



8

О. Ф. Кабардин

ФИ  
ЭИ  
КА



ПРОСВЕЩЕНИЕ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО



# ФИЗИКА

О. Ф. Кабардин

**8** класс

Учебник  
для общеобразовательных  
организаций

*Рекомендовано Министерством образования  
и науки Российской Федерации*

Москва «Просвещение» 2014



УДК 373.167.1:53  
ББК 22.3я72  
К12

На учебник получены **положительные заключения** по результатам **научной** (заключение РАН № 10106-5215/11 от 29.09.2011 г.), **педагогической** (заключения РАО №01-5/7д-391 от 17.10.2011 г. и № 318 от 29.01.14 г.) и **общественной** (заключение РКС № 299 от 07.02.2014 г.) экспертиз.

**Кабардин О. Ф.**

К12 Физика. 8 класс : учеб. для общеобразоват. организаций / О. Ф. Кабардин. — М. : Просвещение, 2014. — 176 с. : ил. — ISBN 978-5-09-030078-0.

Предлагаемый учебник — один из основных элементов предметной линии УМК «Архимед» по физике. Он способствует достижению образовательных результатов (личностных, метапредметных и предметных) по физике в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования.

Учебник имеет фиксированный формат. Материал учебника предполагает изучение всех тем курса физики на уровне ознакомления с физическими явлениями, формирования основных физических понятий, определения физических величин, приобретения умения измерять физические величины, применения полученных знаний на практике.

Материал учебника распределён по рубрикам в соответствии с видами учебной деятельности («Экспериментальное задание», «Прочитайте», «Найдите», «Дискуссия», «Темы сообщений» и др.).

В нём содержатся тестовые задания для эффективной подготовки к итоговой аттестации.

Учебник предназначен для учащихся 8 класса основной школы.

УДК 373.167.1:53  
ББК 22.3я72

ISBN 978-5-09-030078-0

© Издательство «Просвещение» 2014  
© Художественное оформление.  
Издательство «Просвещение», 2014  
Все права защищены

Вы продолжаете изучение физики. В этом учебнике рассматриваются электрические, магнитные и световые явления, история их открытий. Вы сможете узнать, отчего происходят молния и гром во время грозы, как может протекать электрический ток внутри твёрдых сплошных металлических проводников, как передаются с помощью радиоволн звуковые сигналы и изображения на большие расстояния. Вы познакомитесь с принципом действия многих электрических приборов и машин, используемых в повседневной жизни: от электрического фонаря, электрического звонка, электромотора и электрогенератора до радиоприёмника и телевизора.

Знание законов, которым подчиняются электрические явления, поможет понять, в каких случаях использование электрических приборов и машин может представлять опасность для вашей жизни и какие правила необходимо выполнять для обеспечения безопасности.

Не для каждого из вас физика является самым интересным и самым нужным для изучения предметом. Кому-то более интересны, например, история или литература, кто-то увлекается математикой или музыкой. Данный учебник построен так, чтобы им было удобно пользоваться как учащимся, для которых физика — один из любимых предметов, так и учащимся, которые интересуются другими учебными предметами. Для этого материал каждого параграфа разделён на две части — имеет два разворота. На первом развороте (две страницы) приведён материал, которым должен овладеть каждый ученик. Материал второго разворота (следующие две страницы) предназначен для учащихся, проявляющих повышенный интерес к физике и желающих расширить и углубить свои знания. Однако всем учащимся рекомендуется хотя бы бегло ознакомиться с этим материалом, потому что он может оказаться интересным и полезным.

Большинство изучаемых явлений предлагается исследовать самостоятельно при выполнении экспериментальных заданий на уроках физики. Для тех из вас, у кого к изучению физики возникнет особый интерес, в учебнике имеются дополнительные экспериментальные задания, многие из которых могут быть выполнены в домашних условиях с использованием простых и доступных приборов и материалов. При изучении некоторых тем вы можете подготовить сообщения. Темы сообщений согласуйте с учителем. Дополнительную литературу и сайты Интернета подберите самостоятельно.

Для приобретения умения применять полученные знания на практике в учебнике даются задачи и приводятся примеры решения типовых задач.

Для самопроверки усвоения полученных знаний и умений в конце тем даны четыре теста и в конце учебника — итоговый тест. Тест состоит из простых задач, для решения которых не требуются сложные вычисления. К каждой задаче дано несколько вариантов ответа, из которых



нужно выбрать правильный. Если тест содержит задание в форме незаконченного предложения, то нужно из предложенных завершений выбрать правильное.

В некоторых заданиях в качестве возможных ответов предлагаются утверждения, каждое из которых в принципе является верным с точки зрения физики, но только одно из этих утверждений является правильным ответом на вопрос задания. Поэтому нужно внимательно читать условие задачи и возможные варианты ответа.

Для подготовки к тестовому контролю нужно просмотреть весь материал темы по учебнику, подготовить ответы на контрольные вопросы к изученным параграфам, решить предложенные задачи. После выполнения заданий тематического теста нужно проверить решение по кодам правильных ответов в конце учебника. Обнаружив при выполнении тестовых заданий пробелы в своих знаниях и умениях, вы можете их заполнить, изучив соответствующий материал в учебнике.



# Электрические и магнитные явления

<b>1</b>	Электрический заряд. Взаимодействие зарядов	6	<b>13</b>	Природа электрического тока	56
<b>2</b>	Закон сохранения электрического заряда	10	<b>14</b>	Полупроводниковые приборы	60
<b>3</b>	Действие электрического поля на электрические заряды	14	<b>15</b>	Правила безопасности при работе с источниками электрического напряжения	64
<b>4</b>	Энергия электрического поля	18	<b>16</b>	Взаимодействие постоянных магнитов	70
<b>5</b>	Постоянный электрический ток	24	<b>17</b>	Магнитное поле тока	74
<b>6</b>	Источники постоянного тока	28	<b>18</b>	Электромагнит	78
<b>7</b>	Сила тока	32	<b>19</b>	Действие магнитного поля на проводник с током	82
<b>8</b>	Закон Ома для участка цепи	36	<b>20</b>	Электродвигатель	86
<b>9</b>	Измерение электрических величин	40	<b>21</b>	Электромагнитная индукция	90
<b>10</b>	Последовательное соединение проводников	44	<b>22</b>	Правило Ленца	94
<b>11</b>	Параллельное соединение проводников	48	<b>23</b>	Самоиндукция	98
<b>12</b>	Работа и мощность электрического тока	52	<b>24</b>	Электрогенератор	102





## § 1. Электрический заряд. Взаимодействие зарядов



Рис. 1.1



Рис. 1.2



Рис. 1.3

**Электризация тел.** Выполним простой опыт с надувными воздухом резиновыми шарами на нитях. Опыт показывает, что нити подвеса расположены вертикально, между ними не действуют силы притяжения и отталкивания (рис. 1.1). Не действуют эти силы и между шаром и человеком (рис. 1.2).

Возьмём один шар и проведём им несколько раз по поверхности одежды (рис. 1.3), затем то же самое сделаем с другим шаром. Опыт показывает, что после этого шары будут отталкиваться друг от друга (рис. 1.4), следовательно, между ними действует сила отталкивания. А между шаром и одеждой, с которой соприкасался шар, действует сила притяжения (рис. 1.5).

С таким явлением вы, конечно, знакомы, так как оно часто происходит в нашей жизни при снятии одежды. Это явление называется **электризацией тел**.

Но название ничего не объясняет. Чтобы лучше понять особенности электризации тел, обсудим результаты экспериментов. Притяжение между резиновым шаром и одеждой возникло в результате соприкосновения тел и небольшого их взаимного перемещения, трения одного тела по поверхности другого. Как вы думаете, произойдёт ли электризация двух резиновых шаров, если их потереть друг о друга?

Опыт с двумя шарами показывает, что после их соприкосновения и взаимного перемещения сила притяжения между ними не обнаруживается, электризация тел не происходит.

То же самое наблюдается и при соприкосновении любых других тел из одинакового вещества. Отсюда можно сделать вывод, что **электризация происходит только при соприкосновении тел из разных веществ**.

**Два вида электрических зарядов.** Опыт показывает, что два одинаково наэлектризованных резиновых шара отталкиваются друг от друга (см. рис. 1.4), а между шаром и одеждой действует сила притяжения (см. рис. 1.5). Из этих опытов следует сделать вывод, что при соприкосновении два тела электризуются по-разному.

Явление электризации тел объясняется существованием в природе **электрических зарядов**. Электрические заряды бывают двух типов — **положительные** и **отрицательные**. Положительными называют электрические заряды, возникающие при электризации поверхности стекла.

Заряды одинакового знака отталкиваются друг от друга, заряды разного знака притягиваются друг к другу (рис. 1.6). Если в теле имеется одинаковое число отрицательных и положительных зарядов, их действие взаимно нейтрализуется, тело нейтрально.

Явление возникновения разноимённых электрических зарядов при соприкосновении тел из разных веществ называется электризацией тел.

**Строение атомов и явление электризации.** Какова связь электрических зарядов с атомами вещества, стало понятно после открытия строения атома и изучения свойств частиц, из которых состоят атомы.



Атом любого вещества состоит из атомного ядра и движущихся вокруг него частиц — **электронов**. Атомное ядро и электроны обладают разноимёнными электрическими зарядами. Электрический заряд, которым обладает электрон, называют отрицательным (рис. 1.7), заряд атомного ядра называют положительным. Суммарный электрический заряд ядра и электронов равен нулю, атом в целом нейтрален.

Силы притяжения электронов к положительно заряженным ядрам атомов у разных химических элементов различны. Поэтому при соприкосновении тел из разных веществ часть электронов от атомов, которые слабо удерживают электроны, может переходить к атомам, у которых атомные ядра притягивают электроны сильнее. Тело, потерявшее часть электронов, имеет положительный электрический заряд, а тело, получившее избыток электронов, имеет отрицательный электрический заряд.

Атом, потерявший один или несколько электронов, обладает положительным электрическим зарядом и называется **положительным ионом**. Атом, присоединивший к себе один или несколько лишних электронов, обладает отрицательным электрическим зарядом и называется **отрицательным ионом**.

Электрический заряд является свойством частицы, сходным с массой. Но масса любых тел одинакова по своим свойствам, а электрические заряды бывают двух типов — положительные и отрицательные. Силы гравитационного взаимодействия между любыми частицами являются силами притяжения. При взаимодействии электрических зарядов между зарядами разного знака действует сила притяжения, а между зарядами одинакового знака — сила отталкивания.



