйгенс создал волновую теорию света, согласно которой свет представлял собой распространение колебаний особой среды — эфира.

Теперь мы знаем, что свет — это электромагнитное излучение, распространяющееся со скоростью 300 000 км/с. Его создают источники света, которые излучают свет отдельными порциями — квантами (фотонами).

Источники света — это тела, испускающие видимое излучение. Различают тепловые, люминесцентные и светодиодные источники света.

Любое вещество, нагретое до определенной, характерной для него, температуры, начинает светиться. Таким образом, горячие тела являются источниками света. Их называют *тепловыми источниками света*. Примерами таких источников света являются Солнце, горящая древесина, лампа накаливания и др. (рис. 36.1).



Рис. 36.1

Однако бывают и *холодные источники света*. Они испускают видимое излучение (свет) при обычной для земных температуре окружающей среды. Т. е. холодные источники света — это тела, светящиеся при температуре, близкой к комнатной. Например, энергосберегающие лампы, экран телевизора, экран компьютера или мобильного телефона заметно светятся, хотя они и не нагреты (рис. 36.2). Эти источники преобразуют различные виды энергии в световую.

Холодными источниками света можно назвать также лампы дневного света. Есть даже светящиеся живые организмы! Все они, разумеется,



Рис. 36.2

также являются “холодными” источниками света. Так, летней ночью в лесу можно увидеть, как “перемигиваются” светлячки. К светящимся организмам также можно отнести некоторые глубоководные рыбы (рис. 36.3).



Рис. 36.3

Светодиодные источники получают с помощью полупроводниковых кристаллов.

Различают естественные и искусственные источники света. **Естественные источники света** — это природные материальные объекты и явления, основным свойством которых является способность испускать видимый свет. В отличие от естественных, **искусственные источники света** являются продуктом производства человека. В таблице 36.1 приведены примеры естественных и искусственных источников света.

Таблица 36.1

Источники света	
<p>Естественные:</p> <ul style="list-style-type: none"> Солнце и звезды Полярное сияние Святающиеся насекомые Глубоководные рыбы Растения, гнилушки Молния, Фосфор 	<p>Искусственные:</p> <ul style="list-style-type: none"> Костер, свечи, факелы Электрические лампы Рекламные газосветные трубки Свечение экрана ТВ Люминесцентные краски

Многие тела светятся, но не потому, что являются источниками света, а потому, что отражают падающий на них свет, например, Луна, зеркала.

В физике часто используют понятие точечного источника света. Что это такое?

Точечный источник света — это светящееся тело, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь. Точечным источником света можно считать звезды, пламя свечи, фонарик и т. д. Понятие точечного источника необходимо для упрощения изучения световых явлений.

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

В XVIII в. англичане, подплыв к острову Куба, увидели ночью в лесу множество светящихся огоньков и повернули обратно. Они подумали, что на острове живет много людей. А на самом деле, это был свет, излучаемый светлячками.

Известно, что американские ученые делали операции раненым во время испанско-американской войны при свете светлячков.

Процессы распространения света изучаются в разделе физики, который называется *геометрическая оптика*. Этот раздел опирается на законы геометрии и не рассматривает саму природу света.

Одним из основных понятий геометрической оптики является понятие *светового луча*. *Световой луч — это линия, вдоль которой распространяется световая энергия.* Световой луч берет начало на источнике света (рис. 36.4).

Законы геометрической оптики были установлены экспериментально, в основном при наблюдениях за световыми лучами, и очень давно.

В геометрической оптике существуют *четыре основных закона*, которые описывают распространение света. Это *законы прямолинейного распространения света, закон независимого распространения света, законы отражения и законы преломления света*.

Закон прямолинейного распространения света: в однородной прозрачной среде свет распространяется прямолинейно.



Рис. 36.4

Это вы знаете

Вода — прозрачная среда. Свет проходит через нее, поэтому мы видим предметы, находящиеся в ней. Окна домов также прозрачны. Они пропускают свет. Поэтому мы видим предметы через стекло. Стены домов не прозрачны. Через стены домов свет не проходит, поэтому мы не видим сквозь стены.



- Какое отношение имеет сказанное к тому, что мы видим на фото (рис. 36.5)? Как с помощью этой фотографии доказать прямолинейность распространения света?
- Есть ли на фото (рис. 36.5) среды, пропускающие и не пропускающие свет? Как вы это определили?
- Есть ли различие между темнотой и тенью?
- Что с помощью фотографии (рис. 36.6) можно доказать?



Рис. 36.5



Рис. 36.6

Прямолинейное распространение света позволяет объяснить образование теней и полутеней. *Тень* — это область пространства за непрозрачным предметом, куда не попадает световая энергия. В яркий солнечный день отчетливо видны тени людей, деревьев, зданий и т. д. Если взять точечный источник света и на пути светового пучка, идущего от него, поместить непрозрачный предмет, то за предметом на экране появится тень, повторяющая контур предмета (рис. 36.7). Если источник света будет протяженным, то за предметом образуются полутени. Если же непрозрачный предмет освещается двумя источниками света, то образуются полутени. Одна из них полная тень, т. е. область пространства, куда не попадает свет ни от одного источника. Две другие тени менее темные, потому что в их область проникает свет от одного из источников. Эти тени называются *полутенями*.

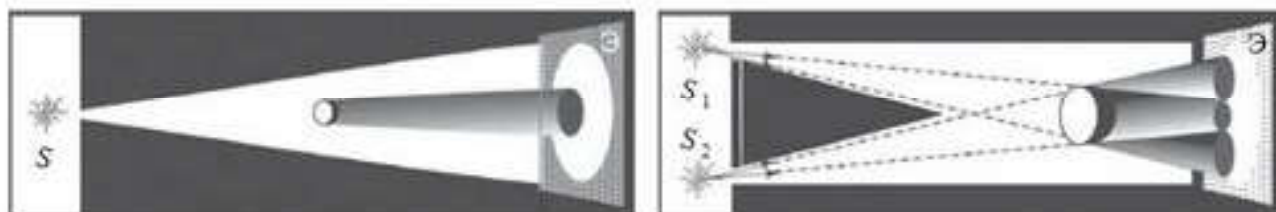


Рис. 36.7

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

300 лет назад до н. э. древнегреческий философ Евклид первым объяснил образование теней, считая, что свет распространяется прямолинейно. Если между источником света и глазом поместить непрозрачный предмет, то распространяющийся по прямой линии свет не может обогнуть предмет, встретившийся на его пути, и поэтому источник света не виден. В результате в пространстве образуется область, куда свет не попадает, т. е. образуется тень. Древние египтяне и греки при строительстве зданий с колоннами учитывали прямолинейность распространения света.

Солнечные и лунные затмения. Закон прямолинейного распространения света позволил объяснить образование солнечных и лунных затмений. Планеты и их спутники, освещаемые Солнцем, отбрасывают тени и полутени. Так, например, максимальная длина конуса лунной тени 384 000 км, а конус земной тени простирается в пространстве на 33 млн. км. Если Луна при своем движении вокруг Земли окажется между Землей и Солнцем, то она может закрыть собой Солнце, и наступит солнечное затмение, которое может быть полным или частичным (рис. 36.8). Его видно только в тех местах, куда падает тень (полное затмение) или полутень Луны (частичное затмение). Полное солнечное затмение может продолжаться разное время, но обычно длится около 2—3 мин. Солнечные затмения наблюдаются только во время новолуний.

Если бы Луна двигалась вокруг Земли по орбите, плоскость которой совпадала с плоскостью орбиты Земли при ее движении вокруг Солнца, то они встречались бы каждое новолуние. Но плоскость лунной орбиты составляет угол 5° по отношению к плоскости земной орбиты, из-за чего солнечное затмение может произойти только тогда, когда Луна окажется вблизи пересечения плоскостей орбит Земли и Луны. Полное солнечное затмение наблюдается на Земле один раз в полтора года, но в одном и том же месте Земли происходит очень редко. Лунное затмение происходит, когда тень от Земли падает на Луну (рис. 36.9). Так как



Рис. 36.8

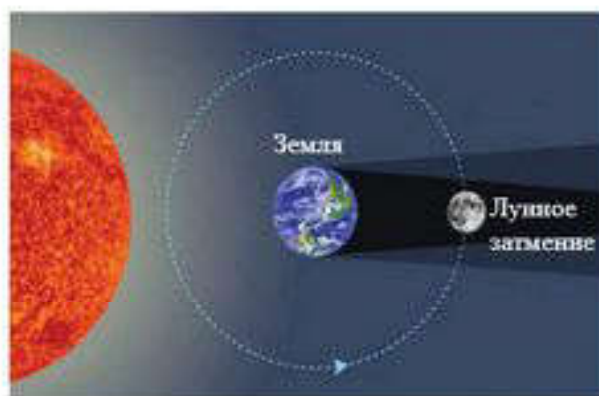


Рис. 36.9



Рис. 36.10

движение Земли и Луны хорошо изучено, то время затмений легко рассчитать.

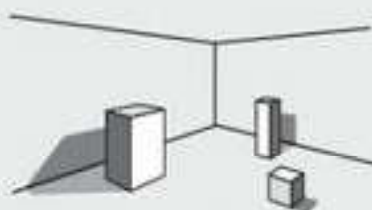
Закон независимого распространения лучей — второй закон геометрической оптики, который утверждает, что световые лучи распространяются независимо друг от друга и при встрече не оказывают влияние на дальнейшее распространение друг друга (рис. 36.10).



1. Используя рисунок 36.11, а, объясните, как художники использовали закон прямолинейного распространения света? Как вы думаете, где расположен источник света?
2. Можно ли, используя закон прямолинейного распространения света, найти положение источника света на рисунке 36.11, б, в?



а)



б)



в)

Рис. 36.11



1. Чем тепловые источники света отличаются от холодных?
2. Как возникают тени?
3. Что понимают под полутенью?
4. От чего зависит размер тени от предмета?
5. На лампы дневного света можно смотреть спокойно: они не "режут" глаза. Чем можно объяснить такое их свойство?
6. Как надо расположить источники света, чтобы во время операции тень от рук хирурга не закрывала место операции?
7. Почему парты в классе необходимо располагать так, чтобы свет падал слева?

Что вы усвоили по данной теме?

Что вы открыли для себя на уроке?	Какой опыт (эксперимент) заставил вас задуматься?	Где проявились ваши творческие способности?	Какие личные интересы проявились и на что они теперь направлены?

§ 37. Отражение света. Закон отражения света. Плоское зеркало



На этом уроке вы:

- изучите явление отражения света и установите экспериментально его законы.



Ключевые слова:

- ✓ отражение света
- ✓ зеркальная и матовая поверхности
- ✓ рассеянное и зеркальное отражение
- ✓ плоское зеркало

Каждый из нас в детстве, играя с зеркальцем, “пускал солнечных зайчиков”. Было интересно наблюдать за тем, как менялось направление солнечного луча при изменении расположения зеркальца (рис. 37.1). При этом мы совсем не задумывались о том, почему именно так движется солнечный зайчик.

Каждый день перед тем, как выйти из дома, мы умываемся, расчесываемся. При этом нам не обойтись без зеркала, в котором мы рассматриваем свое изображение (рис. 37.2). Зеркала прочно вошли в нашу жизнь.

Во всех этих случаях мы встречаемся с явлением отражения света.

Отражением света называется явление изменения направления хода светового луча, наблюдаемое на границе двух сред. При этом луч света возвращается в исходную среду.

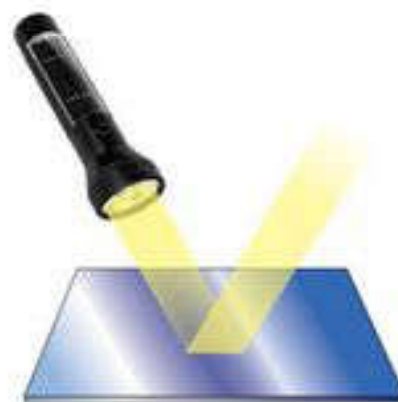


Рис. 37.1



Рис. 37.2



Рассмотрим это явление подробнее. Для этого проведем эксперимент. Направим на небольшое зеркало, укрепленное на специальной шайбе (рис. 37.3) световой луч 1 под углом 50° от перпендикуляра к зеркалу. Такой луч называют *падающим лучом*, а угол называют *углом падения* и обозначают символом (α) . Мы увидим, что луч света отклонится от прежнего направления и вернется в исходную среду (воздух) под углом 50° от



Рис. 37.3



перпендикуляра к зеркалу. Этот луч 2 называют *отраженным лучом*, а угол называют *углом отражения* и обозначают символом (γ). Меняя углы падения, мы обнаружим, что каждый раз угол падения будет равен углу отражения. Кроме этого, можно заметить, что луч падающий и отраженный распространяются в одной плоскости (в нашем случае это плоскость, в которой расположена шайба).

Таким образом, мы экспериментально установили *два закона отражения света* :

1. *Луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр, восстановленный к границе раздела двух сред в точке падения луча, лежат в одной плоскости.*

2. *Угол падения равен углу отражения:*

$$\alpha = \gamma. \quad (37.1)$$

Различают *два вида отражения* : правильное (или зеркальное) и рассеянное (или диффузное). **Правильное** , или **зеркальное, отражение** — это отражение, которое происходит от идеально гладкой, отполированной поверхности. *Поверхности, отражающие параллельные лучи в виде параллельных лучей, называются зеркальными поверхностями* . Различные зеркальные поверхности имеют разную интенсивность отражения. Так, например, серебряное отполированное зеркало отражает 96% падающего света, а гладкая отполированная черная поверхность отражает всего 1% световой энергии. При этом отражении пучок параллельных световых лучей отражается и продолжает распространяться параллельным пучком (рис. 37.4).

Рассеянное, или диффузное, отражение — это отражение, происходящее от шероховатой поверхности (у такой поверхности неровности велики). При диффузном отражении параллельный пучок света отражается под разными углами, рассеиваясь во все стороны. Поверхность, равномерно рассеивающая свет во все стороны, называется *матовой* .



Рис. 37.4



Рис. 37.5



Рис. 37.6

Таких поверхностей нет, но есть близкие к ним, например мел. Если смотреть на шероховатую поверхность любого тела, освещенную светом, то мы видим эту поверхность (рис. 37.5); если же смотреть на зеркальную поверхность чистого зеркала, то мы ее не видим, зато видим в зеркале свое изображение и изображение окружающих предметов (рис. 37.6).

На рисунке 37.7 хорошо видна разница между диффузным и зеркальным отражением.

Именно поэтому поверхности экранов, на которые проектируются кинофильмы, делаются не зеркальными, а шероховатыми. Лучше всего свет рассеивается от поверхностей с очень малыми неровностями, например, от чертежной или писчей бумаги, гипса, мела и т. п. Кроме того, свет сильно рассеивает частицы пыли или тумана. Рассеянный свет меньше утомляет глаз человека, чем отраженный.

Плоское зеркало. Явление зеркального отражения очень широко используется в зеркалах. Зеркала бывают *плоскими* и *сферическими*. *Плоским зеркалом* называется гладкая отполированная поверхность, покрытая отражающим слоем, с радиусом кривизны, стремящимся к бесконечности. Построим изображение светящейся точки S в плоском зеркале Z (рис. 37.8). Направим на зеркало два луча 1 и 2. Они оба отражаются от зеркала, а нам кажется, что они выходят из точки S_1 , которая и будет изображением светящейся точки S .

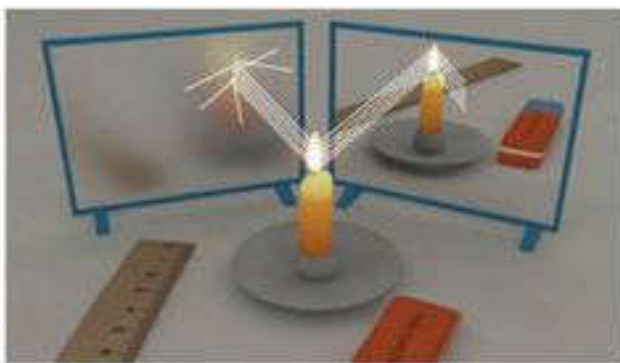


Рис. 37.7

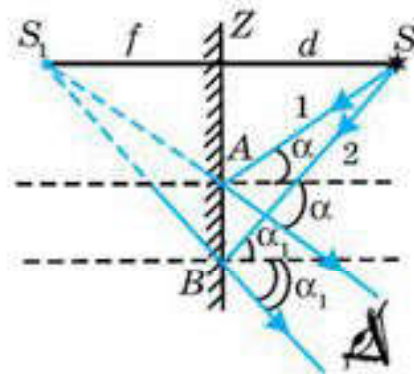
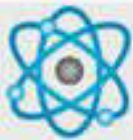


Рис. 37.8



Попробуйте самостоятельно доказать, что расстояние от светящейся точки S до зеркала Z равно расстоянию от зеркала Z до изображения светящейся точки S' , т. е. докажите, что

$$d = f. \quad (37.2)$$

Это формула плоского зеркала. Для вывода формулы плоского зеркала воспользуйтесь законами отражения света и знаниями по геометрии. Плоское зеркало дает мнимое изображение предмета.