Рис. 1.4



Рис. 1.5

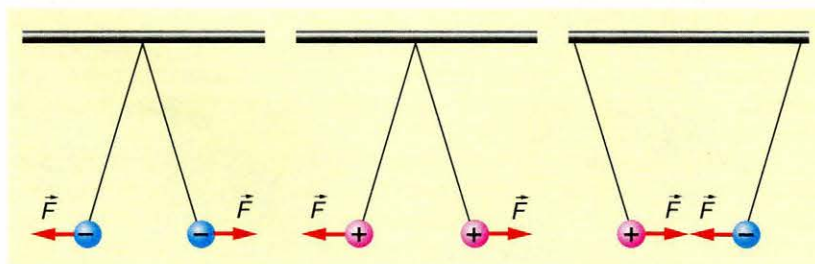


Рис. 1.6

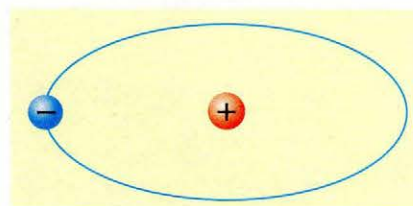


Рис. 1.7

### Экспериментальное задание 1.1

#### Работаем в паре

#### Обнаружение явления электризации тел при соприкосновении

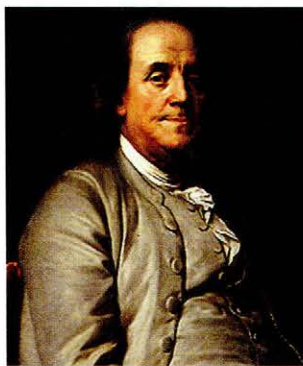
**Оборудование:** два резиновых шара или полиэтиленовых пакета.

Выполните описанные опыты по обнаружению электризации тел при соприкосновении. Пронаблюдайте действие силы притяжения между разноимёнными зарядами и силы отталкивания между одноимёнными зарядами.

### Вопросы

1. Что такое электризация тел?
2. При каких условиях происходит электризация тел?
3. Как объясняется явление электризации тел?
4. На каком основании сделан вывод о существовании двух видов электрических зарядов?
5. Чем отличается взаимодействие тел, обладающих электрическими зарядами, от гравитационного взаимодействия тел, обладающих массой?
6. Каково строение атома?





Бенджамин Франклин

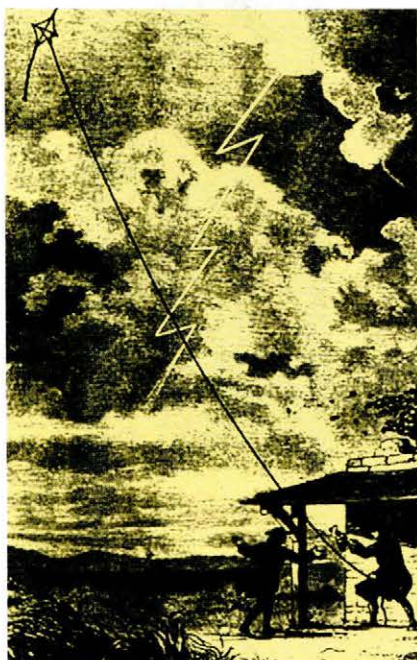


Рис. 1.9



## Вопросы

1. Как объясняется принцип действия электрической машины Герике?
2. Зачем экспериментатор в опытах с электрической машиной становился на скамейку со стеклянными ножками?
3. Как объясняется возникновение искры в опыте Франклина с воздушным змеем?
4. Каков принцип действия громоотвода?

**Открытие электрических явлений.** Первое знакомство человека с электрическими явлениями произошло более 25 столетий тому назад. Фалес Милетский заметил, что кусок янтаря после натирания притягивает к себе лёгкие предметы («янтарь» по-гречески — электрон, откуда и произошли слова «электрон», «электричество»).

Немецкий учёный Отто Герике в 1660 г. построил первую электрическую машину для получения электричества трением вращающегося шара из серы (рис. 1.8).



Рис. 1.8

Экспериментатор становился на скамейку со стеклянными ножками для изоляции от земли, одной рукой касался вращающегося шара, а другой рукой передавал электрические заряды другому человеку, изолированному от земли. Когда к этому человеку приближалась рука человека, стоящего на земле, наблюдалась искра, и человек ощущал электрический удар.

Герике обнаружил, что существует не только электрическое притяжение, но и электрическое отталкивание лёгких тел после их соприкосновения с заряженным шаром, установил возможность перетекания электричества от одного тела к другому.

В 1733 г. американский физик Бенджамин Франклин предположил, что молнии имеют электрическую природу. Для проверки своего предположения он во время грозы запустил воздушного змея с прикреплённым к нему железным остриём, а к концу бечёвки, которой удерживался змей, привязал железный ключ (рис. 1.9). При прохождении грозового облака бечёвка намочилась, и при приближении руки к ключу возникла искра. Предположение Франклина подтвердилось. Для защиты от ударов молний Франклин предложил устанавливать над крышами зданий громоотводы.

Михаил Васильевич Ломоносов и Бенджамин Франклин не были знакомы друг с другом, но оба примерно в одно и то же время занялись изучением атмосферного электричества. Опыты с электричеством и молнией занимали большое место в творчестве Ломоносова. Он был автором первой гипотезы, объясняющей электризацию грозовых облаков.



В 1753 г. М. В. Ломоносов и Г. В. Рихман провели уникальный эксперимент и с помощью «громовой машины» доказали, что электричество содержится в атмосфере и при отсутствии грозы и что молния — это электрические разряды в атмосфере. К несчастью, при проведении эксперимента Георг Рихман погиб от удара молнии.

## Экспериментальное задание 1.2

### Работаем самостоятельно

#### Исследование явления взаимодействия электрических зарядов

**Оборудование:** металлическая скрепка, ластик, полоска металлической фольги, эбонитовая и плексигласовая палочки, кусок шёлковой или шерстяной ткани.

#### Порядок выполнения задания

1. Изогните скрепку так, как показано на рисунке 1.10, и воткните один её конец в край ластика. На горизонтально расположенную часть скрепки навесьте полоску металлической фольги, загнув её конец. При загибании конца фольги оставьте небольшой зазор, чтобы полоска могла свободно вращаться вокруг скрепки. Установите ластик с навешенной полоской фольги на краю стола.



Рис. 1.10

2. Возьмите эбонитовую палочку, натрите её шёлковой или шерстяной тканью. Поднесите палочку к полоске фольги до соприкосновения (рис. 1.11). После соприкосновения уберите палочку от полоски, а потом медленно приближайте к полоске (рис. 1.12). Объясните явление, наблюдаемое при повторном приближении палочки к полоске.

3. Возьмите палочку из плексигласа, натрите её шёлковой или шерстяной тканью и медленно приближайте к полоске, наэлектризованной после соприкосновения с эбонитовой палочкой (рис. 1.13). Объясните явление, наблюдаемое при приближении палочки из плексигласа к наэлектризованной полоске.

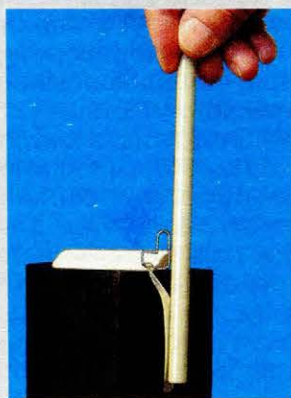


Рис. 1.11



Рис. 1.12



Рис. 1.13

### @ Найдите

[http://class-fizika.narod.ru/8\\_el14.htm](http://class-fizika.narod.ru/8_el14.htm) (Легенды о янтаре.)

[http://class-fizika.narod.ru/8k\\_5.htm](http://class-fizika.narod.ru/8k_5.htm) (Электростатические летающие игрушки.)



## §2. Закон сохранения электрического заряда



Рис. 2.1



Рис. 2.2

**Единица электрического заряда.** Введение любой новой физической величины требует выбора единицы её измерения. В случае с электрическим зарядом природа как будто бы приготовила человеку подарок: экспериментальные исследования показали, что электрические заряды всех электронов одинаковы. А заряды других частиц в природе по модулю равны заряду электрона или в целое число раз больше заряда электрона. Поэтому электрический заряд электрона называют **элементарным зарядом**. Заряды частиц в атомной и ядерной физике выражают в элементарных зарядах  $e$ .

Для применения в технике измерение электрического заряда в элементарных зарядах оказывается неудобным, так как эта единица очень мала. Поэтому в Международной системе единиц используется единица заряда **кулон** (1 Кл). Это название дано в честь французского физика Шарля Кулона, открывшего закон взаимодействия электрических зарядов.

Заряд 1 Кл больше одного элементарного электрического заряда  $e$  примерно в 6 000 000 000 000 000 раз, т. е. в 6 квинтиллионов раз, 6 миллиардов миллиардов раз!

При включении в комнате люстры с электрическими лампами общей мощностью 220 Вт через электрический провод за 1 с проходит электрический заряд 1 Кл. Население Земли около 6 миллиардов, значит, при этом число электронов, проходящих через провод за одну секунду, в миллиард раз больше числа всех людей на Земле!

Элементарный электрический заряд  $e$  в кулонах равен:

$$e = \frac{1,6}{10\,000\,000\,000\,000\,000\,000} \text{ Кл.}$$

**Электроскоп и электрометр.** Самым простым прибором для обнаружения электрических зарядов является **электроскоп**. Он состоит из металлического стержня, закреплённого в пробке стеклянного сосуда, и двух тонких полосок бумаги или металлической фольги (лепестков), прикреплённых к концу стержня. При соприкосновении заряженного тела со стержнем электроскопа часть электрических зарядов переходит с тела на стержень электроскопа и на лепестки. Переход части зарядов с заряженного тела на незаряженное происходит потому, что одноимённые заряды на заряженном теле отталкиваются друг от друга. Одноимённые заряды на лепестках и стержне отталкиваются, лепестки электроскопа поднимаются. Вместо лепестков может использоваться стрелка (рис. 2.1). Такой прибор со стрелкой, шкалой и металлическим корпусом называется **электрометром** и применяется для измерения электрических зарядов.

**Закон сохранения электрического заряда.** Прибором для измерения электрических зарядов можно исследовать свойства электрических зарядов и электрические свойства тел.

С помощью электроскопа обнаруживается, что при соприкосновении палочки из органического стекла, наэлектризованной натиранием о мех или шёлк, со стержнем электроскопа лепестки прибора расходятся. Этот опыт

@ Найдите

[http://class-fizika.narod.ru/8\\_20.htm](http://class-fizika.narod.ru/8_20.htm) (Два рода зарядов. Взаимодействие заряженных тел.)



показывает, что электрические заряды способны переходить с одного тела на другое.

Теперь выполним принципиально важный опыт. Поместим на верхнюю часть электрометра пластину из органического стекла с наложенной на неё полиэтиленовой плёнкой. Стрелка электрометра остаётся в вертикальном положении, показывая отсутствие электрических зарядов на пластине и плёнке (см. рис. 2.1). Отделим плёнку от пластины. Электрометр обнаруживает возникновение электрических зарядов на пластине (рис. 2.2). Уберём с электрометра пластину и положим снятую плёнку. Электрометр обнаруживает возникновение электрических зарядов и на плёнке (рис. 2.3).

Поместим на электрометр пластину и плёнку вместе. Стрелка электрометра возвращается в вертикальное положение, показывая, что алгебраическая сумма электрических зарядов, возникающих в процессе электризации, равна нулю (рис. 2.4). Это такой же результат, как если бы мы положили на весы два тела массой по 1 кг и весы показали бы, что их общая масса равна нулю. В опытах с электрическими зарядами результат сложения может быть таким же, как при сложении положительных и отрицательных чисел в математике. Поэтому в физике различают два вида электрических зарядов и называют один из них положительным зарядом, а другой отрицательным.

Положительные и отрицательные электрические заряды возникают или исчезают в равных количествах.

Алгебраическая сумма зарядов в замкнутой системе остаётся постоянной.

Этот экспериментально установленный факт называется **законом сохранения электрического заряда**.

**Электрическое поле.** Как же осуществляется взаимодействие электрических зарядов? Английский физик Майкл Фарадей высказал гипотезу о том, что электрические заряды не действуют непосредственно друг на друга. Каждый электрический заряд создаёт вокруг себя **электрическое поле**, которое способно действовать на другие электрические заряды. Сила действия электрического поля убывает с увеличением расстояния от заряда.

Электрические поля действуют на электрические заряды, но не действуют друг на друга.



Рис. 2.3



Рис. 2.4



### Дискуссия

#### Как осуществляется взаимодействие электрических зарядов?

Учащиеся делятся на две группы. Одна группа принимает гипотезу близкодействия. Другая уверена в правильности гипотезы далекодействия. Участники дискуссии аргументированно отстаивают свои точки зрения.



### Вопросы

1. В каких единицах измеряется электрический заряд?
2. Каким прибором можно измерять электрический заряд?
3. Каков принцип действия этого прибора?
4. Сформулируйте закон сохранения электрического заряда.
5. Как объясняется взаимодействие электрических зарядов на основе гипотезы о существовании электрического поля?



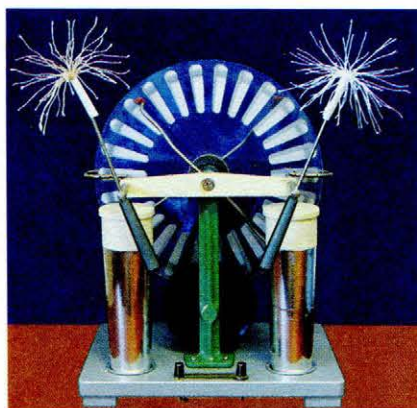


Рис. 2.5



Рис. 2.6

**Силовые линии электрического поля.** Наглядное представление о направлении действия сил электрического поля на электрические заряды в разных точках пространства можно получить в опытах с электрофорной машиной и пучками тонких бумажных полосок или нитей. Электрофорная машина состоит из двух плексигласовых дисков, которые рукояткой приводятся во вращение в противоположных направлениях. На дисках наклеены полоски металлической фольги. Электрические заряды, появившиеся на одном диске в результате электризации, наводят заряды на другом диске. Эти заряды снимаются металлическими щётками с полосок металлической фольги и накапливаются в двух конденсаторах, имеющих вид цилиндров, покрытых изнутри и снаружи металлической фольгой (рис. 2.5). (Что такое электрический конденсатор, мы выясним через два-три урока.) Из конденсаторов заряды выводятся через металлические стержни. На стержне одного конденсатора собираются положительные заряды, на стержне другого — отрицательные.

На выводы электрофорной машины прикрепим пучки нитей. При вращении рукоятки машины нити постепенно распрямляются по радиусам от места нахождения электрических зарядов (см. рис. 2.5). Опыт показывает, что силы электрического поля, создаваемого небольшим заряженным телом, направлены от заряда в разные стороны.

При сближении разноимённых зарядов картина расположения нитей изменяется (рис. 2.6). В пространстве между зарядами нити тянутся друг к другу, их число увеличивается, на противоположных сторонах число нитей уменьшается.

Электрическое поле в пространстве изображают силовыми линиями, похожими на нити в выполненных опытах. Силовые линии располагаются таким образом, что касательные к ним в каждой точке совпадают по направлению с вектором силы, действующей на точечный положительный заряд со стороны электрического поля в данной точке. Стрелками указываются направления векторов сил, действующих на положительные заряды.

На рисунке 2.7 представлена картина распределения силовых линий электрического поля вокруг положительного заряда, на рисунке 2.8 — вокруг отрицательного заряда.

Силовые линии электрического поля вокруг двух разноимённых зарядов представлены на рисунке 2.9.

**Задача 2.1.** Нарисуйте схему расположения силовых линий электрического поля вокруг двух одинаковых одноимённых зарядов.

Для проверки правильности решения выполните опыт с пучками нитей, присоединёнными к одному выводу электрофорной машины.



Найдите

[http://class-fizika.narod.ru/8\\_22.htm](http://class-fizika.narod.ru/8_22.htm) (Электрическое поле.)



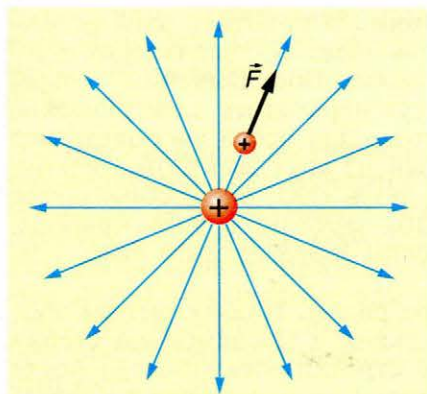


Рис. 2.7

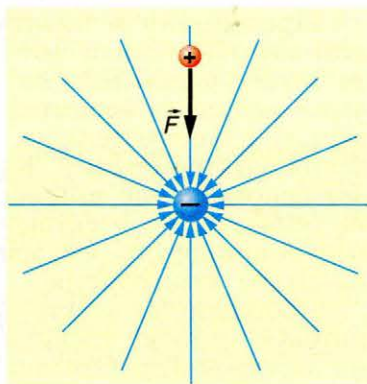


Рис. 2.8

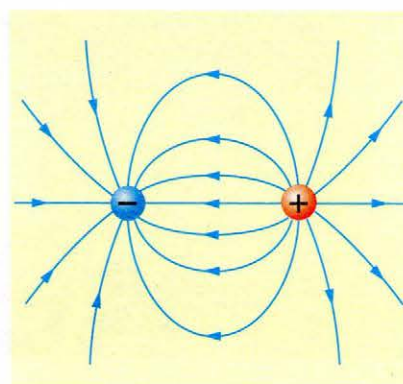


Рис. 2.9

## Домашнее экспериментальное задание 2.1

### Работаем самостоятельно

#### Изготовление и испытание электроскопа

##### Изготовьте и испытайте электроскоп.

Устройство самодельного электроскопа представлено на рисунке 2.10. Прибор состоит из четырёх деталей: подставки 1, стойки 2, оси 3, стрелки 4.

В качестве подставки можно взять пластину из плексигласа или чайное блюдце. Для изготовления стойки возьмите кусок медной или алюминиевой проволоки диаметром около 1 мм, длиной 50 см и согните её плоскогубцами по форме стойки 2 (см. рис. 2.10). Расстояние между сторонами стойки сделайте равным примерно 3 см. Клеем для пластмассы и металла приклейте стойку к подставке.

Для изготовления стрелки вырежьте из тонкой металлической фольги (обёртка шоколада) прямоугольник размером  $10 \times 4$  см. Покройте одну сторону фольги тонким слоем клея, сложите вдвое вдоль длинной стороны и разгладьте. Повторите эту операцию ещё два раза и получите восьмислойный прямоугольник  $10 \times 0,5$  см. Приложите к этому прямоугольнику посередине вдоль длинной стороны край линейки и согните фольгу под углом  $90^\circ$ . У вас получится лёгкая и прочная стрелка.

Нанесите каплю клея на середину стрелки и положите поперёк стрелки в эту каплю иголку. Она будет служить осью стрелки. Не дожидаясь полного высыхания клея, установите ось стрелки на предназначенное ей место на стойке и, слегка изменяя взаимное положение оси и стрелки, добейтесь вертикального расположения стрелки, чтобы она могла свободно вращаться между сторонами стойки.

Для испытания изготовленного электроскопа наэлектризуйте ручку трением о бумагу или ткань, прикоснитесь ею к стойке электроскопа и наблюдайте результат. Если электроскоп сделан правильно, его стрелка отклонится от вертикального положения.

Используя свой электроскоп, исследуйте способность различных материалов к электризации при соприкосновении.

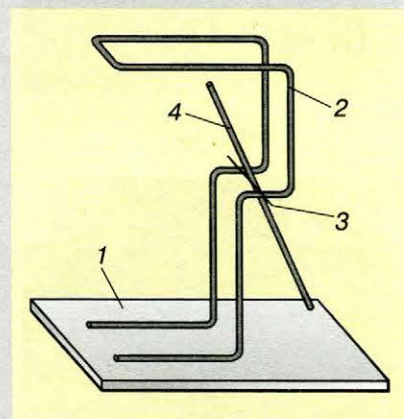


Рис. 2.10

### ? Вопросы

1. Каков принцип действия электроскопа?
2. Каково назначение подставки в устройстве электроскопа?
3. Можно ли её изготовить из металла?
4. Что произойдёт, если коснуться рукой стойки заряженного электроскопа?



### §3. Действие электрического поля на электрические заряды

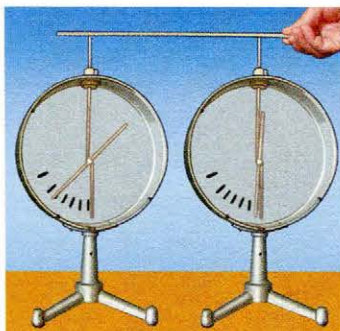


Рис. 3.1

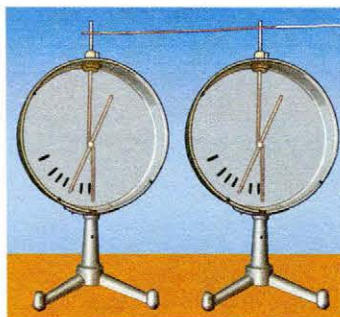


Рис. 3.2

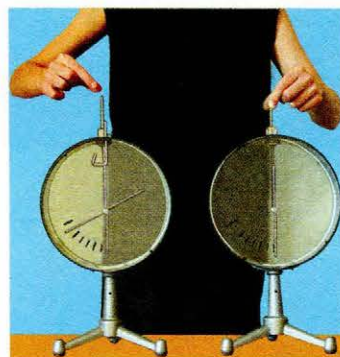


Рис. 3.3

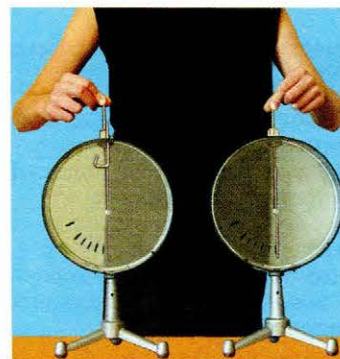


Рис. 3.4

**Проводники и диэлектрики.** В опытах с электрометром мы обнаружили, что часть зарядов с заряженного тела может переходить на незаряженное. Выясним теперь, через любые ли вещества могут переходить электрические заряды с одного тела на другое. Для этого воспользуемся двумя электрометрами. Каждый из двух электрометров будет одновременно выполнять роль тела, обладающего или не обладающего электрическим зарядом, и роль прибора, обнаруживающего электрический заряд на этом теле, т. е. на самом электрометре.