Изображение в плоском зеркале является его зеркальной симметрией (рис. 37.9).

Плоское зеркало применяют для зеркального отсчета (рис. 37.10). Допустим, что нам необходимо измерить малую величину. Пусть луч света падает на зеркало под углом 90° . В этом случае отраженный луч пойдет в этом же направлении, но в обратную сторону. Если зеркало по вернулось на угол ϕ , то луч отклонится на угол 2ϕ . При чем $\text{tg } 2\phi = \frac{d}{l}$. Если угол очень мал, то зеркало помещают в тубус микроскопа.

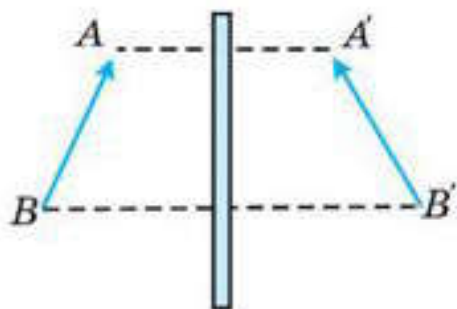


Рис. 37.9

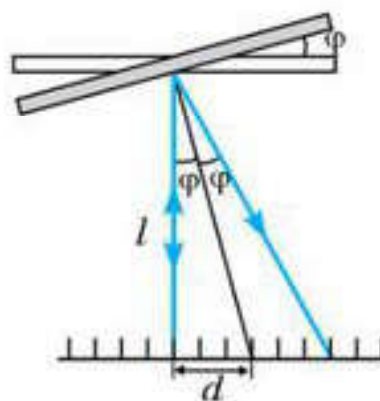


Рис. 37.10

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Рассмотрим такой вариант эксперимента: перед двумя взаимно перпендикулярными зеркалами расположен источник света (рис. 37.11).

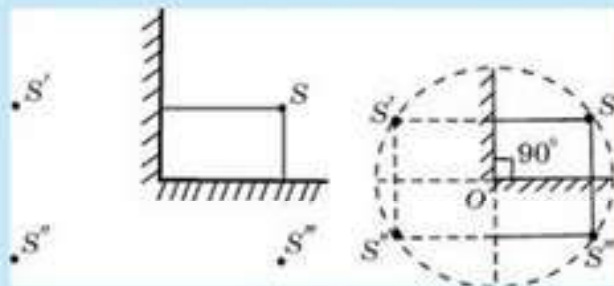


Рис. 37.11

Сколько изображений источника мы увидим? Эксперимент показывает, что изображений будет три. Как же это объяснить? Пусть S' — это изображение светящейся точки S в первом зеркале, S'' — это изображение светящейся точки во втором зеркале, S''' — это изображение изображения S' во втором зеркале. Оно совпадает с изображением изображения S'' в первом зеркале. Итого получилось три изображения, которые расположены на окружности, центр которой расположен в точке O . Тогда легко получить формулу для расчета числа изображений в двух взаимно перпендикулярно расположенных зеркалах: $N = \frac{360^\circ}{90^\circ} - 1$.

В общем случае, когда зеркала расположены друг к другу под произвольным углом α , число изображений находится по формуле:

$$N = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1, \quad (37.3)$$

Проверьте это на опыте.

Плоские зеркала устанавливают в перископах — оптических приборах, предназначенных для наблюдений из укрытий (рис. 37.12).

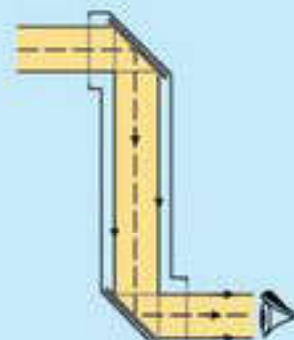


Рис. 37.12

1. Какое явление называется отражением света? Каким законам оно подчиняется?
2. Какие виды отражения вы знаете?
3. Какое зеркало называется плоским?
- *4. Как вывести формулу плоского зеркала?
5. Какое изображение дает плоское зеркало?
- *6. Может ли плоское зеркало давать действительное изображение?
7. Какой угол называется углом падения?
8. Какой угол называется углом отражения?
9. В чем заключается закон отражения света?

Примеры решения задач

1. Предмет AB и зеркало CD расположены так, как показано на рисунке 37.13, а. Постройте изображение предмета AB в зеркале. Где должен находиться глаз, чтобы можно было увидеть изображение всего предмета?

Решение. Лучи, исходящие из точки A , после отражения от зеркала будут распространяться внутри полосы, ограниченной прямыми CC_1 и DD_1 (рис. 37.13, б). Лучи, исходящие из точки B , будут распространяться внутри полосы, ограниченной прямыми CC_2 и DD_2 (это легко определить, если воспользоваться законами отражения). Только между прямыми CC_1 и DD_2 в каждой точке пространства будут встречаться лучи, исходящие от всех точек предмета. Глаз может видеть изображение всего предмета в случае, если он будет находиться внутри полосы, заключенной между лучами CC_1 и DD_2 . Из этой задачи следует другая частная задача: где нужно расположить плоское зеркало, чтобы человек увидел себя в полный рост?

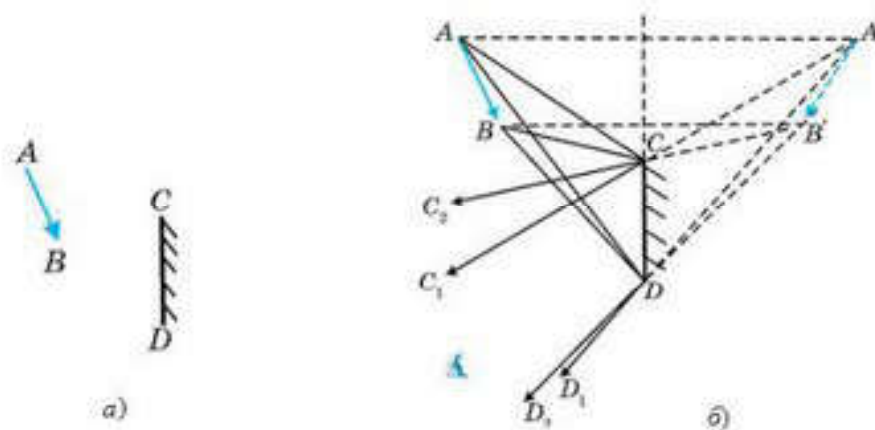


Рис. 37.13

2. Солнечные лучи, отражаясь от горизонтально лежащего зеркала, падают на вертикальный экран. На горизонтальном зеркале расположен плоский предмет. Опишите характер тени, который отразится на вертикальном экране.

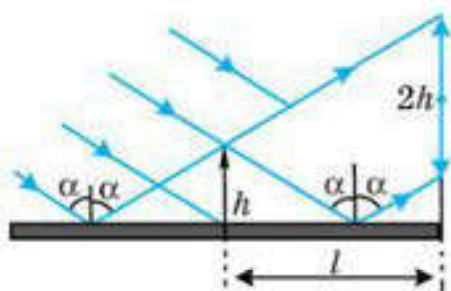


Рис. 37.14

Решение. Обозначим высоту предмета через h , а через l — расстояние от предмета до экрана. Пусть свет падает на зеркало под углом α . Рассмотрим два случая.

1) $l > 2h \cdot \operatorname{tg} \alpha$. Тогда на экране будут видны две тени, прямая и перевернутая, сложенные основаниями (рис. 37.14). Общая длина тени будет равна $2h$. Тень освещена солнечными лучами и выделяется по контрасту с остальными участками экрана, освещенными и прямыми, и отраженными лучами.

2) $l < 2h \cdot \operatorname{tg} \alpha$. В этом случае длина тени будет меньше $2h$, причем на ней будут участки, не освещенные ни прямыми, ни отраженными лучами (докажите самостоятельно).



Упражнение 21

1. Карандаш находится на расстоянии 25 см от плоского зеркала. На каком расстоянии от карандаша окажется его изображение, если карандаш отодвинуть от зеркала на 10 см? (Ответ: 70 см)
2. Как изменится расстояние между предметом и его изображением в плоском зеркале, если зеркало расположить там, где было мнимое изображение предмета? (Ответ: увеличится в 2 раза)
- *3. Сколько изображений получится, если два плоских зеркала образуют двугранный угол 45° ; 30° ? (Ответ: 7; 11)
- *4. Сколько изображений дадут два взаимно параллельных плоских зеркала? (Ответ: 3)
5. На какой угол повернется луч, отраженный от плоского зеркала, при повороте зеркала на 20° ? (Ответ: на 40°)

6. Сколько изображений светящейся точки получится в системе из двух плоских зеркал, образующих двугранный угол 60° ? Приведите графическое доказательство. (Ответ: 5)
7. Высота Солнца составляет 50° . Как надо расположить плоское зеркало, чтобы: а) осветить дно колодца; б) направить солнечные лучи горизонтально? (Ответ: а) 70° ; б) 115° или 65° к горизонту)
8. Какую фотографию легче рассматривать: матовую или глянцевую? Почему? (Ответ: матовую)
9. Почему вы видите свое изображение в зеркале, но не видите его на стене?
10. Угол падения луча равен 60° . Чему равен угол между падающим и отраженным лучами? (Ответ: 120°)
- *11. Человек ростом 1,79 м находится в 5 м от дерева высотой 12 м. На каком расстоянии от себя человек должен положить на землю плоское зеркало, чтобы видеть в нем изображение вершины дерева? (Ответ: 65 см)

Что вы усвоили по данной теме?

Что вы открыли для себя на уроке?	Какой опыт (эксперимент) заставил вас задуматься?	Где проявились ваши творческие способности?	Какие личностные интересы проявились и на что они теперь направлены?

§ 38. Сферические зеркала. Построение изображений в сферических зеркалах



На этом уроке вы:

- научитесь строить изображение предметов в сферических зеркалах и характеризовать полученное изображение.



Ключевые слова:

- ✓ сферическое зеркало
- ✓ оптическая ось
- ✓ фокус зеркала
- ✓ фокальная плоскость
- ✓ три замечательных луча

В предыдущем параграфе мы познакомились с явлением отражения и, в частности, с отражением в плоском зеркале. Но кроме плоских зеркал есть еще и так называемые *кривые зеркала* — зеркала, отражающая поверхность которых искривлена. Особый случай — отражающая поверхность зеркал сферическая. Такие зеркала оказывают большую помощь водителям во время дорожного движения для увеличения обзора дороги; встречаются в магазинах, на перекрестках; ими пользуются стоматологи (рис. 38.1, а, б, в). В парках есть аттракцион “Комната смеха”, где применяются кривые зеркала (рис. 38.1, г).

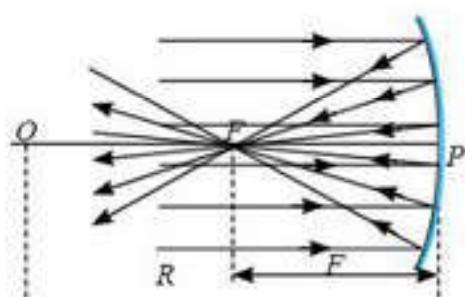
I. Сферические зеркала.

Сферическим зеркалом называется зеркало, отражающая поверхность которого имеет вид сегмента сферы. Сферическое зеркало назы-

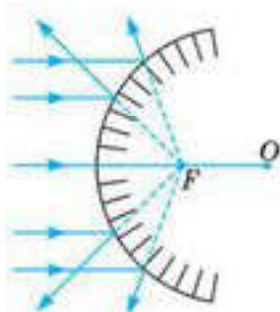


Рис. 38.1

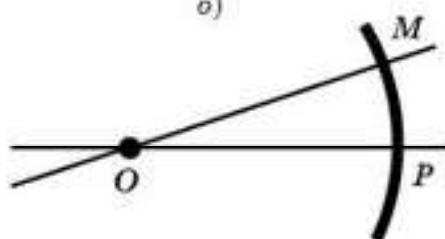
вается вогнутым, если свет отражается от внутренней поверхности сферы (рис. 38.2, а), и выпуклым, если свет отражается от внешней поверхности сферы (рис. 38.2, б).



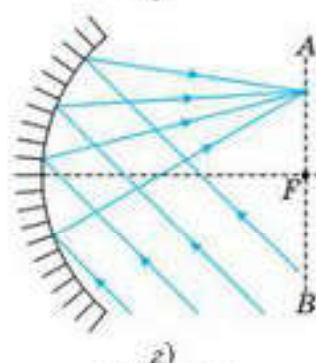
а)



б)



в)



з)

Рис. 38.2

Рассмотрим вогнутое сферическое зеркало (рис. 38.2, в). Геометрический центр O сферической поверхности зеркала радиусом R называется центром зеркала, а точка P , являющаяся вершиной сферического сегмента — вершиной зеркала. Любая прямая (например, OM или OP), проходящая через центр O зеркала, называется оптической осью. Оптическая ось OP , проходящая через вершину зеркала, называется главной оптической осью. У каждого сферического зеркала есть точка, в которой собираются лучи, падающие на зеркало параллельно главной оптической оси, после отражения от зеркала. Эта точка называется фокусом зеркала, обозначается символом F . Расстояние от вершины зеркала до фокуса называется фокусным расстоянием. Фокальная плоскость AB сферического зеркала — плоскость, проходящая через фокус сферического зеркала перпендикулярно главной оптической оси (рис. 38.2, з). Если лучи будут падать на зеркало параллельным пучком, идущим не параллельно главной оптической оси зеркала, то после отражения они будут собираться не в главном, а в побочном фокусе, находящемся на фокальной плоскости (рис. 38.2, з).

Вогнутое зеркало собирает свет. Фокус этого зеркала называется действительным, т. к. в нем собираются лучи, отраженные от зеркала. Выпуклое зеркало рассеивает свет. Фокус выпуклого зеркала называется мнимым, т. к. в нем собираются продолжения лучей, отраженных от зеркала.

(рис. 38.2, б). Выпуклое зеркало всегда дает мнимое изображение.

Для построения изображения предмета в сферических зеркалах используют законы отражения.

Для построения изображения в сферическом зеркале используют *три замечательных луча* (рис. 38.3):

1. *Луч 1*, идущий параллельно главной оптической оси зеркала, который после отражения от его поверхности проходит через фокус зеркала (луч 1').

2. *Луч 2*, идущий через центр кривизны зеркала, после отражения от его поверхности идет в том же направлении (луч 2').

3. *Луч 3*, идущий через фокус зеркала, который после отражения от его поверхности идет параллельно главной оптической оси (луч 3').

Сферическое зеркало дает уменьшенное (рис. 38.4, а) или увеличенное (рис. 38.4, б) изображение предмета.

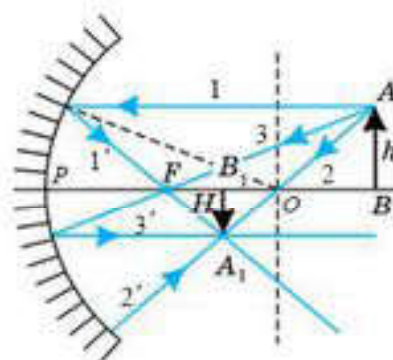
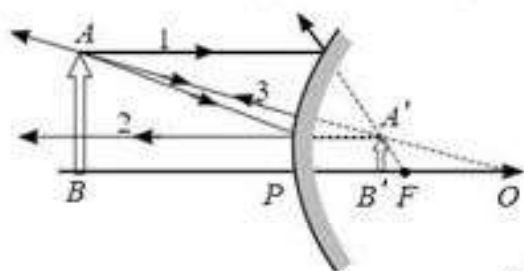
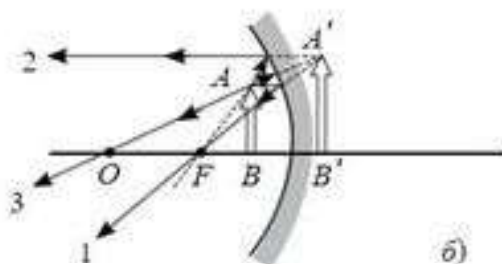


Рис. 38.3



а)



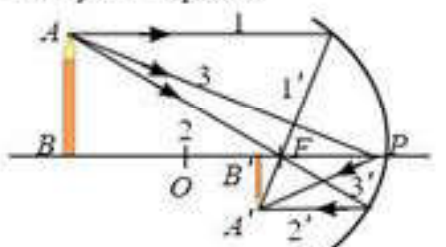
б)



Рис. 38.4

Ход построения изображения в сферическом зеркале дан в таблице 38.1.