Поставим два электрометра рядом. Наэлектризуем эбонитовую палочку трением о ткань и коснёмся ею стержня электрометра. Отклонение стрелки электрометра после этого прикосновения показывает наличие заряда на электрометре. Но стрелка стоящего рядом другого электрометра при этом остаётся в вертикальном положении, показывая отсутствие заряда на нём.

Какой вывод можно сделать о воздухе, который разделяет стержни этих электрометров? Опыт показывает, что электрические заряды не могут перейти через воздух с одного электрометра на другой. Вещества, через которые электрические заряды проходить не могут, называются **диэлектриками** или **изоляторами**. Вещества, через которые электрические заряды могут переходить с одного тела на другое, называются **проводниками**.

Соединяя заряженный электрометр с незаряженным электрометром пластмассовой линейкой или стеклянным стержнем (рис. 3.1), убеждаемся, что вещества этих тел являются диэлектриками, изоляторами. Электрические заряды не переходят с одного электрометра на другой через стекло, пластмассу.

При соединении электрометров медной или алюминиевой проволокой угол отклонения стрелки заряженного электрометра уменьшается, а на прежде незаряженном электрометре появляется электрический заряд, его стрелка отклоняется (рис. 3.2). Следовательно, часть электрических зарядов с одного электрометра перешла по проволоке на другой электрометр. Медь и алюминий в твёрдом состоянии являются проводниками электричества.

Как вы думаете, является ли проводником электрических зарядов тело человека? Заряд на электрометре так мал, что никакой опасности для человека не представляет. Проверим это на опыте. Коснёмся одной рукой стержня незаряженного электрометра и другой рукой стержня заряженного электрометра (рис. 3.3). Если тело человека обладает свойствами диэлектрика, то стрелки обоих электрометров останутся в прежнем положении. Если же тело человека обладает свойствами проводника, то можно ожидать, что часть заряда с одного электрометра перейдёт на другой и оба электрометра станут заряженными. Но в опыте электрический заряд на первом электрометре исчезает полностью, а на втором не появляется (рис. 3.4).

Исчезновение электрического заряда с заряженного электрометра показывает, что тело человека является проводником электричества.

Под действием силы взаимного отталкивания заряды растеклись по проводящим телам во все стороны. Веще-



ство Земли — проводник, поэтому заряды распространились по всей поверхности планеты (рис. 3.5). На электрометрах их осталось так мало, что их влияние на стрелки незаметно.

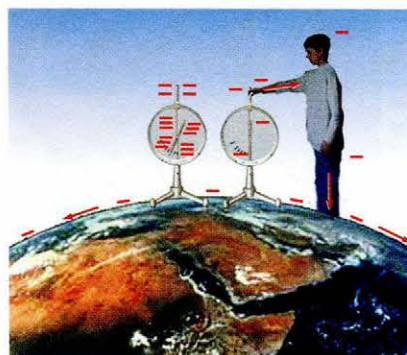


Рис. 3.5

**Объяснение электрических свойств проводников и диэлектриков.** Исследования строения твёрдых тел, жидкостей и газов показали, что в диэлектриках каждый отрицательно заряженный электрон прочно связан электрическими силами притяжения с положительно заряженным ядром своего атома или ядрами двух соседних атомов (рис. 3.6). В диэлектриках нет свободных заряженных частиц, способных перемещаться под действием электрического поля.

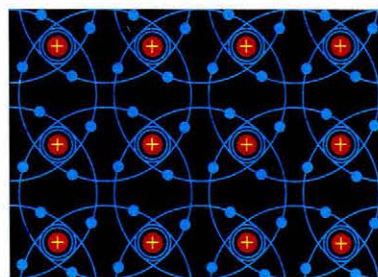


Рис. 3.6

Проводниками электричества являются вещества, в которых заряженные частицы способны свободно перемещаться внутри вещества. В металлах самые далёкие от ядра электроны слабо связаны с ним. При соединении атомов металлов в твёрдое тело внешние электроны могут свободно переходить от одного атома к другому, движение их беспорядочное (рис. 3.7). Поэтому их называют **свободными электронами**. При помещении металлического проводника в электрическое поле свободные электроны движутся упорядоченно в направлении действия сил электрического поля (рис. 3.8).

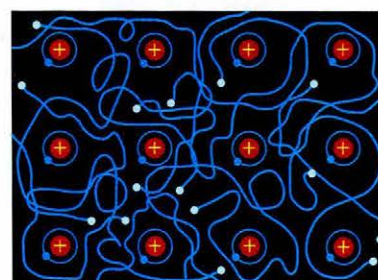


Рис. 3.7

Идеальных диэлектриков в природе нет. В любом веществе имеется хотя бы немного свободных заряженных частиц. Наблюдая за показаниями заряженного электрометра, легко убедиться в том, что атмосферный воздух и диэлектрик вокруг стержня электрометра не являются идеальными изоляторами. Стрелка электрометра постепенно опускается и через несколько минут становится в вертикальное положение.

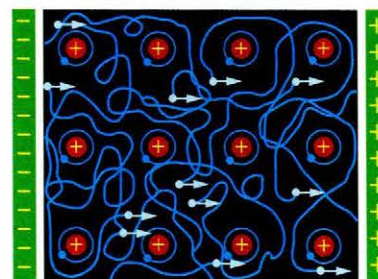


Рис. 3.8

### Экспериментальное задание 3.1

#### Работаем самостоятельно

#### Исследование действия электрического поля на проводники и диэлектрики

**Оборудование:** ручка, нить, линейка, кусок проволоки, полиэтиленовый пакет.

Подвесив на нити линейку и кусок проволоки, исследуйте действие электрического поля наэлектризованного полиэтиленового пакета на диэлектрики и проводники. Пакет для электризации сложите в виде квадрата  $10 \times 10$  см.

### Вопросы

1. Какие вещества называют проводниками?
2. Какие вещества называют диэлектриками?
3. Какие опыты можно выполнить, чтобы узнать, является ли данное вещество проводником электричества?
4. Объясните результат опыта, в котором исследовалось, может ли тело человека служить проводником для передачи части электрических зарядов с заряженного электрометра на незаряженный.



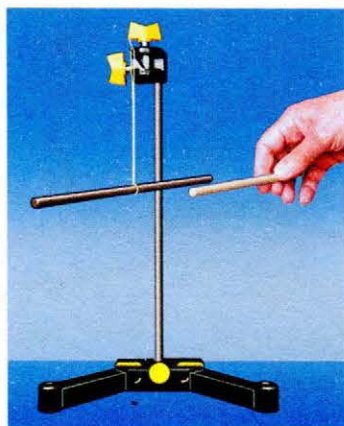


Рис. 3.9



Рис. 3.10

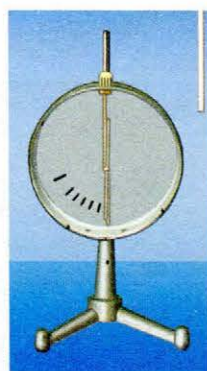


Рис. 3.11

**Электростатическая индукция.** Продолжим опыты по изучению взаимодействия электрических зарядов. Если все тела состоят из атомов, а внутри любых атомов имеются отрицательно заряженные электроны и положительно заряженные атомные ядра, то не может ли быть обнаружено действие электрического поля и на нейтральные, незаряженные тела? Для нахождения ответа на этот вопрос выполним опыты с металлическим стержнем.

Сначала коснёмся металлическим стержнем электрометра и убедимся, что на стержне нет электрических зарядов. Затем подвесим металлический стержень на нити и поднесём к одному из его концов сбоку наэлектризованную эбонитовую палочку. Металлический стержень поворачивается, обнаруживаются силы притяжения между заряженной эбонитовой палочкой и незаряженным металлическим стержнем (рис. 3.9). Как объясняется это явление?

Найти объяснение поможет опыт. К незаряженному электрометру приблизим, не касаясь, наэлектризованную эбонитовую палочку. Стрелка электрометра при приближении заряженного тела отклоняется (рис. 3.10). При отведении заряженного тела стрелка электрометра возвращается в вертикальное положение, демонстрируя отсутствие электрического заряда на электрометре (рис. 3.11).

Эти опыты объясняются следующим образом. Под действием внешнего электрического поля отрицательно заряженного тела свободные электроны движутся к нижнему концу стержня электрометра. Это движение приводит к возникновению равных по модулю разноимённых зарядов на двух концах стержня электрометра. Таким образом, заряды создают внутри проводника электрическое поле. Направление сил действия этого поля противоположно направлению сил действия внешнего поля. Движение зарядов в проводнике прекращается, когда силы действия этого поля на электроны становятся равны по модулю силам действия внешнего поля.

Явление перемещения свободных электронов в проводнике под действием внешнего электрического поля и разделения электрических зарядов до создания внутри проводника электрического поля, компенсирующего внешнее поле, называется электростатической индукцией.

Наблюдается ли явление электростатической индукции при внесении в электрическое поле тел из диэлектриков? Незаряженные палочки из стекла, эбонита и других диэлектриков, подвешенные на нити, притягиваются к телам, заряженным как положительно, так и отрицательно. Опыты показывают, что явление электростатической индукции происходит и в том случае, если поместить диэлектрик в электрическое поле. Оно объясняется поляризацией. **Поляризацией** называется смещение связанных электрических зарядов внутри нейтральных атомов или молекул под действием внешнего электрического поля. Силы действия электрического поля на электронную оболочку атома и на положительное ядро направлены противоположно друг



другу. Эти силы изменяют положение центров отрицательного и положительного зарядов в нейтральном атоме, и они уже не совпадают (рис. 3.12). Систему из двух равных по модулю точечных зарядов противоположного знака, находящихся на некотором расстоянии друг от друга, называют **диполем**.

Если поместить диэлектрик в поле двух разноимённо заряженных пластин, его диполи поворачиваются положительными зарядами к отрицательно заряженной пластине. На одной поверхности диэлектрика появляется избыточный положительный заряд, на противоположной поверхности — отрицательный заряд (рис. 3.13). Поляризованный диэлектрик притягивается к заряженному телу.

**Задача 3.1.** Электромтр зарядили прикосновением наэлектризованной эбонитовой палочки. При повторном приближении наэлектризованной палочки угол отклонения стрелки электромтра увеличился. А при приближении наэлектризованной плексигласовой палочки угол отклонения стрелки электромтра уменьшился. Объясните результаты опытов.

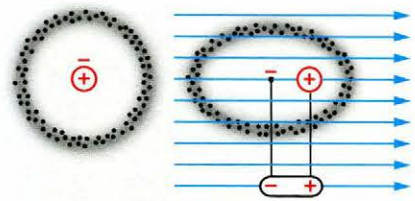


Рис. 3.12

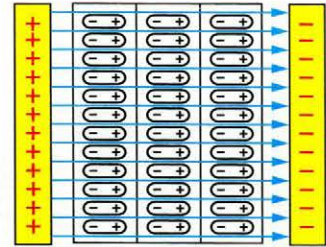


Рис. 3.13

### Экспериментальное задание 3.2

#### Работаем самостоятельно

**Оборудование:** две пластмассовые ручки, нить.

Привяжите нить на пластмассовую ручку так, чтобы два её конца длиной по 10 см висели параллельно. Это будет ваш «электроскоп» (рис. 3.14). Чтобы концы нити не слипались и не скручивались, протяните их несколько раз между мокрыми пальцами. Наэлектризуйте другую ручку трением о ткань и прикоснитесь ею несколько раз к месту, где привязана нить (рис. 3.15). Когда концы нити «электроскопа» разойдутся, попробуйте разрядить его прикосновением к месту, где привязана нить, сначала сухим, а затем мокрым пальцем.