Таблица 38.1

Вид сферического зеркала	Способ получения изображения
1. Вогнутое зеркало 	1. Предмет (в данном случае свеча) расположен за центром сферы точки O . Построенное с помощью трех лучей, рассмотренных выше, изображение лежит между фокусом F и центром сферы O . Это <i>действительное, перевернутое, уменьшенное изображение</i>

	<p>2. Предмет расположен в центре сферы. В этом случае $OP = R = 2F$. Значит, изображение будет там же, где и предмет. Это действительное, перевернутое изображение, а размеры его равны размерам предмета</p>
	<p>3. Предмет находится между центром сферы и фокусом. В этом случае изображение предмета будет находиться за центром. Это действительное, перевернутое, увеличенное изображение</p>
	<p>4. Предмет находится между фокусом и зеркалом. Изображение будет находиться за зеркалом. Это прямое (не перевернутое), увеличенное и мнимое изображение, потому что с внешней стороны зеркала пересекаются не отраженные лучи, а их продолжения</p>
<p>2. Выпуклое зеркало</p>	<p>Получить изображение в выпуклом зеркале легче, чем в вогнутом. Изображение в выпуклом зеркале — прямое (неперевернутое), мнимое, уменьшенное. Оно формируется за зеркалом</p>

Широкое применение получили параболические вогнутые зеркала, которые собирают пучок параллельных лучей света, падающих на поверхность параболического зеркала, практически в одну точку. Если же в фокус такого зеркала поместить лампу, то мы получим пучок параллельных лучей. Это используется в автомобильных фарах, прожекторах. Вогнутые зеркала применяются в телескопах — рефлекторах, с помощью которых изучаются звездное небо, планеты.



1. Какое из сферических зеркал рассеивает свет, а какое собирает падающий параллельный пучок в одну точку? Как называется эта точка?
2. Какое изображение называется действительным?
3. У какого сферического зеркала фокус мнимый, а у какого — действительный?
4. Перечислите замечательные лучи, позволяющие строить изображение в сферическом зеркале.
5. Перечислите известные вам примеры использования плоских, сферических зеркал.



Упражнение 22

1. Начертите ход луча, падающего на поверхность вогнутого зеркала (рис. 38.5). Покажите, где находится фокус.

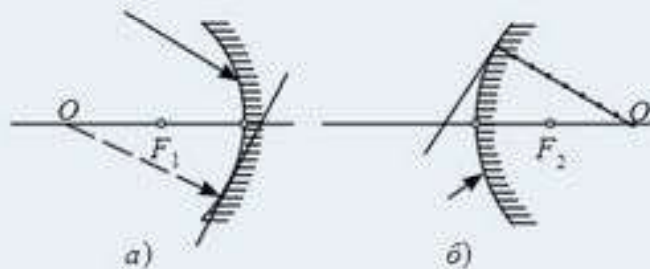


Рис. 38.5

2. Найдите изображение предмета (рис. 38.6 и 38.7). Опишите его.

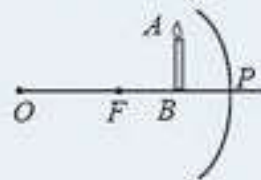


Рис. 38.6

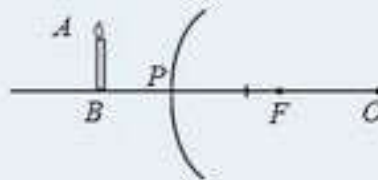


Рис. 38.7

3. Найдите изображение источника света S. Опишите его (рис. 38.8).

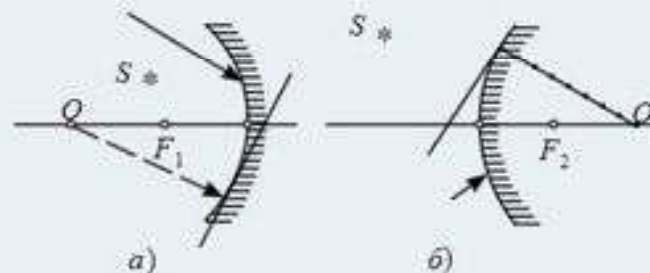


Рис. 38.8

Что вы усвоили по данной теме?

Что вы открыли для себя на уроке?	Какой опыт (эксперимент) заставил вас задуматься?	Где проявились ваши творческие способности?	Какие личные интересы проявились и на что они теперь направлены?

§ 39. Явление преломления света



Ключевые слова:

- ✓ преломление света
- ✓ угол преломления
- ✓ законы преломления света
- ✓ абсолютный и относительный показатель преломления
- ✓ полное внутреннее отражение

На этом уроке вы:

- изучите явление преломления света и полного внутреннего отражения, научитесь строить ход лучей при прохождении света через прозрачную среду.



Обращали ли вы внимание, что выходящие с поверхности воды предметы кажутся немного надломленными на границе между водой и воздухом? Подводная травинка, растущая на дне водоема, как-будто немного отклоняется, попадая на открытый воздух. Примерно то же происходит и с трубочкой, находящейся в стакане воды (рис. 39.1, *а*, *б*, *в*). На самом деле предметы остаются такими же ровными, как и были, а излом наблюдается из-за преломления света при его распространении, отчего и возникают эти зрительные эффекты. На рисунке 39.1, *в* мы наблюдаем сразу два явления — отражение и преломление.

Чтобы говорить о том, что такое преломление, рассмотрим, что происходит на границе раздела двух сред. Направив луч света из воздуха в воду, мы увидим, что луч света разделится на два луча, один из которых, изменив направление движения, возвращается в воздух, а второй, тоже изменив направление, проходит в воду (рис. 39.2). При внимательном рассмотрении можно заметить, что угол между перпендикуляром и преломленным лучом меньше, чем угол между перпендикуляром и отраженным лучом.



а)



б)



в)

Рис. 39.1

$\angle\alpha$ — угол падения,
 $\angle\beta$ — угол преломления.

Преломление света. Явлением преломления света называется явление изменения направления распространения световых лучей на границе двух сред, когда лучи проходят из одной среды в другую. Оно наблюдается из-за того, что скорость распространения света в разных средах различна.

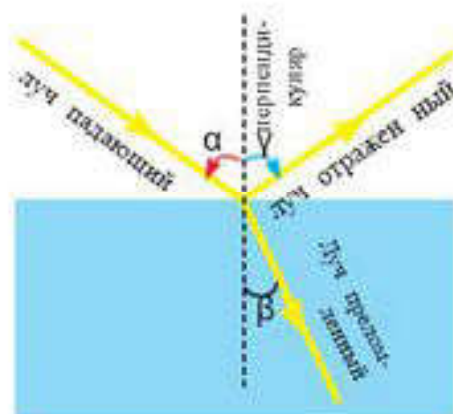


Рис. 39.2

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Именно из-за явления преломления света объекты на дне водоема (рис. 39.3) кажутся ближе, чем они есть на самом деле, а звезды на небосводе кажутся выше.

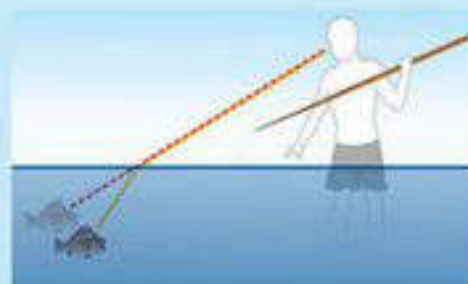


Рис. 39.3

Законы отражения и преломления света обуславливают многие явления в нашей жизни. Именно благодаря им мы видим мир таким, каков он есть.

Закон преломления, открытый экспериментально, гласит:

1) луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, восстановленный в точке падения луча к границе раздела двух сред, лежат в одной плоскости (рис. 39.2);

2) отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных двух сред и называется относительным показателем преломления второй среды относительно первой:

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad (39.1)$$

В старших классах мы докажем этот закон.

Необходимо отметить, что относительный показатель преломления n показывает, во сколько раз скорость распространения света в первой среде больше скорости распространения света во второй среде, т. е.

$$n = \frac{v_1}{v_2} \quad (39.2)$$

где n — относительный показатель преломления, v_1 — скорость света в первой среде, v_2 — скорость света во второй среде.

Закон преломления света был открыт в начале XVII века голландским математиком В. Снеллиусом (или Снеллом).

Из формулы (39.1) следует, что с ростом угла падения света будет увеличиваться и угол преломления.

Абсолютным показателем преломления данной среды называется физическая величина, показывающая, во сколько раз скорость распространения света в вакууме (она обозначается символом c) больше скорости распространения света в данной среде, т. е.

$$\frac{c}{v_1} = n_1, \quad (39.3)$$

где n_1 — абсолютный показатель преломления первой среды.

Так как скорость света в вакууме больше скорости света в среде ($c > v$), то абсолютный показатель преломления $n > 1$. Так, например, для воды $n = 1,33$, для стекла $1,5 < n < 1,8$, для воздуха $n = 1,0003$, для алмаза $n = 2,42$.

Среда с большим абсолютным показателем преломления называется *оптически более плотной средой*.

Итак, свет в однородной среде распространяется прямолинейно и при переходе из одной среды в другую меняет как направление распространения, так и величину скорости. В таблице 39.1 приведены значения скорости распространения света в некоторых средах.

Таблица 39.1

Скорость распространения света в некоторых средах

Вакуум (воздух)	300 000 км/с	Бензин	214 300 км/с
Вода	226 000 км/с	Соль	194 300 км/с
Молоко	220 000 км/с	Сахар	192 300 км/с
Стекло	200 000 км/с	Алмаз	124 100 км/с

Установим связь между относительным и абсолютным показателями преломления. Используя формулу (39.3), найдем скорость распространения света в первой среде: $v_1 = \frac{c}{n_1}$ и во второй: $v_2 = \frac{c}{n_2}$. Согласно формуле (39.1), получим:

$$n = \frac{n_2}{n_1}. \quad (39.4)$$



Обратимся к рисунку 39.4. Объясните поведение световых лучей, идущих от источника света S, расположенного в воде, в точках O_1, O_2, O_3, O_4, O_5 .

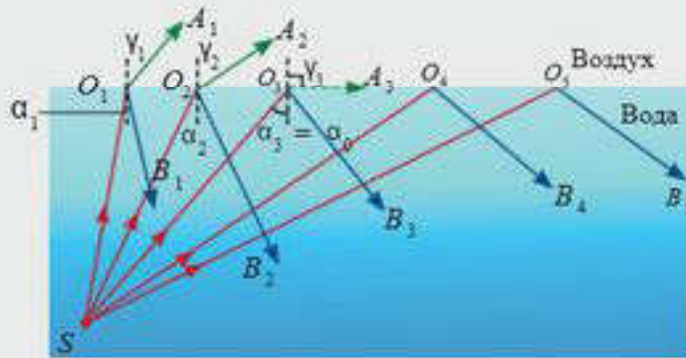


Рис. 39.4

При переходе светового луча из одной среды в другую происходит отклонение светового луча от первоначального направления, причем отклонение будет тем больше, чем больше угол падения луча света.

Полное внутреннее отражение света. Рассмотрим подробнее переход света из оптически более плотной среды в оптически менее плотную среду. В этом случае угол падения луча будет меньше угла преломления.

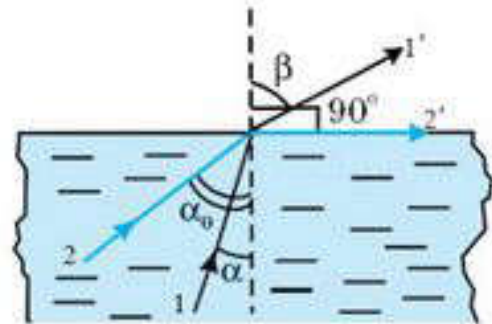


Рис. 39.5

Мы уже знаем, что с ростом угла падения луча растет и угол преломления. Тогда может наступить такой момент, что при некотором угле падения α_0 (рис. 39.5) угол преломления станет равным 90° , и луч света пойдет по границе раздела двух сред. А это означает, что во вторую среду свет не проходит. Такое явление называется *полным внутренним отражением*.

При углах падения, больших, чем α_0 , лучи света и подавно не выйдут из первой (более плотной) среды. Для случая полного внутреннего отражения закон преломления записывается следующим образом:

$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1}$$

или

$$\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}$$

Для воздуха и вакуума $n_2 = 1$, и поэтому у последняя формула при переходе света из какой-либо среды в воздух или вакуум будет выглядеть так: $\sin \alpha_0 = \frac{1}{n_1}$. По этой формуле легко рассчитать *величину абсолютного показателя преломления среды*:

$$n_1 = \frac{1}{\sin \alpha_0} \tag{39.5}$$

Показатели преломления различных прозрачных сред были рассчитаны с помощью явления полного внутреннего отражения.

Явление полного внутреннего отражения используют в волоконной оптике. Его применяют в медицине, в эндоскопических аппаратах.



1. Какое явление называется преломлением света? Почему оно наблюдается?
2. Сформулируйте и выведите законы преломления света.
3. Каков физический смысл абсолютного и относительного показателей преломления? Как они связаны между собой?
4. Какое явление называется полным внутренним отражением света? Когда оно наблюдается?



Упражнение 23

1. Почему пальцы, опущенные в воду, кажутся короткими? Проверьте и объясните.
2. Почему, измеряя высоту небесного тела над горизонтом, мы находим ее большей, чем она есть в действительности?
3. В чем состоит ошибка рыбака — гарпуниста (рис. 39.6)? Ответ обоснуйте.
4. Почему туман непрозрачен, хотя он состоит из мельчайших капелек прозрачной воды?
5. Какое явление изображено на рисунке 39.7?
6. Какая среда более плотная (рис. 39.8)?
7. Луч света падает на поверхность воды под углом 60° . Каков угол преломления луча в воде? (Ответ: 40°)
8. Тонкий луч света переходит из воздуха в некоторую жидкость. Найдите показатель преломления жидкости, если угол падения луча 30° , а угол преломления 15° ? Чему равна скорость света в этой жидкости? (Ответ: 1,93; $1,55 \cdot 10^8$ м/с)
9. В дно пруда вертикально вбит шест высотой 1,25 м. Найдите длину тени на дне пруда, если солнечные лучи падают на поверхность воды под углом 30° , а шест целиком находится под водой. (Ответ: 0,5 м)



Рис. 39.6



Рис. 39.7

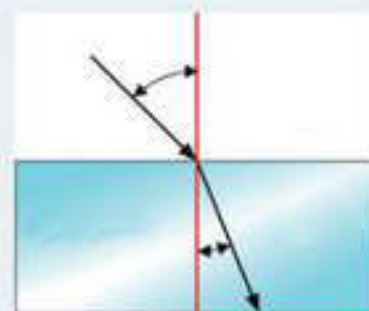


Рис. 39.8



- *10. В дно водоема вбит столб, часть которого высотой 1 м выступает над поверхностью воды. Найдите длину тени столба на поверхности воды и на дне водоема, если высота солнца над горизонтом 30° , а глубина реки 2 м. (Ответ: $l = 1,73$ м; $l_2 = 3,45$ м)
- *11. На дне ручья лежит камень. Желая попасть в него, мальчик, прицеливаясь, держит палку в воздухе под углом 45° . На каком расстоянии от камня палка воткнется в дно ручья, если глубина ручья 40 см? (Ответ: 19 см)
12. При переходе солнечных лучей из воздуха в стекло угол падения 60° , а угол преломления 30° . Найдите скорость распространения света в стекле и предельный угол полного внутреннего отражения. (Ответ: $1,73 \cdot 10^8$ м/с; 35°)

Что вы усвоили по данной теме?

Что вы открыли для себя на уроке?	Какой опыт (эксперимент) заставил вас задуматься?	Где проявились ваши творческие способности?	Какие личные интересы проявились и на что они теперь направлены?

§ 40. Линзы, оптическая сила линзы, формула тонкой линзы. Построение изображений в линзах



На этом уроке вы:

- научитесь применять формулу тонкой линзы для решения задач;
- строить ход лучей в тонкой линзе и характеризовать полученные изображения,



Ключевые слова:

- ✓ линза
- ✓ собирающая и рассеивающая линза
- ✓ фокус линзы
- ✓ формула тонкой линзы

Это вы знаете

Явление преломления используется во многих оптических приборах: телескопах, микроскопах, фотоаппаратах, проекционной аппаратуре, биноклях, очках (рис. 40.1).