Объясните результаты опытов и поясните, чем они важны в практической жизни.

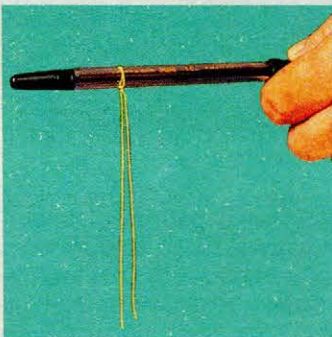


Рис. 3.14

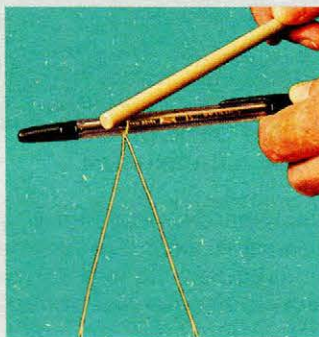


Рис. 3.15



## §4. Энергия электрического поля

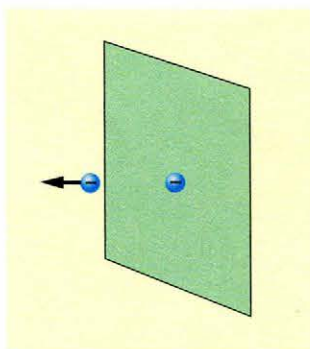


Рис. 4.1

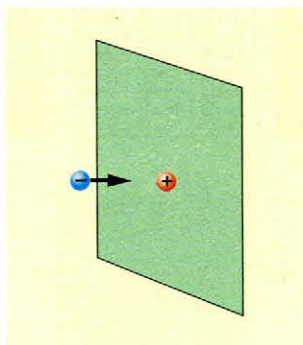


Рис. 4.2

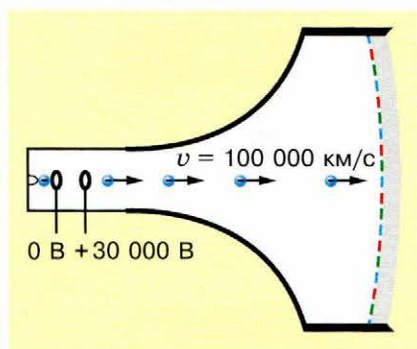


Рис. 4.3

**Энергия электрического поля заряженных тел.** Для того чтобы на некотором теле появился электрический заряд, необходимо совершить работу против сил электрического поля. Если, например, нейтральная металлическая пластина заряжается путём переноса на неё электронов, то только первый электрон можно перенести на неё без совершения работы. Переносу второго электрона на пластину будет препятствовать действие сил отталкивания со стороны электрического поля, созданного первым электроном. По мере увеличения заряда пластины для перемещения на неё каждого нового электрона необходимо совершать всё большую работу против сил действия электрического поля (рис. 4.1).

Такой же результат получится, если заряжать пластину путём удаления электронов с её поверхности. В этом случае удалению электронов с пластины будет препятствовать сила притяжения со стороны положительных зарядов на пластине (рис. 4.2).

Энергия, затраченная при совершении работы по разделению электрических зарядов, не исчезает бесследно. Она сохраняется в виде энергии электрического поля разделённых зарядов и может превратиться в другие виды энергии. Например, в опытах по электризации тел при разделении электрических зарядов совершается механическая работа. Механическая энергия движения руки при этом исчезает, но энергию электрического поля наэлектризованной палочки можно превратить в механическую энергию: мы видели в опыте, что под действием электрического поля наэлектризованной палочки подвешенный на нити металлический стержень приходит во вращение.

В кинескопе телевизора электрическое поле между двумя электродами разгоняет электроны до скорости около 100 000 км/с (рис. 4.3). Электронный луч «рисует» цветное изображение, вызывая ударами быстрых электронов свечение кристаллов, которыми покрыта поверхность экрана.

Энергия электрического поля определяется работой, которую поле может совершить при перемещении электрических зарядов.

**Электрическое напряжение.** Гравитационное поле Земли действует на тело тем большей силой притяжения, чем больше масса тела. Точно так же электрическое поле действует на заряженное тело тем большей силой, чем больше его электрический заряд. Поэтому при перемещении разных электрических зарядов по одинаковым траекториям силы электрического поля совершают разную работу  $A$ . Но при этом отношение совершённой работы к модулю электрического заряда для любых зарядов оказывается одинаковым.

Физическая величина  $U$ , равная отношению работы  $A$  электрического поля по перемещению электрического заряда  $q$  из одной точки поля в другую к заряду  $q$ , называется электрическим напряжением между этими двумя точками:

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



Зная напряжение  $U$  между двумя точками электрического поля, можно вычислить работу  $A$  сил электрического поля при перемещении любого электрического заряда  $q$  между этими точками:

$$A = qU.$$

Единица напряжения в Международной системе единиц называется *вольт* (1 В). Напряжением 1 В называется такое напряжение между двумя точками в электрическом поле, при котором во время перемещения электрического заряда 1 Кл силы электрического поля совершают работу 1 Дж:  $1 \text{ В} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}}$ . Название единицы напряжения

дано в честь итальянского физика Алессандро Вольта, открывшего способ создания химических источников постоянного электрического тока.

Напряжение электрического поля между двумя электродами гальванического элемента равно примерно 1,5 В, между контактами электрической розетки в домашней электрической сети — 220 В (рис. 4.4).

В ясную погоду, когда нет грозовых облаков, у земной поверхности между двумя точками на одной вертикальной прямой напряжение электрического поля Земли на расстоянии 1 м равно примерно 130 В (рис. 4.5). Между поверхностью Земли и грозовым облаком напряжение может достигать 300 млн вольт (рис. 4.6). Электрическое поле Земли существует потому, что земной шар обладает отрицательным электрическим зарядом примерно 300 000 Кл.

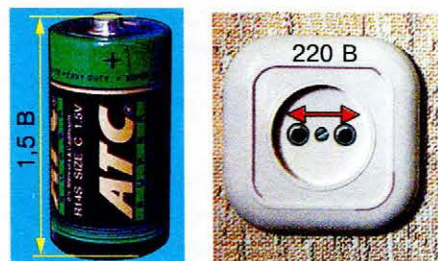


Рис. 4.4

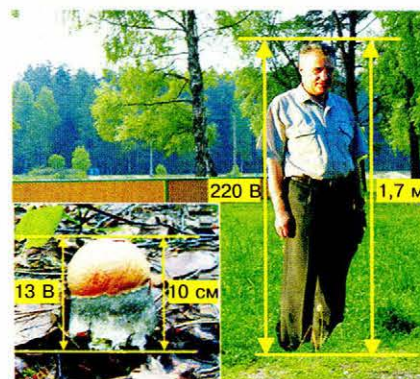


Рис. 4.5

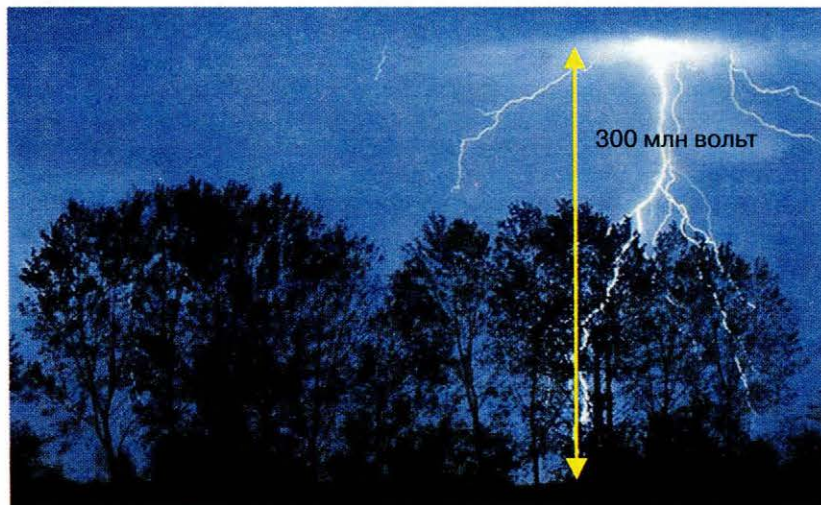


Рис. 4.6

**Задача 4.1.** При ударе молнии из облака в землю перешёл электрический заряд 10 Кл. Какую работу совершили при этом силы электрического поля, если между началом и концом молнии было напряжение 1 млн вольт?

На какую высоту над поверхностью Земли можно было бы поднять человека массой 100 кг за счёт энергии электрического поля, освободившейся при таком ударе молнии?



### Вопросы

1. Как можно доказать, что электрическое поле обладает энергией?
2. Что называется электрическим напряжением?
3. Как определяется единица напряжения?



**Конденсатор.** Так как электрическое поле обладает энергией, возникает практическая задача: изобрести устройство, в котором можно было бы хранить энергию электрического поля долгое время и использовать её, когда понадобится. Попытки использовать для хранения энергии электрического поля заряженные шары для большинства практических задач оказалась неудачной. На открытом воздухе заряженный шар быстро разряжается, притягивая к себе заряженные частицы противоположного знака, всегда имеющиеся в воздухе.

Но главное, что энергия электрического поля заряженного шара при допустимых значениях напряжения между шаром и Землёй оказывается очень малой. Даже на очень больших «шарах» — грозовых облаках — при расстоянии от поверхности Земли в несколько километров может накапливаться не более нескольких десятков кулон электрических зарядов, далее облако разряжается ударом молнии.

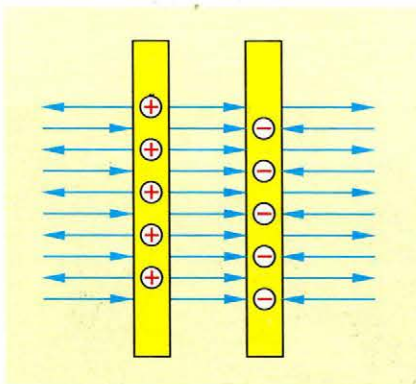


Рис. 4.7

Задача накопления и хранения энергии электрического поля имеет очень простое решение. Электрические приборы для накопления электрических зарядов называют **конденсаторами**. Плоский конденсатор состоит из двух параллельных металлических пластин, разделённых слоем диэлектрика. При сообщении пластинам равных по модулю и противоположных по знаку зарядов  $+q$  и  $-q$  между пластинами создаётся электрическое поле, действующее на заряды вдвое большей силой, чем поле одной пластины. Вне пластин силы действия электрических полей разноимённо заряженных пластин на электрические заряды направлены противоположно и поэтому взаимно компенсируются (рис. 4.7). Вся энергия электрических полей зарядов на двух пластинах сосредоточена в пространстве между пластинами.