Рис. 40.1

Во всех этих приборах есть общая деталь. Назовите ее.

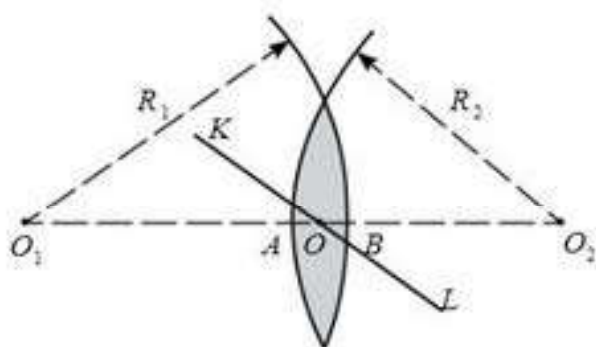


Рис. 40.2

Во многих оптических приборах применяют линзы — прозрачные тела, ограниченные двумя сферическими поверхностями. Линзы делятся на *собирающие* и *рассеивающие*. Первые собирают проходящий сквозь них свет в одну точку, а вторые рассеивают его. У собирающих линз середина толще, чем края, а у рассеивающих, наоборот, середина тоньше краев.

Основные понятия и характеристики линзы. Рассмотрим линзу, изображенную на рисунке 40.2. Здесь точки O_1 и O_2 — центры кривизны сферических поверхностей, образовавших линзу; R_1 и R_2 — радиусы кривизны сферических поверхностей. Прямая, проходящая через центры кривизны сферических поверхностей, образовавших линзу, называется *главной оптической осью линзы*. Точка O , расположенная внутри линзы на главной оптической оси линзы, в которой лучи не преломляются, называется *оптическим центром линзы*. Прямая линия KL , проходящая через оптический центр, но не через центры кривизны, называется *побочной осью*. Точки A и B пересечения главной оптической оси с поверхностями линзы называются *вершинами линзы*. Расстояние AB между вершинами линзы называется *толщиной линзы*. Если толщина линзы соизмерима с радиусом кривизны сферических поверхностей, образовавших линзу, то линза называется *толстой*, если же она намного меньше его, то линза называется *тонкой*. Мы будем рассматривать тонкую линзу.

По форме поверхностей, образующих линзу, линзы делятся на *выпуклые* (*плосковыпуклые, двояковыпуклые и вогнуто-выпуклые*) и на *вогнутые* (*плосковогнутые, двояковогнутые и выпукло-вогнутые*) (рис. 40.3).

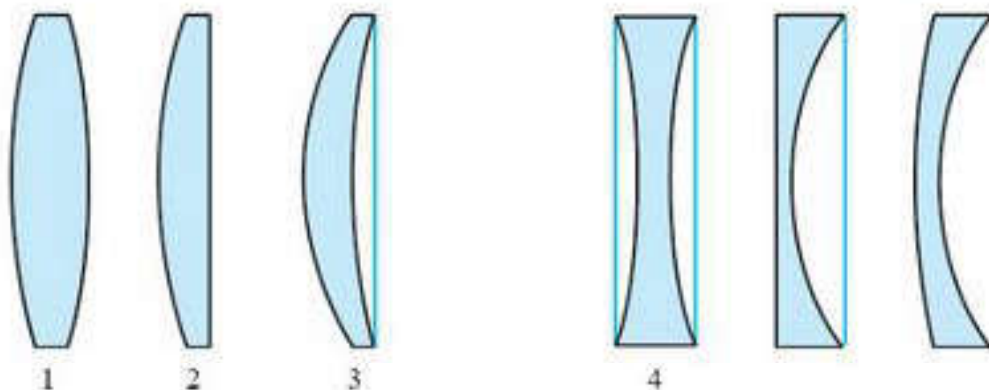


Рис. 40.3. Виды линз: 1 — двояковыпуклая линза; 2 — плосковыпуклая линза; 3 — вогнуто-выпуклая линза; 4 — двояковогнутая линза; 5 — плосковогнутая линза; 6 — выпукло-вогнутая линза

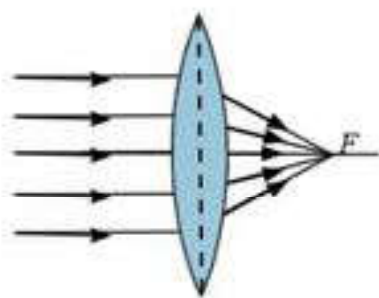


Рис. 40.4

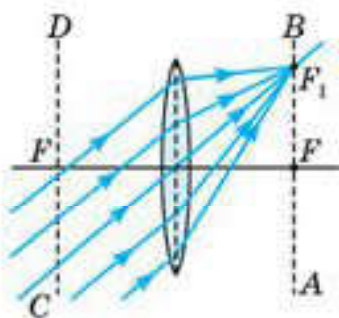


Рис. 40.5

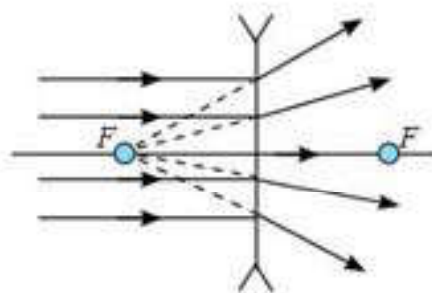


Рис. 40.6

Если направить на собирающую линзу пучок лучей, параллельных главной оптической оси, то они соберутся в одной точке — **главном фокусе F линзы** (рис. 40.4). Эта точка находится на главной оптической оси линзы. У линзы два главных фокуса, расположенных по обе стороны линзы. Если же на линзу направить пучок лучей, идущих параллельно побочной оси (рис. 40.5), то они тоже соберутся в одной точке — **побочном фокусе F_1** , который расположен в фокальной плоскости AB линзы. Фокальной плоскостью линзы называется плоскость, проведенная через главный фокус перпендикулярно главной оптической оси линзы. Понятно, что фокальных плоскостей у линзы две (AB и CD), а побочных фокусов — бесконечное число. Фокусы собирающей линзы называются **действительными**, т. к. в них на самом деле собираются лучи, преломленные в линзе.

Фокусы рассеивающей линзы называются **мнимыми**, т. к. в них собираются продолжения лучей, преломленных в линзе (рис. 40.6).

На практике в основном используются тонкие линзы. Для удобства при построении изображений в линзах были введены особые обозначения — значки (рис. 40.7).

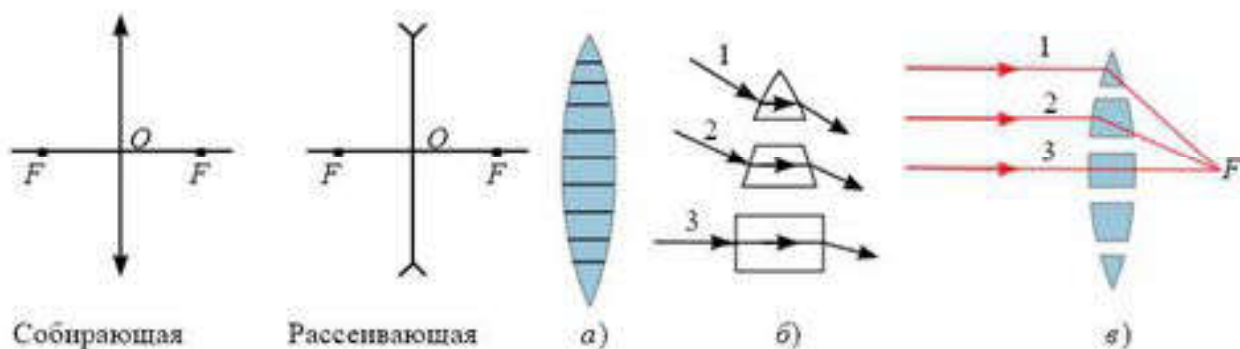


Рис. 40.7

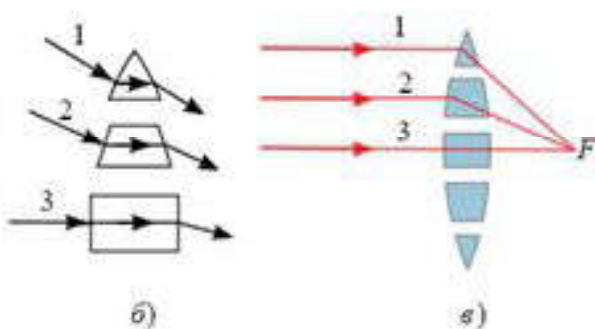


Рис. 40.8

Разберемся, как свет преломляется в линзе. Любую линзу можно представить как набор призм (рис. 40.8, *а*). Падающий на призму свет, как показано на рисунке 40.8, *б*, преломляется в ней (луч 1) и распространяется параллельно ее основанию. Попадая на вторую грань призмы, луч света преломляется второй раз и возвращается в первую среду, отклоняясь к основанию призмы. Луч 2, преломляясь в дру-

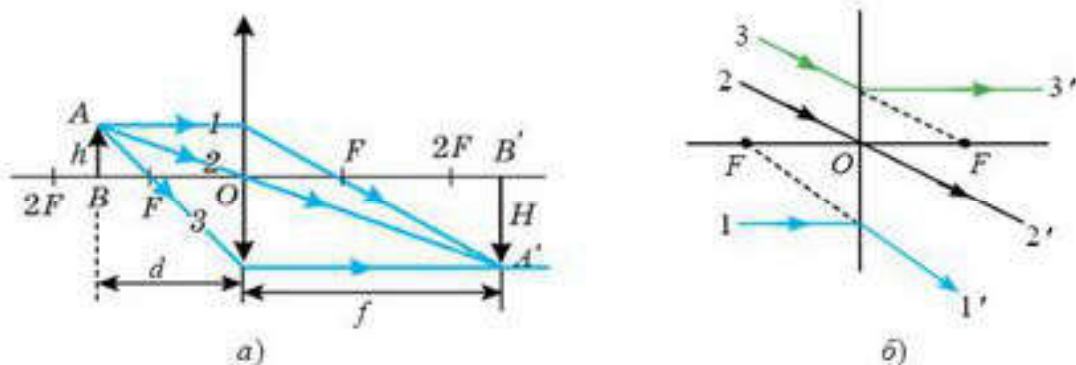


Рис. 40.9

гой части линзы, выходит из нее и также отклоняется к основанию призмы. Луч 3 проходит через призму, не преломляясь, параллельно основанию. В результате преломления все лучи пересекаются в одной точке на главной оптической оси, которую называют *фокусом линзы* (рис. 40.8, *в*).

Построение изображения в линзах. Для построения изображения в линзах пользуются тремя замечательными лучами:

1. Луч 1, идущий параллельно главной оптической оси, после преломления проходит через фокус линзы (рис. 40.9, *а*). Для рассеивающей линзы этот луч после преломления направлен так, что его продолжение как бы выходит из мнимого фокуса линзы (рис. 40.9, *б*).

2. Луч 2, идущий через оптический центр линзы, не испытывает преломления.

3. Луч 3, идущий через главный фокус линзы, после преломления в линзе идет параллельно главной оптической оси (рис. 40.9, *а*). Для рассеивающей линзы луч, идущий в направлении мнимого фокуса, находящегося по ее другую сторону, после преломления идет параллельно главной оптической оси (рис. 40.9, *б*).

Собирающая линза может давать и действительное, и мнимое изображения предмета. Напомним, что *действительное изображение* получается только тогда, когда пересекаются сами лучи, а *мнимое* — когда пересекаются не сами лучи, а их продолжения.

Формула тонкой линзы. Выведем формулу тонкой линзы. Для этого построим изображение светящейся точки S . Воспользуемся побочной оптической осью OB . Проведем падающий луч SA параллельно побочной оптической оси OB . После преломления он пройдет через побочный фокус B , который находится в фокальной плоскости BF , и пересечется с главной оптической осью в точке S_1 . Луч SS_1 пройдет через оптический центр линзы O , не преломляясь, и пересечется с лучом AB в точке S_1 , которая и будет изображением светящейся точки S (рис. 40.10).

Обозначим расстояние от предмета (светящейся точки) до оптического центра линзы SO символом d , расстояние от оптического центра линзы до изображения предмета OS_1 символом f , фокусное расстоя-

ние линзы OF символом F и произведем следующие расчеты. Треугольники SAS_1 и OBS_1 подобны по третьему признаку подобия треугольников. В подобных треугольниках соответствующие стороны и отрезки сторон пропорциональны, следовательно, $\frac{SS_1}{OS_1} = \frac{OS}{OF}$, или с учетом введенных обозначений $\frac{d+f}{f} = \frac{d}{F}$. Преобразуем эту формулу: $\frac{d}{f} + 1 = \frac{d}{F}$.

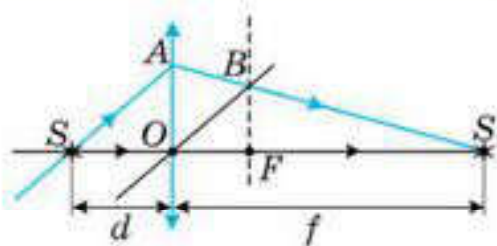


Рис. 40.10

Теперь, разделив левую и правую части формулы на d , получим:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}. \quad (40.1)$$

Эта формула называется *формулой тонкой линзы*.



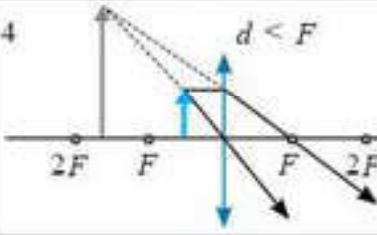
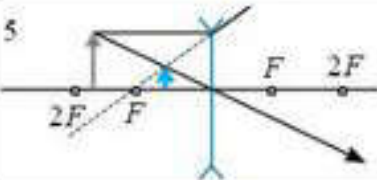
Вывести формулу тонкой линзы можно и другим способом. Предложите свои способы вывода формулы тонкой линзы, аргументируя свои действия.

Рассмотрим особенности применения формулы тонкой линзы. В зависимости от того, где расположен предмет, какое изображение дает линза (мнимое или действительное), какая это линза, мы можем получить следующие формы записи этой формулы и следующие виды изображений.

Таблица 40.1

Построение изображения	Формула тонкой линзы	Характеристика изображения
1	2	3
<p>1 $d > 2F$</p>	$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$	Изображение действительное, уменьшенное, перевернутое
<p>2 $F < d < 2F$</p>	$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$	Изображение действительное, увеличенное, перевернутое
<p>3 $d = 2F$</p>	$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$	Изображение действительное, равное, перевернутое

Продолжение

1	2	3
<p>4</p> 	$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$	<p>Изображение мнимое, увеличенное, прямое</p>
<p>5</p> 	$-\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$	<p>Рассеивающая линза всегда дает мнимое, уменьшенное, прямое изображение</p>

1. Линза собирающая дает действительное изображение. Тогда $d > 0$ (положительно), $f > 0$ (положительно) и $F > 0$ (положительно).

2. Линза собирающая, но дает мнимое изображение. Тогда $d > 0$ (положительно), $f < 0$ (отрицательно) и $F > 0$ (положительно).

3. Линза рассеивающая. Она всегда дает мнимое изображение. Тогда $d > 0$ (положительно), $f < 0$ (отрицательно) и $F < 0$ (отрицательно).

Оптическая сила линзы. Для того чтобы показать, как сильно “ломает” лучи линза, была введена особая физическая величина — *оптическая сила линзы D*. Под *оптической силой линзы* понимают величину, обратную главному фокусному расстоянию. Следовательно, **физический смысл оптической силы линзы состоит в том, что она характеризует степень преломления световых лучей после прохождения через линзу:**

$$D = \frac{1}{F}. \quad (40.2)$$

Оптическая сила линзы измеряется в диоптриях: $1 \text{ дптр} = \left[\frac{1}{\text{м}} \right]$.

Увеличение линзы. Линза может давать как увеличенное, так и уменьшенное изображение предмета. **Под линейным увеличением линзы** понимают физическую величину, определяемую отношением линейного размера изображения к линейному размеру предмета, т. е.:

$$\Gamma = \frac{H}{h}. \quad (40.3)$$



1. Воспользуйтесь рисунком 40.9, а, чтобы доказать формулу (40.3).