**Электроёмкость конденсатора.** Опыт показывает, что напряжение  $U$  между обкладками конденсатора прямо пропорционально заряду  $q$  на одной обкладке конденсатора.

Отношение электрического заряда  $q$  на одной обкладке конденсатора к напряжению  $U$  между обкладками конденсатора является постоянной величиной при любых значениях заряда  $q$ .

Это отношение называется **электроёмкостью**  $C$  конденсатора:

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

Единица электроёмкости в Международной системе единиц называется *фарад* (1 Ф). При сообщении зарядов  $+1$  Кл и  $-1$  Кл обкладкам конденсатора электроёмкостью 1 Ф напряжение между обкладками равно 1 В:  $1 \text{ Ф} = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ В}}$ .

Дольная единица электроёмкости *микрофарад* (1 мкФ) составляет одну миллионную долю фарада, *нанофарад* (1 нФ) — одну миллиардную долю фарада, *пикофарад* (1 пФ) — одну миллионную от миллионной доли фарада.

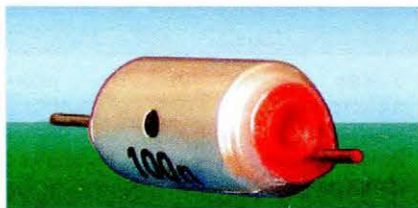


Рис. 4.8

Электроёмкость  $C$  конденсатора прямо пропорциональна площади  $S$  пластин, обратно пропорциональна расстоянию  $d$  между ними и зависит от свойств диэлектрика между пластинами.

Для создания конденсаторов большой электроёмкости применяют тонкие слои металлической фольги — обкладки конденсатора, разделённые очень тонким слоем диэлектрика. Эти полоски металла и диэлектрика сворачивают в рулон, снабжают двумя выводами и помещают в корпус из изолятора (рис. 4.8).



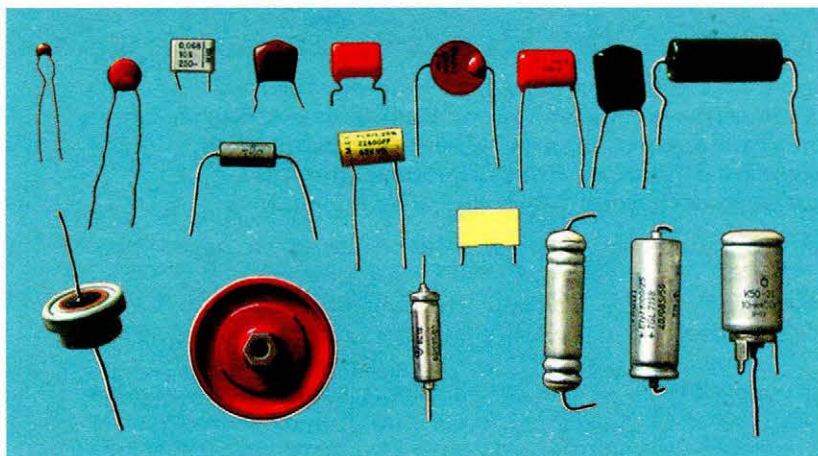


Рис. 4.9

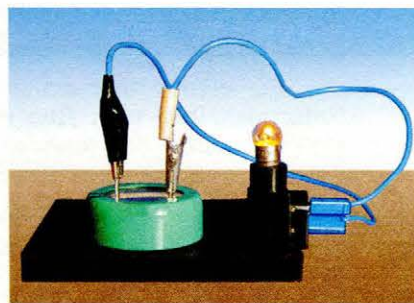


Рис. 4.10

### ? Вопросы

1. Что такое электроёмкость?
2. В каких единицах выражается электроёмкость?

У большинства типов конденсаторов обкладки одинаковые, и при зарядке на каждую из них можно переносить электрические заряды любого знака. Но есть тип конденсаторов, называемых электролитическими, которые можно заряжать только с соблюдением полярности знаков заряда. Знак заряда указывается на выводах конденсатора. При противоположной полярности подключения электролитический конденсатор будет пробит электрическим разрядом. Внешний вид конденсаторов различного типа представлен на рисунке 4.9.

Сейчас уже изготавливаются конденсаторы электроёмкостью более 1 Ф. Конденсатор электроёмкостью 1 Ф обладает электроёмкостью, в 1400 раз большей электроёмкости земного шара!

**Энергия электрического поля конденсатора.** Потенциальную энергию  $W$  электрического поля конденсатора можно найти, вычислив работу  $A$  по переносу зарядов против действия сил электрического поля. Представим себе, что процесс зарядки происходит путём постепенного переноса зарядов с одной пластины на другую. В этом случае напряжение между пластинами возрастает прямо пропорционально заряду на пластине от 0 до  $U$ , среднее значение напряжения  $U_{\text{cp}}$  равно:

$$U_{\text{cp}} = \frac{U}{2}.$$

При переносе заряда  $q$ , заряжающего конденсатор до напряжения  $U$ , эта работа равна:

$$A = qU_{\text{cp}} = \frac{qU}{2}.$$

Так как  $C = \frac{q}{U}$ , то потенциальная энергия  $W$  электрического поля в конденсаторе равна:

$$W = A = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}.$$

Потенциальная энергия электрического поля заряженного конденсатора может превращаться в другие виды энергии. Например, при подключении выводов заряженного конденсатора к электрической лампе электрическое поле создаёт электрический ток, нить лампы нагревается и излучает свет (рис. 4.10).

**Задача 4.2.** Для зажигания лампы-вспышки при фотографировании используется конденсатор электроёмкостью 1000 мкФ, заряженный до напряжения 200 В. Вычислите энергию электрического поля конденсатора, освобождающуюся при вспышке лампы.



## Тест 1

Тест предназначен для самоконтроля результатов изучения тем «**Электризация тел. Два вида электрических зарядов. Взаимодействие зарядов. Закон сохранения электрического заряда. Электрическое поле. Действие электрического поля на электрические заряды. Проводники и диэлектрики. Электрическое напряжение**».

Тест рассчитан на решение всех заданий и оформление ответов за один урок, т. е. за 45 мин.

- Запишите время начала работы над тестом и закончите решение через 45 мин.
- Откройте таблицу правильных ответов на с. 171 и отметьте все свои ошибочные ответы.
- Попробуйте самостоятельно разобраться, в чём заключается каждая допущенная вами ошибка.
- В тех случаях, когда понять ошибку не удаётся, откройте соответствующий параграф учебника, внимательно изучите материал, относящийся к данному заданию, и попробуйте ещё раз найти правильное решение.
- Если и теперь не удаётся получить правильное решение, обратитесь за помощью к одному из своих одноклассников или к учителю.
- Таким образом, с помощью теста вы узнаете, какими знаниями и умениями не овладели.

1. Как объясняется явление электризации тел при соприкосновении?

1) при соприкосновении тел из разных веществ часть электронов от атомов, слабо удерживающих электроны, переходит к сильнее притягивающим их атомам

2) при соприкосновении тел из разных веществ часть электронов от атомов с большим числом электронов переходит к атомам с малым числом электронов

3) при соприкосновении тел из разных веществ электрические заряды возникают под действием сил трения

2. Как взаимодействуют заряженные тела в случаях А, Б и В (рис. Т1.1)?



Рис. Т1.1

1) в случаях А и Б тела притягиваются, в случае В отталкиваются

2) в случаях А и Б тела отталкиваются, в случае В притягиваются

3) в случаях Б и В тела притягиваются, в случае А отталкиваются

4) в случаях А и В тела отталкиваются, в случае Б притягиваются

3. Если два одинаковых полиэтиленовых пакета потереть куском ткани, то в результате электризации пакеты

1) притягиваются друг к другу и к куску ткани

2) притягиваются друг к другу, но отталкиваются от куска ткани

3) отталкиваются друг от друга, но притягиваются к куску ткани

4) отталкиваются друг от друга и от куска ткани

4. Тело называется электрически нейтральным

1) если в нём больше положительных зарядов, чем отрицательных зарядов

2) если в нём больше отрицательных зарядов, чем положительных зарядов

3) если в нём одинаковое число отрицательных и положительных зарядов или совсем нет электрических зарядов

4) только в том случае, если в нём совсем нет электрических зарядов

5. На рисунке Т1.2 представлена фотография опыта, в котором отрицательно заряженной палочкой прикоснулись к двум проводящим нитям. Нити до этого были нейтральными. Какие заряды получили концы нитей?

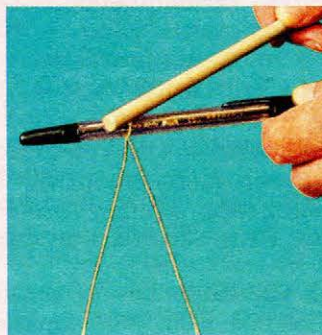
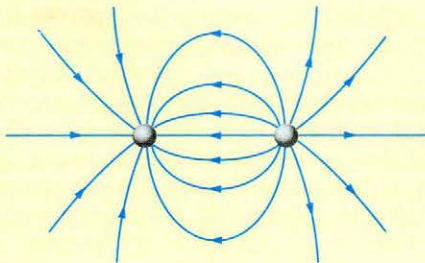


Рис. Т1.2



- 1) оба конца получили положительные заряды
  - 2) один конец получил положительный заряд, другой — отрицательный
  - 3) оба конца получили отрицательные заряды
  - 4) концы нитей не имеют зарядов
6. Если при встрече электрона с электрическим зарядом  $-e$  и протона с электрическим зарядом  $+e$  образуется нейтральный атом водорода, то
- 1) закон сохранения электрического заряда выполняется, заряды электрона и протона не исчезают
  - 2) закон сохранения электрического заряда выполняется, заряды электрона и протона в нейтральном атоме водорода исчезают
  - 3) при образовании атома водорода закон сохранения электрического заряда не выполняется
7. Единица электрического заряда в СИ называется
- 1) кулон
  - 2) ампер
  - 3) вольт
  - 4) ом
8. Какие из двух утверждений о свойствах электрических зарядов и электрического поля правильные?
- А. Каждый электрический заряд создаёт вокруг себя электрическое поле.
- Б. Электрическое поле одного заряда действует на другие электрические заряды.
- 1) утверждения А и Б верны
  - 2) утверждения А и Б неверны
  - 3) утверждение А верно, Б неверно
  - 4) утверждение А неверно, Б верно
9. На рисунке Т1.3 представлены две схемы расположения силовых линий электрического поля зарядов. Взаимодействию каких зарядов соответствуют эти схемы?