2. Используя рисунок 40.11 и признак подобия треугольников, докажете,

$$\text{что } \frac{H}{h} = \frac{f}{d}.$$

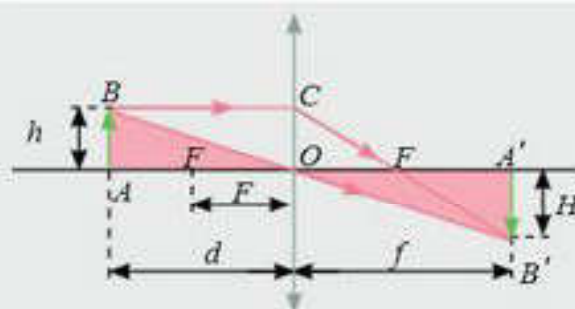


Рис. 40.11

Если построить изображение предмета в рассеивающей линзе, то можно увидеть, что она всегда дает уменьшенное мнимое, не перевернутое изображение. А собирающая линза в зависимости от того, где находится предмет, может давать как действительное и мнимое изображения, так и увеличенное и уменьшенное изображения.

Пример решения задачи

На рисунке 40.12, а дан ход луча SA после его преломления в рассеивающей линзе. Найдите построением положение главных фокусов линзы. Покажите дальнейший ход луча CD .

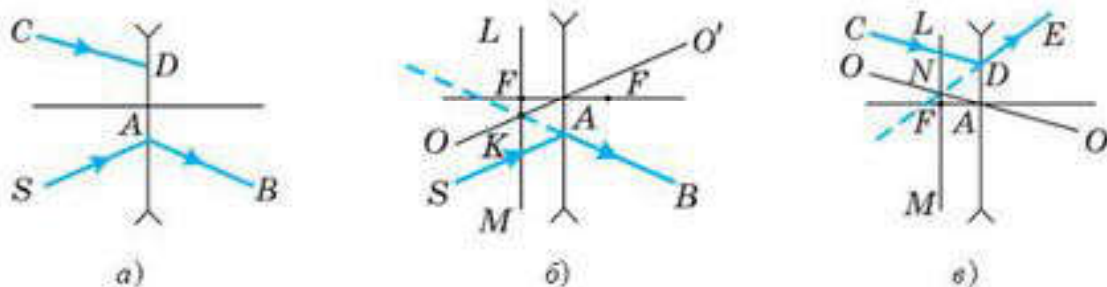


Рис. 40.12

Решение. Проведем побочную ось OO' (рис. 40.12, б), параллельную лучу SA . Эта ось пересекается с продолжением преломленного луча AB в точке K , лежащей в фокальной плоскости LM . Главным фокусом рассеивающей линзы будет точка пересечения фокальной плоскости с главной оптической осью линзы.

Для того чтобы найти дальнейший ход луча CD , проведем прямую OO' (рис. 40.12, в), проходящую через оптический центр линзы параллельно лучу CD . Точка пересечения этой прямой, которая является побочной осью линзы, с фокальной плоскостью LM будет побочным фокусом линзы N . Проведя прямую через точки N и D , получим дальнейший ход луча CD после преломления в линзе. Это будет прямая DE .



1. Что вы понимаете под линзой? Какие виды линз вы знаете?
2. Чем отличается рассеивающая линза от собирающей?
3. Как определить положение оптического центра линзы?
4. Как построением определить положение главного фокуса линзы?
5. Как определить, какая ось является главной оптической осью линзы, а какая — побочной?
6. Как опытным путем определить положение фокуса у собирающей линзы; рассеивающей линзы?
7. Рассудите двух спорящих учеников. Первый утверждает, что у собирающей линзы все фокусы мнимые, а у рассеивающей — действительные. Второй утверждает, что мнимых фокусов не бывает. Кто же из них прав? Дайте верный ответ.

8. Какая плоскость называется фокальной плоскостью?
9. Как, зная положение побочного фокуса, определить нахождение главного фокуса линзы?
10. Какое изображение называется действительным, а какое — мнимым?
11. Что называют оптической силой линзы?
12. Постройте изображение предмета, находящегося: а) на двойном фокусе линзы; б) между линзой и ее главным фокусом. Дайте характеристику получившихся изображений.
13. Что означает фраза: "Увеличение линзы равно 0,25"?
14. Получится ли полное изображение предмета в линзе, если половину линзы закрыть непрозрачной ширмой?



Упражнение 24

1. Когда с помощью собирающей линзы получают мнимое изображение предмета? Ответ поясните построением хода световых лучей в линзе.
(Ответ: когда предмет находится между фокусом и линзой)
2. В каком случае высота изображения, полученного с помощью собирающей линзы, равна высоте предмета? Ответ поясните построением хода световых лучей в линзе.
(Ответ: когда тело находится на расстоянии $2F$ от линзы)
3. Даны главная оптическая ось линзы MN , предмет AB и его изображение A_1B_1 (рис. 40.13 и рис. 40.14). Определите центр линзы и ее фокусное расстояние.



Рис. 40.13

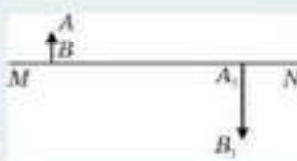


Рис. 40.14

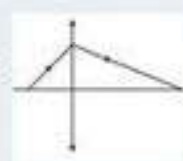


Рис. 40.15



Рис. 40.16

4. Даны главная оптическая ось линзы и ход одного из лучей (рис. 40.15). Определите положение фокуса линзы.
5. На рисунке 40.16 дан луч, прошедший сквозь линзу с фокусным расстоянием F . Постройте ход луча до линзы.
6. Постройте изображение данного предмета (рис. 40.17, а, б) в линзе. Охарактеризуйте это изображение.

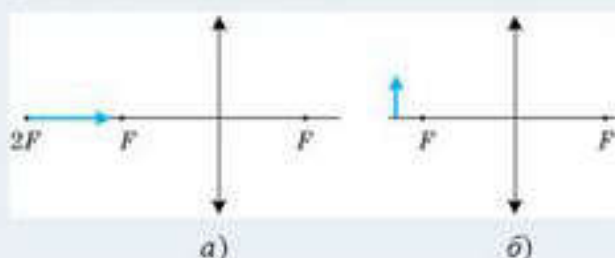


Рис. 40.17

7. На расстоянии 40 см от тонкой собирающей линзы с оптической силой 5 дптр находится светящаяся точка. Каково расстояние между точкой и ее изображением на экране?

(Ответ: 80 см)

- *8. На каком расстоянии от линзы с фокусным расстоянием 40 см находится светящаяся точка, если ее изображение находится в 60 см от линзы?
(Ответ: 120 см)
- *9. Расстояния от предмета до линзы и от линзы до изображения одинаковы и равны 0,5 м. Во сколько раз увеличится изображение, если предмет сместить на расстояние 20 см по направлению к линзе? Определите фокусное расстояние линзы.
(Ответ: $\Gamma = 1,25$; $F = 25$ см)

Что вы усвоили по данной теме?

Что вы открыли для себя на уроке?	Какой опыт (эксперимент) заставил вас задуматься?	Где проявились ваши творческие способности?	Какие личностные интересы проявились и на что они теперь направлены?

§ 41. Глаз как оптическая система, дефекты зрения и способы их исправления



На этом уроке вы:

- узнаете о видах коррекции глаза.



Ключевые слова:

- ✓ глаз
- ✓ близорукость
- ✓ дальнозоркость
- ✓ очки

Человек воспринимает информацию об окружающем мире органами чувств. Зрение является одним из этих органов. **Зрение** человека — способность воспринимать информацию путем преобразования световой энергии, осуществляемая его зрительной системой. Обработка светового сигнала начинается на сетчатке глаза, затем происходит возбуждение фоторецепторов и передача информации в центр зрения. Основную информацию о мире, об окружающей среде мы узнаем с помощью глаз.

Глаз. Глаз представляет собой “живой” оптический прибор, позволяющий воспринимать окружающий мир как человеку, так и животному. Глаз дает уменьшенное, действительное, перевернутое изображение предмета на сетчатке глазного яблока.

Структура глаза изображена на рисунке 41.1.

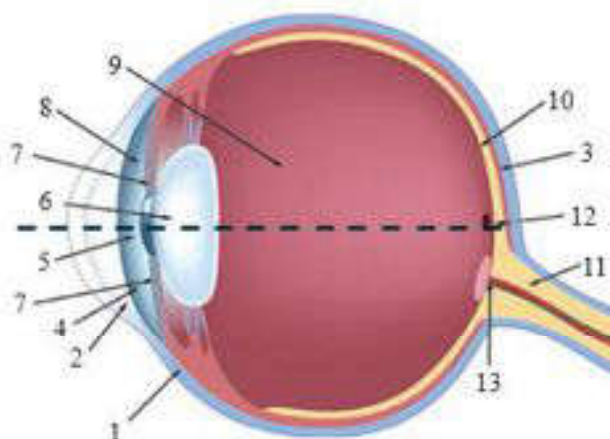


Рис. 41.1

1. *Склера* — внешняя оболочка глазного яблока.
2. *Роговица* — передняя прозрачная часть склеры (ее показатель преломления $n = 1,38$).
3. *Сосудистая оболочка*, состоящая из кровеносных сосудов, питающих глаз. Она прилегает к склере с внутренней стороны.
4. *Радужная оболочка* — передняя часть сосудистой оболочки. У разных людей цвет радужной оболочки разный.
5. *Зрачок* — составляющая глаза в середине радужной оболочки, сквозь которую проходит свет. Диаметр зрачка рефлекторно изменяется от 2 до 8 мм в зависимости от освещенности.
6. *Хрусталик* — прозрачное, упругое, слоистое тело, похожее на двояковыпуклую линзу, проектирующую изображение на сетчатку глазного яблока. Возможность кривизны хрусталика меняться под воздействием мышц, облегающих его со всех сторон, приводит к тому, что изображения предметов, лежащих на различных расстояниях, проектируются точно на поверхность чувствительного слоя сетчатки. Этот процесс называется *аккомодацией*. Т. е. **аккомодация** — это приспособление глаза к отчетливому видению на различных расстояниях путем изменения радиуса кривизны хрусталика. Расстояние от предмета до глаза, при котором удобнее всего рассматривать детали предмета, называется *расстоянием наилучшего зрения*. Для нормального глаза это расстояние составляет 25 см.
7. *Мышцы*, которые могут деформировать хрусталик, что приводит к изменению его радиуса кривизны. Кроме того, эти мышцы поворачивают глаз так, чтобы его ось была направлена на рассматриваемый предмет. Напряжения мышц правого и левого глаза различаются тем сильнее, чем ближе предмет. Изображения близкого предмета на сетчатках правого и левого глаза несколько отличаются друг от друга. Это дает человеку возможность оценивать расстояние до предмета или его частей, а также создает впечатление объемности наблюдаемых тел.
8. *Водянистая жидкость*.
9. *Стекловидное тело*, заполняющее полость глазного яблока, представляет собой студенистую жидкость.
10. *Сетчатка* покрывает все дно глазного яблока. Она состоит из разветвлений зрительного нерва.
11. *Зрительный нерв*, нервные окончания которого называются колбочка и палочка. Они представляют собой светочувствительные элементы.
12. *Желтое пятно* — место на сетчатке, наиболее чувствительное к свету.

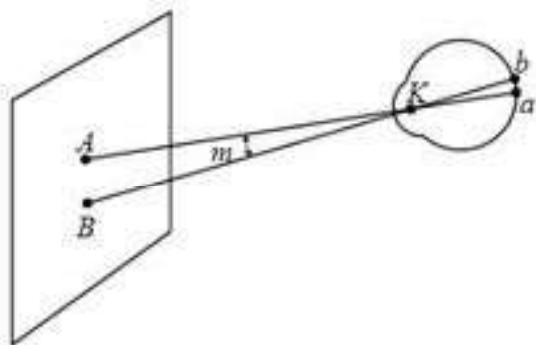


Рис. 41.2

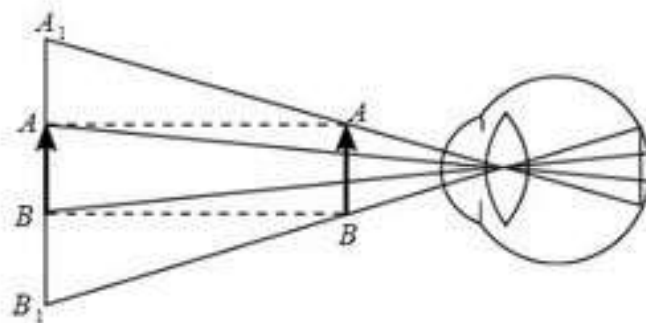


Рис. 41.3

13. *Слепое пятно* — место на сетчатке, куда входит зрительный нерв.

Глаз можно рассматривать как оптическую систему с переменным фокусным расстоянием и неизменным расстоянием до экрана (т. е. сетчатки). Свет проецируется на сетчатку, нервные окончания которой посылают импульс в центр зрения головного мозга. Этот процесс приводит к образованию зрительных образов.

Если рассматривать предмет, то лучи от его крайних точек A и B (рис. 41.2) попадают на глаз и после преломления в преломляющих средах глаза собираются на сетчатке в точках a и b . Лучи после преломления в глазу образуют угол (на рисунке 41.2 этот угол bKa равен вертикальному углу AKB), который и называется углом зрения.

Величина угла зрения зависит от двух факторов — величины предмета, который мы рассматриваем, и расстояния его от глаза, как показано на рисунке 41.3. Стрелки AB одной и той же величины, но находящиеся на разном расстоянии от глаза, мы видим под разным углом зрения. В то же время от предмета A_1B_1 , который намного больше предмета AB , лучи на сетчатую оболочку будут падать после преломления под одним и тем же углом зрения, так как эти предметы находятся от глаза на разном расстоянии. Таким образом, предмет виден под большим углом, если он ближе к глазу. В нашей повседневной жизни практически это хорошо известно — мы приближаем предмет к глазу, когда хотим его детально рассмотреть, т. е. видим его под большим углом зрения.

По своему устройству глаз сходен с фотоаппаратом (рис. 41.4),

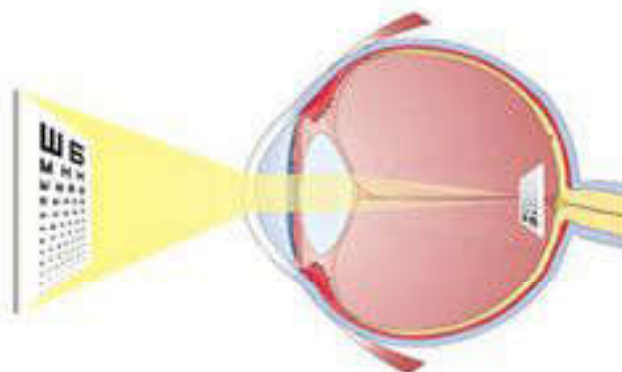


Рис. 41.4

Роль объектива выполняет хрусталик совместно со стекловидным телом. Изображение получается на чувствительной поверхности сетчатки. Получение четкого изображения осуществляется путем аккомодации. Зрачок играет роль изменяющейся по размерам диафрагмы.

Очки. Глаз человека с нормальным зрением (расстояние наилучшего видения равно 25 см) проецирует изображение предмета на сетчатку. У некоторых же людей глаза в ненапряженном состоянии проецируют изображение не на сетчатку, а перед ней (рис. 41.5, а). Такие люди обладают дефектом зрения, называемым *близорукостью*. Близорукий человек отчетливо видит предметы, начиная с определенного расстояния. Он хорошо различает близкие предметы, но плохо — удаленные от него. При близорукости медицина предлагает очки с рассеивающими линзами или, как говорят, минусовые очки (рис. 41.5, б).

Если же глаз дает изображение предмета за сетчаткой (рис. 41.6, а), то дефект называется *дальнозоркостью*. Люди с этим дефектом хотя и видят далекие предметы, но не отчетливо, слабо различая их очертания. Близкие же предметы дальнозоркие люди видят плохо, расплывчато. У них ближний предел аккомодации наблюдается при расстояниях до предмета, больших 25 см. При дальнозоркости носят очки с собирающими линзами (рис. 41.6, б).

Зрение двумя глазами (бинокулярное зрение) дает возможность воспринимать объемное изображение предметов, глубину их расположения, оценивать расстояние, на котором они находятся. Когда рассматриваем предметы одним глазом, то создается впечатление, что предметы лежат в одной плоскости.

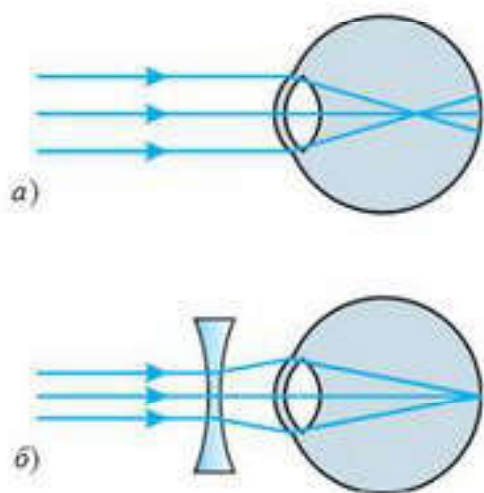


Рис. 41.5

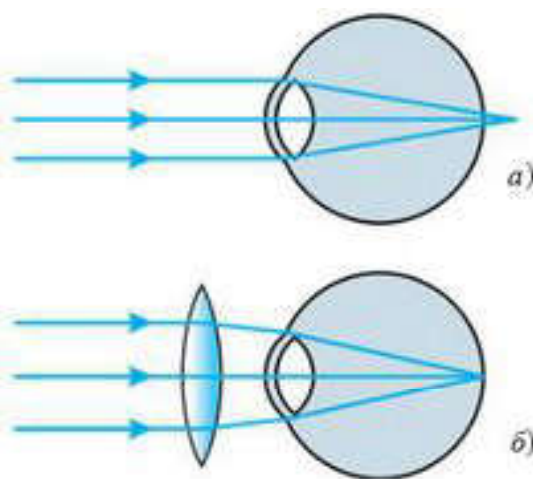


Рис. 41.6

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Благодаря особенностям зрения и цветовосприятия возникают зрительные обманы. Глядя на рисунок 41.7, можно наблюдать иллюзию цветовосприятия. Создается впечатление, что овалы на разных квадратах разного цвета, а на самом деле овалы имеют одинаковый серый оттенок.



Рис. 41.7



Рис. 41.8

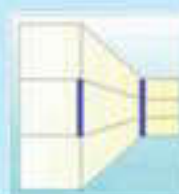


Рис. 41.9

Глядя на рисунок 41.8, создается ощущение, что левый внутренний круг больше, хотя круги одинаковые. Так же, как и на рисунке 41.9, линии, кажущиеся разной длины, на самом деле одинаковые.

Горизонтальные линии (рис. 41.10), если внимательно рассмотреть, параллельны друг другу.

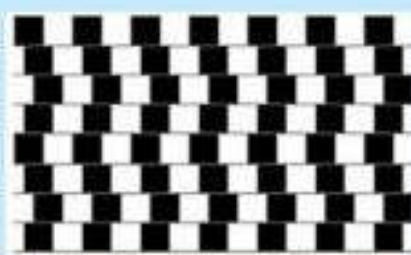


Рис. 41.10

1. Как вы понимаете явление аккомодации?
2. Что означают эти величины: -3 дптр, $+4,5$ дптр?
3. Что изображено на рисунке 41.11?



Рис. 41.11



Рис. 41.12



Рис. 41.13



Рис. 41.14



Рис. 41.15

4. Может ли наблюдаться ситуация, изображенная на рисунке 41.12, в практической реальности?
5. Как вы думаете, что изображено на рисунке 41.13: замкнутые линии или спираль? Ответ обоснуйте.
6. Какие очки изображены на рисунке 41.14?
7. Какие дефекты глаза изображены на рисунке 41.15? Как их исправить?

Что вы усвоили по данной теме?

Что вы открыли для себя на уроке?	Какой опыт (эксперимент) заставил вас задуматься?	Где проявились ваши творческие способности?	Какие личные интересы проявились и на что они теперь направлены?

§ 42. Оптические приборы



Ключевые слова:

- ✓ оптические приборы
- ✓ лупа
- ✓ камера-обскура
- ✓ фотоаппарат
- ✓ микроскоп
- ✓ телескоп

На этом уроке вы научитесь:

- описывать принцип действия простейших оптических приборов;
- конструировать простые оптические приборы (перископ, камера-обскура и т. д.).

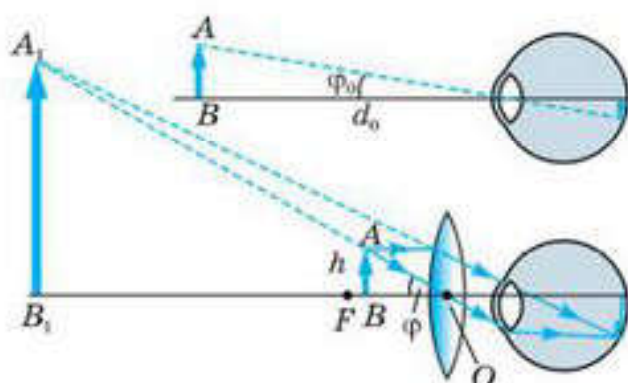


Рис. 42.1

Законы геометрической оптики лежат в основе действия разнообразных оптических приборов, основной частью которых является некоторая оптическая система, которая формирует изображение предмета. В зависимости от назначения различают следующие оптические приборы: проекционная аппаратура, микроскопы, телескопы, фотоаппараты и др.

Лупа. Для того чтобы различить мелкие детали рассматриваемого предмета, угол зрения должен быть большим. Увеличение угла зрения можно достигнуть приближением предмета к глазу, что обеспечивается с помощью оптических приборов. Большему углу зрения соответствует и большее изображение на сетчатке глаза. Простейший прибор, позволяющий рассматривать мелкие предметы, представляет собой собирающую короткофокусную линзу ($F \approx 10$ см). Эту линзу называют лупой. Лупу, как правило, помещают близко к глазу, а рассматриваемый предмет располагают в ее фокальной плоскости (рис. 42.1). При этом изображение на сетчатке получается без напряжения глаза. Увеличение, даваемое лупой, ограничено ее размерами. Нам известно, что линза с большой оптической силой — сильно выпуклая линза. Из-за этого размеры лупы приходится уменьшать, что ограничивает поле зрения и затрудняет пользование лупой. Именно поэтому лупы с увеличением более чем в 40 раз не применяются.

Лупами пользуются часовые мастера, геологи, ботаники, криминалисты, филателисты.

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Камера-обскура (с латинского *camera obscura* — «темная комната») — простейший вид устройства, позволяющего получать оптическое изображение объектов. Представляет собой светонепроницаемый ящик с отверстием в одной из стенок и экраном (матовым стеклом или тонкой белой бумагой) на противоположной стене.

Лучи света, проходя сквозь отверстие диаметром около 0,5—5 мм, создают перевернутое изображение на экране (рис. 42.2). На основе камеры-обскуры были сделаны некоторые фотокамеры.

Впервые о камере-обскуры упоминается в работах китайских философов в V веке, которые получили перевернутое изображение на стене затемненной комнаты. В X веке арабский ученый Ибн Аль-Хайсам (Альгазен) из Басры пользовался специальными палатками для наблюдений за затмениями Солнца, в которых рассматривал изображения Солнца на противоположной стенке. Альгазен был первым, кто объяснил принцип действия камеры-обскуры, основываясь на принципе прямолинейности распространения света. В средние века камера-обскуры неоднократно использовалась для астрономических наблюдений.

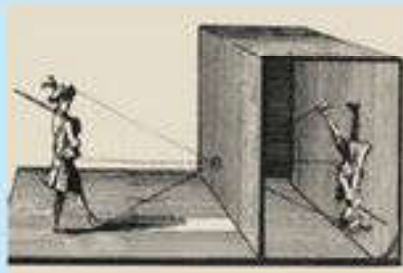


Рис. 42.2



Опыт. Вы можете самостоятельно изготовить камеру-обскуры. Для этого необходимы картонный ящик, блестящая бумага для обертывания шоколада, скотч, белая бумага, канцелярская игла, канцелярский нож.

1. В боковой стороне картонного ящика ножом вырежьте прямоугольное отверстие.

2. Это отверстие закройте блестящей бумагой, предварительно проделав в ней щель.

3. Внутри ящика на противоположной отверстию стороне прикрепите белую бумагу, которая будет служить экраном. На экране будет видно изображение как на рисунке 42.3.

4. На дне одного из ящиков вырежьте отверстие, чтобы проходила голова; все вокруг закрепите скотчем, чтобы не проходил свет. Ваша камера-обскуры готова. Повернув щель к предмету, увидите на экране изображение предмета.

Если на экране закрепить фотопленку, то можно получить фотографию предмета. Камера-обскуры превращается в фотокамеру.

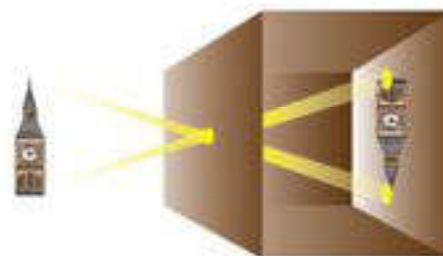


Рис. 42.3

Перископ. Еще один оптический прибор — перископ (с древнегреческого ΠΕΡΑ — “вокруг” и ΤΚΟΠΕΩ — “смотрю”) — оптический прибор для наблюдения из укрытия. Этот прибор легко изготовить самостоятельно.



Необходимый материал для изготовления перископа: любая бумажная коробка, два плоских зеркала одинакового размера, скотч, канцелярский нож, ножницы, линейка, простой карандаш (рис. 42.4, а).

Порядок выполнения работы:

С двух краев коробки отмерьте по 3 см и отогните под прямым углом. Закрепите отогнутые края скотчем (рис. 42.4, б) и в них, также при помощи скотча установите зеркала, причем зеркальная сторона



должна быть обращенной к коробке (рис. 42.4, в). Перископ готов. Теперь поставьте его вертикально. Направьте верхний край перископа на предмет, нижним краем следите за изображением (рис. 42.4, г).



Рис. 42.4

Проекционные оптические приборы. К проекционным приборам относятся оптические приборы, дающие на экране действительное, увеличенное изображение предмета (рис. 42.5). Различают три вида этих приборов: *диаскоп* (от лат. *диа* — “прозрачный”), служащий для проектирования прозрачных предметов на экран; *эпископ*, проектирующий на экран непрозрачные предметы, и *эпидиаскоп*, проектирующий и прозрачные, и непрозрачные предметы. Во всех случаях предмет помещают между фокусом и двойным фокусом объектива. Чем ближе предмет к фокусу, тем большее увеличение дает проекционный аппарат. В диакопе имеется мощный источник света, световой поток от которого направляется с помощью *конденсора* (системы линз) на *диапозитив* (прозрачный объект). Для увеличения светового потока иногда за источником света устанавливают вогнутое зеркало, которое отражает свет и направляет его обратно в систему линз. Конденсор устанавливают так, чтобы он давал изображение небольшого источника света на объектив, который в свою очередь проектирует диапозитив на экран.



Рис. 42.5



- Подумайте, почему предметы необходимо помещать между фокусом и двойным фокусом? Подтвердите свои соображения графическим решением.

Для демонстрации непрозрачных предметов, например, рисунков в книге, их сильно освещают с помощью лучей, идущих от лампы, помещенной в фокус вогнутого зеркала. Далее световой поток, отражаясь от рисунка, попадает на плоское зеркало, а от него с помощью светосильного объектива на экран. Такой прибор называется *эпископом*.

Фотоаппарат. *Фотоаппарат* — это оптическое устройство с линзовой системой, с помощью которой получают изображение предмета на светочувствительной пленке, сохраняющей изображение. Основные части фотоаппарата: объектив, непрозрачная камера, фотопленка (рис. 42.6). *Объектив* представляет собой сложную систему линз, предназначенную для проектирования изображения на фотопленку. С помощью объектива проектируют изображение предмета на фотопленку. На плоскости фотопленки получается действительное, уменьшенное, перевернутое изображение предмета. Под действием световой энергии на фотопленке происходит разложение бромистого серебра и образуется негатив.

Сам предмет при фотографировании помещают за двойным фокусом, а его изображение получается между фокусом и двойным фокусом. Так как расстояние от предмета до объектива может быть различным, то для получения резкого изображения необходимо изменять и расстояние между объективом и фотопленкой. Это делают, перемещая сам объектив. От величины световой энергии, попадающей на фотопленку, зависит качество снимка. Поэтому в фотоаппарате есть специальный затвор, пропускающий свет лишь определенное время — время экспозиции, которое зависит от качества пленки и от ее освещенности.

Диаметр действующей части объектива можно изменять с помощью диафрагмы. Уменьшая отверстие диафрагмы, можно добиться того, что изображения точек, находящихся на разных расстояниях от фотоаппарата, будут одинаково четкими. Возрастает, как говорят, глубина резкости.

Значение фотографии трудно переоценить. Современная фотография стала быстрой, цветной, стереоскопической. Она широко применяется во многих областях жизни: с ее помощью получают информацию и о космических объектах, и о микрочастицах, она фиксирует невидимые излучения. Нас радует художественная фотография. Фотокорреспонденты дают более полный отчет о событиях, происходящих вокруг нас.

Микроскоп. Для рассматривания совсем маленьких предметов используют *микроскоп* (рис. 42.7). Простейший микроскоп представ-

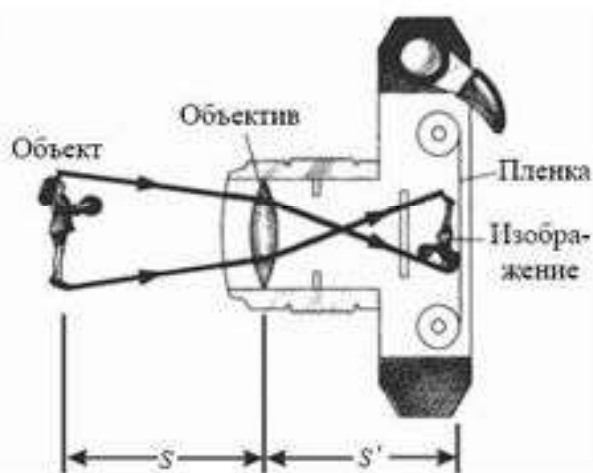
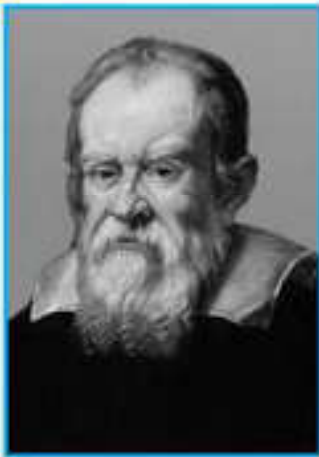


Рис. 42.6



Рис. 42.7



Галилео Галилей
(1564—1642)



Рис. 42.8



Рис. 42.9

ляет собой комбинацию двух линз. Собирающая длиннофокусная линза, обращенная к предмету, называется *объективом*. Она дает действительное, увеличенное изображение предмета. Это изображение рассматривается через другую собирающую короткофокусную линзу (лупу), которую называют *окуляр*ом. Рассматриваемый предмет располагается между объективом и его фокусом ближе к фокусу. Тогда объектив даст увеличенное, действительное изображение предмета, которое получается за объективом вблизи фокуса окуляра.

Современные оптические микроскопы дают увеличение в 2—3 тысячи раз.

Кроме оптических приборов, позволяющих рассматривать мелкие предметы, существуют и другие оптические приборы, с помощью которых можно рассматривать предметы, расположенные на дальнем расстоянии. К ним относятся телескопы, зрительные трубы, бинокли и т. д. Первая в мире зрительная труба была изготовлена Г. Галилеем в 1609 г. (рис. 42.8). С помощью объектива зрительной трубы получают изображение предмета вблизи глаза, которое затем рассматривается в окуляре, как в лупу.

Телескоп — это оптический прибор для наблюдения небесных тел (планет, звезд, комет и т. д.) (рис. 42.9). Телескопы разделяются на линзовые (*рефракторы*, от латинского *refractus* — “преломлять”) и зеркальные (*рефлекторы*, от латинского *reflectere* — “отражать”). Первый зеркальный телескоп создал И. Ньютон в 1671—1672 гг. В телескопе-рефлектор объективом служит параболическое зеркало большого диаметра.

Крупнейший в мире телескоп-рефлектор с диаметром зеркала 6 м был изготовлен в СССР и установлен на Северном Кавказе и называется Большой телескоп Альт-азимутальный (БТА) (рис. 42.10).

А крупнейший в мире телескоп-рефрактор с объективом диаметром 1,02 м изготовлен и установлен в США. Увеличение телескопов превышает 500 раз за счет большого фокусного расстояния объектива. С помощью телескопов можно различать предметы на Луне размером менее 1 м, а на Марсе — предметы размером около 100 м.

В начале 60-х годов XX века в разные районы юга Казахстана направлялись экспедиции для поиска места строительства новой большой обсерватории. Подходящее место было найдено в 80 километрах

от Алматы на Ассы-Тургеньском плато на высоте 2 750 метров над уровнем моря (рис. 42.11). Отсутствие городской подсветки, безветренные ночи, хорошая прозрачность и спокойствие атмосферы — это важные характеристики астроклимата, по которым и оценивается выбор места для обсерватории. К этому времени Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова уже получил 60-сантиметровый телескоп, изготовленный известной немецкой фирмой “Карл Цейс (Йена)”, и был установлен в 1976 году. На сегодняшний день в высокогорной обсерватории Ассы-Тургень установлен самый большой телескоп Казахстана АЗТ-20. Качество изображений на Ассы-Тургеньском плато иногда было просто удивительно качественным. В ближайшее время планируется модифицировать оптическую систему телескопа. Уже есть проект о постройке на обсерватории Ассы-Тургень новейшего 3,6-метрового телескопа, который позволит улучшить качество изображений.