А



Б

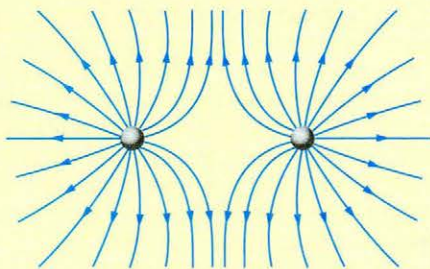


Рис. Т1.3

- 1) А и Б — взаимодействию одноимённых зарядов
  - 2) А и Б — взаимодействию разноимённых зарядов
  - 3) А — взаимодействию одноимённых зарядов, Б — взаимодействию разноимённых зарядов
  - 4) А — взаимодействию разноимённых зарядов, Б — взаимодействию одноимённых зарядов
10. Что произойдёт при соединении заряженного положительным зарядом электроскопа с другим таким же, но незаряженным электроскопом, если их стержни соединить металлической проволокой?
- 1) весь заряд перейдёт на второй электроскоп
  - 2) заряд распределится поровну между электроскопами
  - 3) весь заряд останется на первом электроскопе
  - 4) оба электроскопа станут незаряженными
11. Нейтральный стержень из диэлектрика подвешен на нити. При приближении к его концу положительно заряженного стержня
- 1) наблюдается действие электрических сил притяжения
  - 2) наблюдается действие электрических сил отталкивания
  - 3) не наблюдается действие электрических сил
12. Вещество является диэлектриком, если
- 1) в его атомах нет электрических зарядов
  - 2) все электроны прочно связаны с атомами и не могут перейти от одного атома к другому
  - 3) часть электронов его атомов может переходить от одного атома к другому
  - 4) оно такое прочное, что в него не могут проникнуть электрические заряды
13. Как называется физическая величина, равная отношению работы  $A$  электрического поля по перемещению электрического заряда  $q$  к этому заряду?
- 1) сила тока
  - 2) электрическое напряжение
  - 3) энергия
  - 4) мощность
14. Между двумя точками электрического поля напряжение равно 20 В. Чему равна работа электрических сил по перемещению заряда 0,4 Кл между этими точками?
- 1) 80 Дж
  - 2) 50 Дж
  - 3) 8 Дж
  - 4) 0,02 Дж



## §5. Постоянный электрический ток

**Электрический ток.** При соединении разноимённо заряженных тел проводником электрические заряды переходят от одного тела к другому.

Процесс упорядоченного движения электрических зарядов называется электрическим током.

Переход электрических зарядов от одного тела к другому обычно происходит за очень короткое время. Даже разряд молнии длиной несколько километров протекает за десятитысячные доли секунды. Поэтому на протяжении с VI в. до н. э. и до конца XVIII в. н. э. учёные почти ничего не знали о свойствах движущихся электрических зарядов. Только в XIX в. благодаря открытиям итальянских учёных Луиджи Гальвани и Алессандро Вольта были созданы источники постоянного тока и открылись возможности для исследования свойств электрического тока.

**Сила тока.** Электрический ток характеризуется **силой тока**.

Сила тока  $I$  равна отношению заряда  $q$ , прошедшего через поперечное сечение проводника, ко времени  $t$  его прохождения:

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

За направление электрического тока принято направление движения положительно заряженных частиц. Электрический ток, идущий в неизменном направлении и не изменяющийся во времени, называется **постоянным током**. Единица силы тока в Международной системе единиц называется **ампер** (1 А). Определённые единицы силы тока и способы её измерения рассмотрены в § 7.

Из формулы, связывающей силу тока  $I$  с электрическим зарядом  $q$ , прошедшим через поперечное сечение проводника за время  $t$ , следует, что при прохождении через проводник электрического заряда 1 Кл за 1 с сила тока в электрической цепи равна 1 А:

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

**Условия существования постоянного тока.** При подключении выводов электрической лампы к обкладкам заряженного конденсатора через нить лампы проходит электрический ток. Нить лампы нагревается током до высокой температуры и светится. Однако свечение лампы быстро ослабевает и скоро совсем прекращается. Опыт показывает, что конденсатор может служить источником электрического тока, но создаваемый им ток изменяется со временем, так как конденсатор разряжается протекающим током.

Под действием электрического поля заряженные частицы движутся к электродам, имеющим противоположные знаки заряда. При взаимодействии заряды нейтрализуются, электрическое поле исчезает. Как же можно при этом поддерживать силу тока в проводнике неизменной?

Для поддержания в проводнике постоянного тока используются устройства, называемые **источниками постоянного тока**. В них непрерывно происходит процесс разделения разноимённых электрических зарядов. В каждом интервале времени создаётся ровно столько положительных и отрицательных зарядов на выводах источника тока, сколько было нейтрализовано постоянным током. Электрод, на котором накапливаются положительные электрические заряды, называют **положительным полюсом** источника тока, а электрод, на котором накапливаются отрицательные электрические заряды, называют **отрицательным полюсом** источника тока.

**Электрическая цепь.** Для передачи электрических зарядов достаточно прикосновения одного тела к другому. Но для создания постоянного тока в проводнике

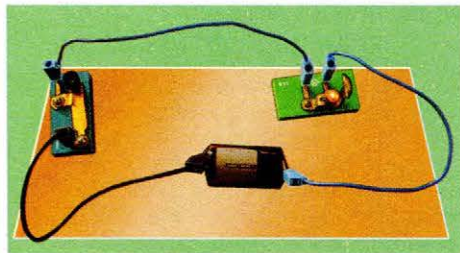


Рис. 5.1



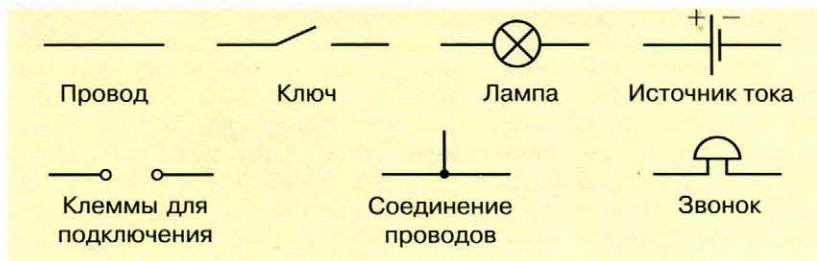


Рис. 5.2

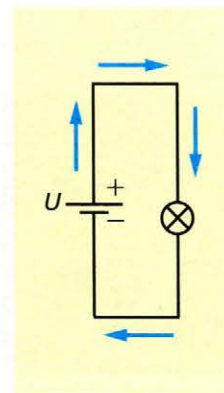
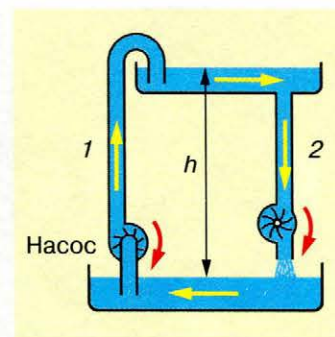


Рис. 5.3

его нужно включить в электрическую цепь (рис. 5.1), в которой электрические заряды могут двигаться непрерывно. Например, для создания постоянного тока в нити лампы накаливания нужно концы нити лампы соединить проводниками с разноимёнными полюсами источника тока. Схематическое изображение элементов электрической цепи представлено на рисунке 5.2.

Роль действия источника постоянного тока в электрической цепи похожа на роль действия водяного насоса, перекачивающего воду в бак водонапорной башни (рис. 5.3). Насос при подъёме воды массой  $m$  на некоторую высоту  $h$  совершает работу  $A = mgh$  против действия сил тяжести. Из бака поток воды в трубе 2 движется под действием силы тяжести и может совершить полезную работу. В прошлом текущая сверху вниз вода вращала водяные колёса водоподъёмных устройств и водяных мельниц, сегодня она вращает колёса водяных турбин гидроэлектростанций.

Источник постоянного тока при переносе заряда  $q$  между полюсами с напряжением  $U$  совершает работу  $A = qU$  против сил электрического поля. Во внешней части электрической цепи заряды движутся под действием электрического поля. Подобно текущей воде, электрический ток может совершать полезную работу. Он даёт тепло и свет, приводит в действие многочисленные электрические двигатели.

Одинаковое количество текущей воды может совершать тем большую работу, чем больше разность уровней воды, так как изменение потенциальной энергии воды пропорционально изменению её высоты  $h$  от поверхности земли. Одинаковое количество электрического заряда, протекающего в электрической цепи, может совершать тем большую работу, чем больше напряжение  $U$  на участке цепи.

**Вопросы**

1. Что такое постоянный электрический ток?
2. Что такое источник постоянного тока?
3. Почему электрические заряды, переносимые постоянным током, не нейтрализуют заряды на полюсах источника?

**Экспериментальное задание 5.1**

**Работаем в паре**

**Оборудование:** гальванический элемент, соединительные провода, электрическая лампа, ключ.

Соберите электрическую цепь по схеме, представленной на рисунке 5.4. Замкните ключ и наблюдайте свечение нити лампы под действием электрического тока.

Нарисуйте условную схему собранной электрической цепи. Укажите на схеме направление тока в цепи.

Проверьте, будет ли проходить ток в цепи при изменении полярности подключения гальванического элемента.

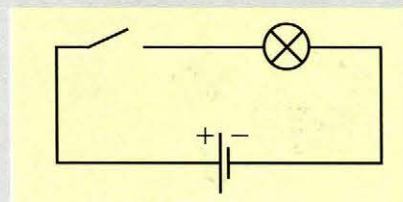


Рис. 5.4





Рис. 5.5

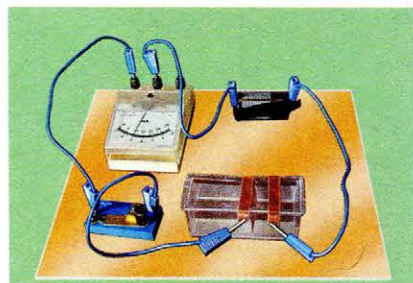


Рис. 5.6



Рис. 5.7

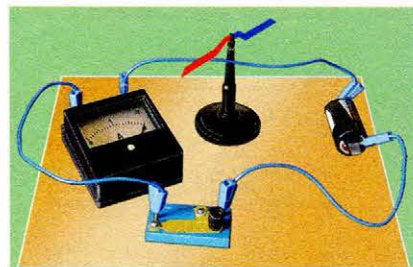


Рис. 5.8

## Действия электрического тока

**Тепловое действие тока.** Существование электрического тока можно обнаружить по различным его действиям. Нагревание проводников электрическим током называется **тепловым действием тока**. Оно используется в различных электронагревательных приборах и лампах накаливания. Причиной нагревания вещества электрическим током являются столкновения заряженных частиц, движущихся под действием электрического поля, с атомами вещества. Эти столкновения увеличивают скорость теплового движения атомов вещества, температура вещества повышается.

**Световое излучение.** Во многих случаях прохождение электрического тока через вещество сопровождается излучением света. Яркой световой вспышкой сопровождается прохождение через воздух электрического тока молнии. Свечение газов при прохождении через них электрического тока используется в газоразрядных лампах (рис. 5.5).

**Излучение радиоволн.** Во время грозы каждый электрический разряд сопровождается громким треском и шумом из динамика радиоприёмника. Эти шумы создаются радиоволнами, излучаемыми электрическими токами молний. Радиопомехи создаются искровыми разрядами при работе электродвигателей и многих других электроприборов.

**Химическое действие тока.** При погружении в воду двух металлических пластин и соединении их с различными полюсами источника постоянного тока в цепи обнаруживается электрический ток (рис. 5.6). Водопроводная вода является проводником электрического тока, так как в ней присутствуют свободные положительные и отрицательные ионы.