Рис. 42.10



Рис. 42.11



1. Для каких целей служит лупа?
2. Почему создание камеры-обскуры сыграло важную роль в оптике?
3. Какие детали являются основными в перископе?
4. Почему в проекционной аппаратуре предмет всегда помещают между фокусом и двойным фокусом линзы? Ответ подтвердите рисунком.
5. Почему мы рассматриваем глаз как оптическую систему?
6. Чем строение глаза похоже на устройство фотоаппарата? В чем вы видите различие между ними?
7. Почему предмет при фотографировании необходимо помещать за двойным фокусом линзы?
8. При фотографировании на объектив фотоаппарата села муха. Как это повлияет на качество снимка? Увидим ли мы на снимке муху? Почему?

Что вы усвоили по данной теме?

Что вы открыли для себя на уроке?	Какой опыт (эксперимент) заставил вас задуматься?	Где проявились ваши творческие способности?	Какие личные интересы проявились и на что они теперь направлены?

Самое важное в главе

Световые явления

В *геометрической оптике*, которая изучает законы распространения света, есть четыре закона:

- Закон прямолинейного распространения света: луч света в однородной среде распространяется прямолинейно.

- Закон независимого распространения света: световые лучи, встречаясь, не оказывают влияния на дальнейшее распространение друг друга.

- Закон отражения света: 1) луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр, восстановленный в точке падения луча к границе раздела двух сред, лежат в одной плоскости; 2) угол падения α равен углу отражения γ .

- Закон преломления света: 1) луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, восстановленный в точке падения луча к границе раздела двух сред, лежат в одной плоскости; 2) отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных двух сред, которую называют относительным показателем преломления первой среды относительно второй: $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$.

На явлениях отражения и преломления и их законах работают многие оптические приборы, в том числе и плоские, и сферические зеркала, линзы, проекционная аппаратура.

Во многих оптических приборах используется *линза* — прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями.

Формула тонкой линзы $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ позволяет найти положение изображения предмета, которое дает линза.

При построении изображений в линзах используют *три замечательных луча*.

Линзы, призмы, зеркала являются основой в работе проекционной аппаратуры и других оптических приборов.

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Работа № 1. СРАВНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ ПРИ СМЕШИВАНИИ ВОДЫ РАЗНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Введение: В процессе теплообмена передача тепловой энергии идет от более горячего тела к более холодному, при этом в отсутствие теплообмена с внешней средой количество теплоты, полученное холодным телом, равно количеству теплоты, отданному горячим телом.

Цель работы: определить количество теплоты, отданное горячей водой и полученное холодной при их смешивании, и убедиться в правильности выше приведенного утверждения.

Приборы и материалы: мензурка, термометр, стакан, калориметр, чайник с горячей водой (один на весь класс).

Ход работы.

1. Во внутренний стакан калориметра налейте $m_1 = 100$ г горячей воды, вставьте его во внешний сосуд и измерьте температуру воды t_1 .
2. В стакан налейте такое же количество холодной воды и измерьте ее температуру t_2 .
3. Аккуратно влейте холодную воду в калориметр, кончиком термометра помешайте полученную смесь горячей и холодной воды. Измерьте температуру полученной смеси t .
4. Опыт повторите три раза, результаты занесите в таблицу:

№ опыта	Масса горячей воды, m_1 , (кг)	Температура горячей воды, t_1 , (°C)	Масса холодной воды, m_2 , (кг)	Температура холодной воды, t_2 , (°C)	Температура смеси, t , (°C)	Среднее значение величины				
						m_1 , (кг)	m_2 , (кг)	t_1 , (°C)	t_2 , (°C)	t , (°C)
1										
2										
3										

5. Подставив полученные средние значения в формулу $Q_1 = cm_1(t_1 - t)$, рассчитайте количество теплоты, отданное горячей водой.

6. По формуле $Q_2 = cm_2(t - t_2)$ рассчитайте количество теплоты, полученное холодной водой.

7. Сравните полученные результаты. Сделайте выводы. Оцените погрешность эксперимента, объясните, чем она обусловлена.

Работа № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ ПЛАВЛЕНИЯ ЛЬДА

Введение: Плавление твердого вещества всегда происходит с поглощением энергии. Количество теплоты, необходимое для плавления кристаллического вещества массой m , определяется формулой: $Q = m\lambda$, где λ — удельная теплота плавления. Если положить тающий лед в горячую воду при температуре t_1 , вода отдает количество тепла, равное $Q_1 = c_1 m_1 (t_1 - t_2)$. Лед получает теплоту, которая расходуется на его таяние

и последующее нагревание полученной из него при 0°C воды до температуры смеси t_2 :
 $Q_2 = m_2 \lambda + c_2 m_2 (t_2 - 0^{\circ}\text{C})$ Уравнение теплового баланса: $c_1 m_1 (t_1 - t_2) = m_2 \lambda + c_2 m_2 (t_2 - 0^{\circ}\text{C})$.

Отсюда можно определить удельную теплоту плавления льда:

$$\lambda = \frac{c_1 m_1 (t_1 - t_2) - c_2 m_2 t_2}{m_2} \quad (1).$$

Цель работы: определить удельную теплоту плавления льда.

Приборы и материалы: калориметр, термометр, мензурка, стакан с тающим в холодной воде льдом, фильтровальная бумага, чайник с горячей водой (один на весь класс).

Ход работы.

1. Во внутренний стакан калориметра налейте $m_1 = 100$ г горячей воды, вставьте его во внешний сосуд и измерьте температуру воды t_1 .
2. Возьмите кусочек льда из сосуда с холодной водой и тающим льдом, осушите его фильтровальной бумагой и опустите в калориметр с горячей водой.
3. Осторожно перемешивая воду кончиком термометра, внимательно следите за показаниями термометра. Определите температуру воды в калориметре t_2 в момент полного расплавления льда.
4. Перелейте воду из калориметра в мензурку, определите объем воды. Зная первоначальный объем смеси, определите объем льда по формуле: $V = V_1 + V_2$, $V_2 = V - V_1$.
5. Зная объем льда, определите его массу по формуле: $m_2 = \rho_2 \cdot V_2$.
6. Результаты эксперимента занесите в таблицу:

Масса горячей воды m_1 , (кг)	Объем горячей воды, V , (м^3)	Температура горячей воды, t_1 , ($^{\circ}\text{C}$)	Температура льда, t_2 , ($^{\circ}\text{C}$)	Температура смеси, t_3 , ($^{\circ}\text{C}$)	Объем смеси, V_1 , (м^3)	Объем льда, V_2 , (м^3)	Объем льда, m_2 , (кг)	Удельная теплота плавления льда, λ , ($\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$)

7. Подставив полученные результаты измерений в формулу (1), определите удельную теплоту плавления льда.

8. Сделайте выводы.

Работа № 3. СБОРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ И ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ ЕЕ УЧАСТКАХ

Цель работы: убедиться, что сила тока на различных участках цепи одинакова; научиться измерять силу тока и напряжение.

Оборудование: источник тока, амперметр, вольтметр, лампа, два проводочных резистора, ключ, соединительные провода.

Ход работы.

1. Рассмотрите шкалы амперметра и вольтметра, определите цену одного деления.
2. Соберите электрические цепи по схемам, представленным на рисунках 1—3.

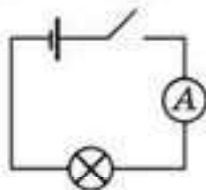


Рис. 1

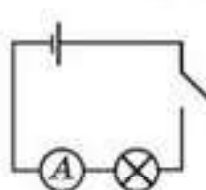


Рис. 2

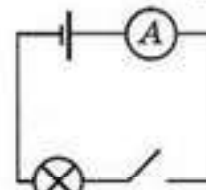


Рис. 3

3. Запишите показания амперметра для каждого случая.
4. Начертите схему собранной цепи.

5. Соберите электрическую цепь из последовательно соединенных источников тока, двух резисторов и ключа.
6. Замкните цепь и измерьте напряжение U_1, U_2 на концах каждого резистора и напряжение U на участке цепи, состоящем из двух резисторов.
7. Рассчитайте $U_1 + U_2$ и сравните с напряжением U .
8. Заполните таблицы 1 и 2.

$I_1, (A)$	$I_2, (A)$	$I_3, (A)$	Вывод

$U_1, (B)$	$U_2, (B)$	$U_3, (B)$	Вывод

9. Сделайте вывод.

Работа № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СИЛЫ ТОКА ОТ НАПРЯЖЕНИЯ НА УЧАСТКЕ ЦЕПИ

Цель работы: измерить силу тока, напряжение, сопротивление на участке цепи.

Оборудование: вольтметр, амперметр, ключ, резистор, реостат, соединительные провода, источник тока.

Ход работы.

1. Рассмотрите шкалы амперметра и вольтметра, определите цену одного деления.
2. Соберите электрическую цепь по схеме, показанной на рис. 4.
3. Замкните цепь.
4. Занесите показания приборов в таблицу при выбранных вами трех положениях ползунка реостата.

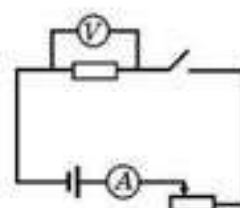


Рис. 4

№ опыта	$I, (A)$	$U, (B)$	$R, (Om)$
1			
2			
3			

5. Используя закон Ома, вычислите сопротивление резистора по формуле: $R = \frac{U}{I}$.
6. Результаты вычислений занесите в таблицу.
7. Сделайте вывод.

Задание. По результатам измерений постройте график зависимости силы тока от напряжения. Сделайте вывод.

Работа № 5. ИЗУЧЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ

Цель работы: проверить закон последовательного соединения проводников.

Оборудование: источник тока, два резистора, реостат, два амперметра, три вольтметра, ключ, соединительные провода.

Ход работы.

1. Рассмотрите шкалы амперметра и вольтметра, определите цену одного деления.
2. Соберите электрическую цепь по схеме (рис. 5).
3. Снимите показания вольтметров $V_1, V_2, V, (U_1, U_2, U_{общ})$.
4. Вычислите общее напряжение по формуле $U_{общ} = U_1 + U_2$ и сравните полученный результат с показаниями вольтметра. Сделайте вывод.

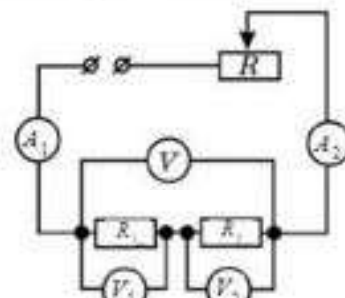


Рис. 5

- Снимите показания амперметров $A_1, A_2, (I_1, I_2)$.
- Сравните результаты. Сделайте вывод.
- Вычислите общее сопротивление участка цепи по формулам:

$$R'_{\text{общ}} = \frac{U_{\text{общ}}}{I}, \quad R_1 = \frac{U_1}{I_1}; \quad R_2 = \frac{U_2}{I_2}; \quad R_{\text{общ}} = R_1 + R_2.$$

Сравните результаты $R'_{\text{общ}}, R_{\text{общ}}$ и сделайте вывод.

- Результаты измерений занесите в таблицу и сделайте выводы.

$I_1, (A)$	$I_2, (A)$	$U_1, (B)$	$U_2, (B)$	$U_{\text{общ}}, (B)$	$R_1, (OM)$	$R_2, (OM)$	$R'_{\text{общ}}, (OM)$	$R_{\text{общ}}, (OM)$

Работа № 6. ИЗУЧЕНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ

Цель работы: проверить закон параллельного соединения проводников.

Оборудование: источник тока, два проводочных резистора, реостат, три амперметра, два вольтметра, ключ, соединительные провода.

Ход работы:

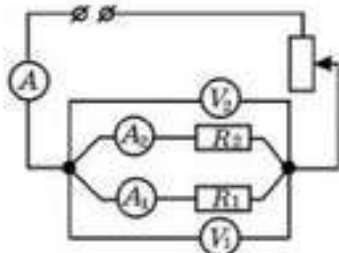


Рис. 6

- Соберите электрическую цепь по схеме (рис. 6).
- Снимите показания вольтметров $V_1, V_2, (U_1, U_2)$.
- Сравните показания вольтметров.
- Снимите показания амперметров $A_1, A_2, A (I_1, I_2, I_{\text{общ}})$.
- Вычислите $I_{\text{общ}} = I_1 + I_2$.
- Сравните полученный результат и сделайте соответствующий вывод.
- Вычислите общее сопротивление участка цепи по формулам:

$$R'_{\text{общ}} = \frac{U_{\text{общ}}}{I_{\text{общ}}}; \quad R_1 = \frac{U_1}{I_1}; \quad R_2 = \frac{U_2}{I_2}; \quad \frac{1}{R_{\text{общ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

- Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

$I_1, (A)$	$I_2, (A)$	$I_{\text{общ}}, (A)$	$U_1, (B)$	$U_2, (B)$	$R_1, (OM)$	$R_2, (OM)$	$R'_{\text{общ}}, (OM)$	$R_{\text{общ}}, (OM)$

- Сделайте выводы.

Работа № 7. ИЗМЕРЕНИЕ РАБОТЫ И МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Цель работы: вычислить работу и мощность электрического тока.

Оборудование: источник тока, амперметр, вольтметр, лампа, ключ, соединительные провода, секундомер.

Ход работы:

- Рассмотрите шкалы амперметра и вольтметра, определите цену одного деления.
- Соберите электрическую цепь по схеме, показанной на рисунке 7.
- Замкните цепь и отметьте время включения лампы.
- Снимите показания вольтметра и амперметра.

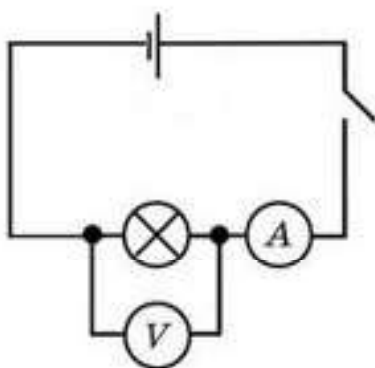


Рис. 7

5. Разомкните цепь и отметьте время выключения лампы.
6. Вычислите величину мощности электрического тока в лампе по формуле:
 $P = I \cdot U$.
7. Вычислите работу электрического тока по формуле: $A = P \cdot t$, где t — время горения лампы.
8. Результаты всех измерений и вычислений занесите в таблицу.

I , (А)	U , (В)	t , (с)	P , (Вт)	A , (Дж)	Потребитель

9. Сделайте выводы.

Работа № 8. ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ПОСТОЯННОГО МАГНИТА И ПОЛУЧЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Цель работы: ознакомиться с постоянными магнитами и продемонстрировать, какие линии образуют магнитные поля вокруг полосового и дугообразного магнитов.

Приборы и материалы: магниты разной формы, железные опилки, бумажный стаканчик, листок бумаги, набор тел из различных материалов.

Ход работы.

1. Определите, какие материалы притягиваются к магниту, а какие нет.

- A) дерево (карандаш, линейка)
- B) сталь (скрепка)
- C) алюминий (цилиндр)
- D) пластмасса (ручка, линейка)
- E) резина (ластик)
- F) медь (провода)

2. Подвесьте к магниту цепочку скрепок, не связанных между собой. Затем, взявшись рукой за верхнюю скрепку, осторожно уберите магнит (рис. 8). Объясните наблюдаемое явление.

3. Опыты с железными опилками.

- A) Насыпьте железные опилки на лист оргстекла и погрузите магнит в железные опилки.

- B) Вынув магнит, обратите внимание, как притягиваются железные опилки к разным местам магнита.

- C) Отметьте места, где оказалось наибольшее количество железных опилок.

- D) Возьмите два полосовых магнита и поднесите их друг к другу разными концами. Опишите наблюдение.

- E) Магниты, находящиеся на столе, накройте листком бумаги.

- F) Насыпьте на бумагу тонкий слой железных опилок.

- G) Рассмотрите получившиеся магнитные линии.

- H) Зарисуйте рисунки, полученные в пунктах E и D.

- I) Сделайте вывод о проделанной работе с созданными вами рисунками.



Рис. 8

Работа № 9. СБОРКА ЭЛЕКТРОМАГНИТА И ПРОВЕРКА ЕГО В ДЕЙСТВИИ

Цель работы: ознакомиться с основными деталями электромагнита и собрать его.

Оборудование: источник тока, реостат, ключ, соединительные провода, магнитная стрелка, детали для сборки электромагнита.

Ход работы.

1. Соберите электрическую цепь из последовательно соединенных источников тока, катушки, реостата и ключа.
2. Замкните цепь и определите магнитные полюсы катушки, используя магнитную стрелку.
3. Магнитную стрелку расположите на таком расстоянии от катушки, на котором действие магнитного поля катушки на нее незначительно.
4. В катушку вставьте железный сердечник.
5. Пронаблюдайте действие электромагнита на магнитную стрелку.
6. С помощью реостата измените силу тока и наблюдайте действие магнитного поля электромагнита на магнитную стрелку.
7. Сделайте вывод.

Работа № 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СТЕКЛА

Цель работы: научиться определять показатель преломления стекла.

Приборы и материалы: пластинка с параллельными гранями, пробка с булавками, чистый лист бумаги, лист картона, транспортир, таблица тригонометрических величин (таблица Брадиса).

Ход работы.

1. Положите чистый лист бумаги на картон, на лист — стеклянную пластинку и карандашом обведите ее контуры.

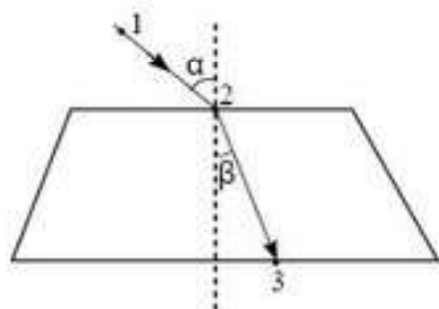


Рис. 9

2. С одной стороны стекла наколите две булавки так, чтобы одна из них расположилась на верхней грани пластинки, а вторая произвольно так, чтобы прямая, проходящая через эти булавки, не совпала с перпендикуляром к верхней грани.

3. Поднимите картон на уровень глаз и, глядя через стекло, вколите третью булавку в нижнюю грань контура пластинки так, чтобы она закрыла собой изображение двух первых булавок (рис. 9).

4. Стекло и булавки снимите, места наколов отметьте точками 1, 2, 3 и через них проведите прямые до пересечения с границами стекла. Через точку 2 проведите перпендикуляр к границе сред.

5. Транспортиром измерьте углы падения α и углы преломления β .

6. По таблице значений синусов определите синусы измеренных углов.

7. Вычислите показатель преломления, учитывая, что $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$.

8. Опыт повторите еще два раза, меняя угол падения α . Для каждого опыта вычислите показатель преломления. Результаты измерений, вычислений запишите в таблице.

№ опыта	Угол падения светового луча α , (град)	Угол преломления β , (град)	Показатель преломления, n
1			
2			
3			

9. Определите среднее арифметическое значение показателя преломления:

$$n_{\text{ср}} = \frac{n_1 + n_2 + n_3}{3}.$$

10. Определите абсолютную погрешность:

$$\Delta n_1 = |n_{\text{ср}} - n_1|;$$

$$\Delta n_2 = |n_{\text{ср}} - n_2|;$$

$$\Delta n_3 = |n_{\text{ср}} - n_3|;$$

$$\Delta n_{\text{ср}} = \frac{\Delta n_1 + \Delta n_2 + \Delta n_3}{3}.$$

11. Определите относительную погрешность:

$$E_{\text{отн}} = \frac{\Delta n_{\text{ср}}}{n_{\text{ср}}} \cdot 100\%.$$

12. Сравните полученное значение показателя преломления с табличной данной. Сделайте вывод.

Работа № 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ И ОПТИЧЕСКОЙ СИЛЫ СОБИРАЮЩЕЙ ЛИНЗЫ

Цель работы: определить фокусное расстояние и оптическую силу линзы.

Приборы и материалы: собирающая линза, экран, лампочка с прорезью в виде буквы Г, линейка.

Ход работы.

1. Линзу, источник света и экран расположите на одной линии, причем источник света далеко от линзы (рис. 10).

2. На экране увидите яркую светящуюся точку. Это и есть изображение, полученное в фокусе. Расстояние между линзой и экраном есть фокусное расстояние F .

3. По формуле $D = \frac{1}{F}$ определите оптическую силу линзы.

4. Сделайте вывод.

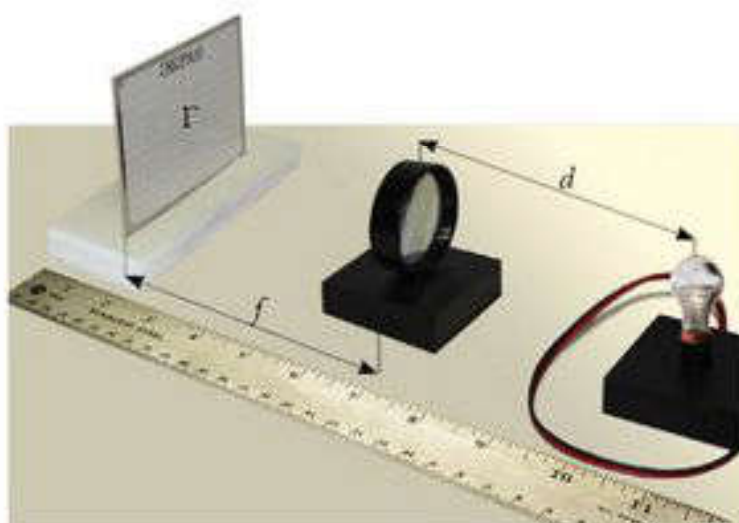


Рис. 10

5. Располагая лампочку на разных расстояниях от линзы ($F < d < 2F$; $d = 2F$; $d > 2F$), получите на экране изображение буквы Г.

6. Опишите наблюдаемое изображение (дайте ему характеристику).

7. Измерьте расстояние от линзы до лампочки d и от линзы до экрана f . Данные измерения занесите в таблицу.

№ опыта	d , (м)	f , (м)	F , (м)	D , (лптр)
1				
2				
3				

8. Из формулы тонкой линзы $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ найдите расстояние линзы: $F = \frac{d \cdot f}{d + f}$.

9. Найдите $F_{\text{ср}} = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{3}$.

10. Сделайте выводы.

Перечень основных формул

Молекулярная физика

Молекулярная физика изучает тепловые явления, связанные с изменением температуры

Внутренняя энергия — это сумма кинетической энергии движения всех молекул тела и потенциальной энергии взаимодействия всех молекул тела
Количество теплоты Q (Дж) — энергия, с которой тела обмениваются в процессе теплопередачи
Виды теплопередачи: теплопроводность, конвекция, излучение
Количество теплоты, необходимое для нагрева тела: $Q = cm(t_2 - t_1)$
Количество теплоты, необходимое для плавления тела, находящегося при температуре плавления: $Q = \lambda m$
Количество теплоты, необходимое для превращения в пар тела, находящегося при температуре кипения: $Q = rm$
Количество теплоты, выделяющееся при сгорании топлива: $Q = qm$
Уравнение теплового баланса: $Q_{отданное} + Q_{принятое} = 0$

Электростатика

Электростатика изучает взаимодействие неподвижных зарядов

Закон сохранения заряда: $q_1 + q_2 + q_3 + \dots = q = \text{const}$
Закон Кулона: $F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2}$
Напряженность электрического поля: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$
Напряженность электрического поля точечного заряда: $E = k \frac{q}{r^2}$
Разность потенциалов или напряжение: $U = \phi_1 - \phi_2 = \frac{A_{эп}}{q_0}$
Работа по перемещению заряда в электрическом поле: $A_{эп} = qU$
Емкость одиночного проводника и конденсатора соответственно: $C = \frac{q}{\phi}$; $C = \frac{q}{U}$
Емкость плоского конденсатора: $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$
Энергия заряженного конденсатора: $W_{\epsilon} = \frac{CU^2}{2}$, или $W_{\epsilon} = \frac{q^2}{2C}$, или $W_{\epsilon} = \frac{qU}{2}$

Постоянный электрический ток

Величины, характеризующие электрическую цепь:	$I = \frac{q}{t}$; $U = \frac{A_{\text{эл}}}{q_0}$; $R = \rho \frac{l}{S}$
Величины, характеризующие источник тока:	1) ЭДС $E = \frac{A_{\text{вн}}}{q_0}$ (В); 2) внутреннее сопротивление r (Ом)
Закон Ома для участка цепи:	$I = \frac{U}{R}$, для полной цепи: $I = \frac{E}{r + R}$
Закон Джоуля-Ленца:	$Q = I^2 R t$
Полная работа (работа источника):	$A_{\text{ст}} = E I t$; полная мощность: $P_{\text{полная}} = E I$
Полезная работа (работа тока на нагрузке):	$A_{\text{полез}} = U I t$; полезная мощность: $P_{\text{полез}} = U I$
КПД источника тока:	$\eta = \frac{R}{R + r}$
Признаки последовательного соединения резисторов:	1) $I = I_1 = I_2$; 2) $U = U_1 + U_2$; 3) $R = R_1 + R_2$
Признаки параллельного соединения резисторов:	1) $I = I_1 + I_2$; 2) $U = U_1 = U_2$; 3) $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

Световые явления

В геометрической оптике действуют 4 закона, которым подчиняется распространение света:
1) прямолинейного распространения света;
2) независимого распространения света;
3) законы отражения: $\alpha = \gamma$, где α — угол падения луча света, γ — угол отражения;
4) законы преломления: $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$, где α — угол падения, а β — угол преломления света
Формула тонкой линзы: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$
Оптическая сила линзы: $D = \frac{1}{f}$
Линейное увеличение линзы: $\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$, где h и H — высота предмета и его изображения соответственно, а d и f — расстояния предмета и его изображения от линзы

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *А. В. Перышкин, Н. А. Родина.* Физика. Учебник для 8 кл. сред. шк. М.: Просвещение, 1998.
2. *И. К. Кикоин, А. К. Кикоин.* Физика. Учебник для 8 кл. сред. шк. М.: Просвещение, 1980.
3. *Ландсберг Г. С.* (ред.). Элементарный учебник физики. Т. 1. Механика. Теплота. Молекулярная физика. М.: Наука, 1960.
4. *Ландсберг Г. С.* (ред.). Элементарный учебник физики. Т. 2. Электричество и магнетизм. М.: Наука, 1960.
5. *Ландсберг Г. С.* (ред.). Элементарный учебник физики. Т. 3. Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика. М.: Наука, 1960.
6. *Б. А. Кронгарт, В. И. Кем, Н. Койшибаев.* Физика. Учебник для 10 кл. естеств.-мат. напр. Алматы: Мектеп, 2014.
7. *С. Тужбаев, Ш. Насохова, Б. Кронгарт* и др. Физика. Учебник для 11 кл. естеств.-мат. напр. Алматы: Мектеп, 2015.
8. *И. В. Кривченко.* Физика. Учебник для 8 кл. 2015.
9. *А. С. Енохович.* Краткий справочник по физике, 2-е изд. М.: Высшая школа, 1976.
10. *Л. Э. Генденштейн, Л. А. Кирик, И. М. Гельфгат.* Сборник задач по физике для 8 кл.
11. *Б. А. Кронгарт, В. И. Кем.* Сборник задач по физике для 8 кл. Алматы: Мектеп, 2012.
12. *И. В. Лукашек, Е. В. Иванова.* Сборник задач по физике для 7—9 кл. 2004.
13. *А. П. Рымкевич, П. А. Рымкевич.* Сборник задач по физике. Дрофа, 2014.
14. *Л. А. Кирик.* Самостоятельные и контрольные работы по физике для 8 кл. М.: Илекса, 2014.
15. *Г. Н. Степанова.* Сборник задач по физике. М.: Просвещение, 1995.
16. *Браверман Э. М.* Вечера по физике в средней школе. Пособие для учителей. М.: Просвещение, 1969.
17. *Кацица П. Л.* Понимаете ли вы физику? М.: Знание, 1968.
18. *Ланге В. Н.* Физические парадоксы, софизмы и занимательные задачи. М.: Просвещение, 1967.
19. *Ланге В. Н.* Экспериментальные физические задачи на смекалку. М.: Наука, 1974.
20. *Маковецкий П. В.* Смотри в корень! Сборник любопытных задач и вопросов, 3-е изд. М.: Наука, 1976.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	4
Глава 1. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ	
§ 1. Тепловое движение. Броуновское движение. Диффузия	6
§ 2. Температура и способы ее измерения	10
§ 3. Внутренняя энергия. Способы изменения внутренней энергии	14
§ 4. Теплопроводность, конвекция, излучение	19
§ 5. Теплопередача в природе и технике	22
§ 6. Роль тепловых явлений в жизни живых организмов	26
§ 7. Количество теплоты, удельная теплоемкость вещества	29
§ 8. Энергия топлива. Удельная теплота сгорания топлива	33
§ 9. Закон сохранения и превращения энергии в тепловых процессах	36
Глава 2. АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА	
§ 10. Плавление и кристаллизация твердых тел, температура плавления	42
§ 11. Удельная теплота плавления	46
§ 12. Парообразование и конденсация. Ненасыщенные и насыщенные пары	49
§ 13. Кипение, удельная теплота парообразования. Зависимость температуры кипения от внешнего давления	53
Глава 3. ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ И	
§ 14. Первый закон термодинамики. Работа газа и пара	60
§ 15. Необратимость тепловых процессов. Второй закон термодинамики	63
§ 16. Тепловые двигатели и их КПД	66
Глава 4. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОСТАТИКИ	
§ 17. Электрический заряд. Электризация тел	76
§ 18. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона	84
§ 19. Электрическое поле. Напряженность электрического поля. Силовые линии электростатического поля	88
§ 20. Потенциал и разность потенциалов электрического поля.	94
§ 21. Проводники и диэлектрики	96
§ 22. Электроемкость. Конденсатор	100
Глава 5. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК	
§ 23. Постоянный электрический ток. Источники электрического тока	106
§ 24. Электрическая цепь и ее составные части. Сила тока. Напряжение	111
§ 25. Закон Ома для участка цепи. Электрическое сопротивление проводника. Удельное сопротивление вещества. Реостат и потенциометр	115
§ 26. Последовательное и параллельное соединение проводников	122
§ 27. Работа и мощность электрического тока. Тепловое действие электрического тока. КПД. Закон Джоуля-Ленца	129
§ 28. Зависимость электрического сопротивления металлов от температуры. Сверхпроводимость	135

§ 29. Электронагревательные приборы, лампа накаливания, короткое замыкание, плавкие предохранители	138
§ 30. Химическое действие электрического тока. Закон Фарадея	142

Глава 6. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 31. Постоянные магниты. Магнитное поле	148
§ 32. Магнитное поле прямолинейного проводника с током. Магнитное поле катушки с током	154
§ 33. Электромагниты и их применение	159
§ 34. Действие магнитного поля на проводник с током. Электродвигатели, электроизмерительные приборы	161
§ 35. Электромагнитная индукция. Генератор	168

Глава 7. СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 36. Закон прямолинейного распространения света	176
§ 37. Отражение света. Закон отражения света. Плоское зеркало	183
§ 38. Сферические зеркала. Построение изображений в сферических зеркалах	189
§ 39. Явление преломления света	194
§ 40. Линзы, оптическая сила линзы, формула тонкой линзы. Получение изображения в линзах	199
§ 41. Глаз как оптическая система, дефекты зрения и способы их исправления	207
§ 42. Оптические приборы	212
Лабораторная работа	219



Учебное издание

**Кронгарт Борис Аркадьевич
Насохова Шолпан Бабиевна**

ФИЗИКА

Учебник для 8 класса общеобразовательных школ

Редактор *К. Амирова*

Худож. редактор *А. Сланова*

Техн. редактор *Л. Садыкова*

Корректор *А. Сапаргалиева*

Компьютерная верстка *Н. Сейдахметовой*

Государственная лицензия № 0000001 выдана издательству
Министерством образования и науки Республики Казахстан 7 июля 2003 года

ИБ № 5709

Подписано в печать 13.06.18. Формат 70·100^{1/16}. Бумага офсетная.

Гарнитура "ММ Mekteptik". Печать офсетная.

Усл.-печ. л. 18,71 + 0,32 форзац. Усл. кр.-отт. 76,77.

Уч.-изд. л. 14,57 + 0,54 форзац. Тираж 52 000 экз. Заказ №

Издательство "Мектеп", 050009, г. Алматы, пр. Абая, 143

Факс: 8(727) 394-42-30, 394-37-58

Тел.: 8(727) 394-42-34

E-mail: mektep@mail.ru

Web-site: www.mektep.kz