При прохождении электрического тока через воду на поверхности пластин появляются пузырьки газа. Пропускание электрического тока через воду приводит к разложению воды на газообразные водород и кислород. Действие тока, приводящее к превращениям одних веществ в другие, называется **химическим действием**.

**Магнитное действие тока.** Соберём электрическую цепь из источника постоянного тока, ключа и проводов. Один провод расположим параллельно магнитной стрелке вблизи неё (рис. 5.7).

При замыкании ключа стрелка поворачивается (рис. 5.8). Способность электрического тока влиять на магнитную стрелку называют **магнитным действием тока**. Магнитное действие тока отличается от всех остальных действий тока тем, что оно универсально, т. е. обнаруживается в любых явлениях, происходящих с протеканием электрического тока.

**Скорость движения электрических зарядов и скорость распространения электрического тока.** Выясним, с какой примерно скоростью движутся заряженные частицы при прохождении тока в проводнике и какова скорость распространения электрического тока.



### Пример решения задачи

**Задача.** Известно, что в одном кубическом миллиметре алюминиевого провода содержится примерно 60 000 000 000 000 000 свободных электронов, т. е. 60 миллиардов миллиардов. Это число примерно в 10 миллиардов раз больше числа всех людей на Земле. Общий электрический заряд свободных электронов в  $1 \text{ мм}^3$  алюминия равен примерно 10 Кл. С какой скоростью движутся свободные электроны в алюминиевом проводе с площадью поперечного сечения  $1 \text{ мм}^2$  при силе тока в проводнике 1 А?

#### Решение

При силе тока 1 А через поперечное сечение проводника за 1 с проходит электрический заряд

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

Если электрический ток в проводнике создаётся движением всех свободных электронов, то для прохождения через поперечное сечение проводника заряда 1 Кл при общем заряде 10 Кл в  $1 \text{ мм}^3$  электронам достаточно всем вместе переместиться за 1 с на 0,1 мм. Следовательно, скорость совместного упорядоченного движения свободных электронов равна 0,1 мм/с.

Такой результат расчёта может показаться противоречащим тому, что мы наблюдаем каждый день при использовании электрических приборов: электрические лампы загораются без малейшего запаздывания после замыкания электрической цепи. Если бы электрический ток распространялся по проводам со скоростью 0,1 мм/с, то лампа на расстоянии 1 м от источника тока загоралась бы почти через 3 ч:

$$t = \frac{s}{v} = \frac{1 \text{ м}}{0,0001 \text{ м/с}} = 10\,000 \text{ с} \approx 167 \text{ мин} \approx 2,8 \text{ ч.}$$

Почти мгновенное распространение электрического тока по проводам объясняется тем, что упорядоченное движение заряженных частиц в проводнике возникает под действием электрического поля, а скорость распространения электрического поля в вакууме равна примерно 300 000 км/с. Почти с такой же скоростью распространяется электрическое поле в воздухе вдоль проводов электрической цепи и приводит в движение свободные электроны. Если два провода протянуть по экватору вокруг Земли и подключить на одном конце цепи лампу, то при подключении источника на другом конце цепи лампа вспыхнет с запаздыванием чуть больше 0,1 с:

$$t = \frac{s}{c} = \frac{40\,000 \text{ км}}{300\,000 \text{ км/с}} = 0,13 \text{ с.}$$

**Задача 5.1.** Сила тока, протекающего через нить лампы электрического фонаря, равна 0,2 А. За какое время через нить лампы проходит электрический заряд 1 Кл?

**Задача 5.2.** Сила тока в канале молнии равна 20 000 А. Какой электрический заряд переносит молния из облака на Землю за 50 мкс?

**Задача 5.3.** Электрический заряд земного шара равен примерно 300 000 Кл. Если бы можно было разрядить Землю за 1 мин, то чему была бы равна сила тока при снятии заряда с Земли?



### Творческое задание

Подготовьте 2—3 опыта по темам:

1. Тепловое действие тока.
2. Световое излучение под действием тока.
3. Излучение радиоволн.
4. Химическое действие тока.
5. Магнитное действие тока.

Продемонстрируйте эти опыты на уроке.



### Вопросы

1. Чем объясняется тепловое действие тока?
2. Как можно на опыте обнаружить химическое действие тока? Чем объясняется химическое действие тока?
3. Как можно обнаружить магнитное действие тока?
4. Почему магнитное действие тока называют универсальным действием?
5. Одинаковы ли скорость движения электронов в металлическом проводнике и скорость распространения электрического тока в проводнике?





Рис. 6.1

кислот. При погружении металлической пластины в электролит ионы электролита вступают в химическое взаимодействие с атомами пластины, и она приобретает электрический заряд.

На пластинах из одинаковых металлов образуется равное число одноимённых зарядов на единице поверхности. Поэтому электрическое напряжение между одинаковыми пластинами равно нулю.

Если для электродов выбираются такие разные вещества, что при взаимодействии с ионами раствора один электрод приобретает положительный заряд, а другой — отрицательный заряд, то при соединении выводов

гальванического элемента проводником возникает электрический ток от положительного электрода к отрицательному. Но напряжение между полюсами элемента при прохождении тока не уменьшается, так как на место ушедших с каждого электрода электрических зарядов из раствора электролита поступают новые электрические заряды в равном количестве.

В наиболее распространённом типе гальванических элементов в качестве материалов для электродов используются цинк и графит. Цинковый цилиндр заполняется порошком графита со специальной примесью. Эта смесь пропитывается электролитом. В середине цилиндра помещается графитовый стержень. Положительные ионы цинка переходят в раствор электролита, и цинковый цилиндр заряжается отрицательным зарядом. Положительные ионы электролита подходят к графитовому стержню и заряжают его положительным зарядом (рис. 6.2). Напряжение между полюсами такого гальванического элемента 1,5 В.

Во время работы гальванического элемента атомы цинка переходят из цинкового цилиндра в электролит, и цилиндр постепенно разрушается, элемент разряжается. Разрушение происходит тем быстрее, чем больше разрядный ток.

Для получения источников тока с большими значениями напряжения несколько гальванических элементов соединяют в батареи последовательно. Положительный полюс первого элемента соединяют с отрицательным полюсом второго, положительный полюс второго элемента — с отрицательным полюсом третьего и т. д. (рис. 6.3). При таком включении напряжение между полюсами батареи равно сумме напряжений на элементах.

**Аккумуляторы.** Существуют гальванические элементы, у которых электроды в процессе разрядки не разрушаются. Работоспособность таких элементов, называемых **аккумуляторами**, можно много раз восстанавливать путём

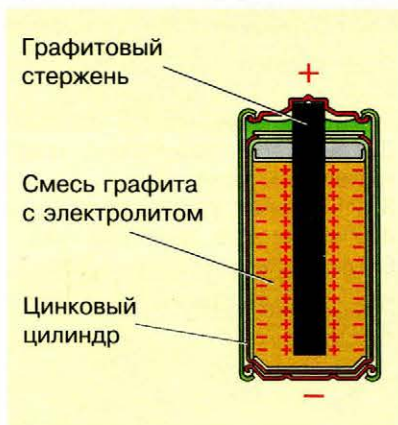


Рис. 6.2

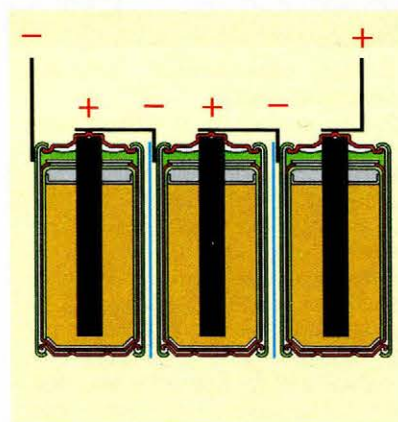


Рис. 6.3



зарядки от другого источника постоянного тока. Широко применяются свинцовые или кислотные аккумуляторы. В этих аккумуляторах используются свинцовые пластины и серная кислота в качестве электролита (рис. 6.4). Характеристикой аккумулятора является ёмкость — максимальный заряд, который он может отдать в процессе разрядки. Этот заряд выражают в *ампер-часах* ( $1 \text{ А} \cdot \text{ч}$ ).  $1 \text{ А} \cdot \text{ч}$  равен общему заряду, проходящему через проводник при силе тока  $1 \text{ А}$  за время  $1 \text{ ч}$ . Например, при ёмкости аккумулятора  $55 \text{ А} \cdot \text{ч}$  аккумулятор способен работать  $55 \text{ ч}$  при силе тока в цепи  $1 \text{ А}$ .

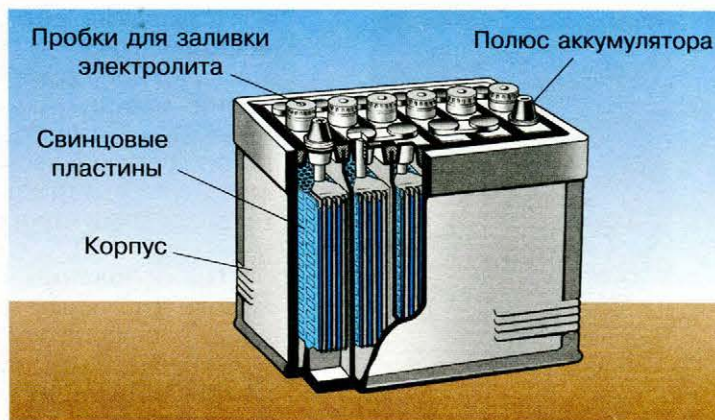


Рис. 6.4

**Задача 6.1.** Гальванический элемент напряжением  $1,5 \text{ В}$  при силе тока в цепи  $0,05 \text{ А}$  разряжается за  $2 \text{ ч}$ . Чему равна работа, совершаемая электрическим полем элемента? На какую высоту можно поднять за счёт такой работы человека массой  $54 \text{ кг}$ ?

**Задача 6.2.** Автомобильный аккумулятор напряжением между полюсами  $12 \text{ В}$  при силе тока в цепи  $5 \text{ А}$  разрядился за  $10 \text{ ч}$ . Чему равна работа, совершаемая электрическим полем аккумулятора? На какую высоту можно поднять за счёт такой работы автомобиль массой  $1000 \text{ кг}$ ?

### Экспериментальное задание 6.1

#### Работаем в паре

#### Изготовление и испытание источника постоянного тока

**Оборудование:** две медные пластины, цинковая пластина, поваренная соль, лимон, вода, миллиамперметр, соединительные провода, сосуд для жидкостей.

**Погружая две металлические пластины в различные жидкости, исследуйте, при каких условиях они могут служить источником постоянного тока.**

#### Порядок выполнения задания

1. Налейте в сосуд воду и погрузите в неё две медные пластины. Соедините пластины с выводами миллиамперметра (рис. 6.5) и наблюдайте, возникает ли в цепи электрический ток.

2. Замените одну медную пластину цинковой пластиной и повторите опыт. Результаты опытов запишите в таблицу.

3. Такие же опыты выполните с раствором поваренной соли и с раствором лимонного сока. (Лимонный сок можно выжать в воду из небольшой дольки лимона.) Результаты опытов запишите в таблицу.

Сделайте выводы, какие жидкости и какие пары металлов пригодны для изготовления гальванических элементов.

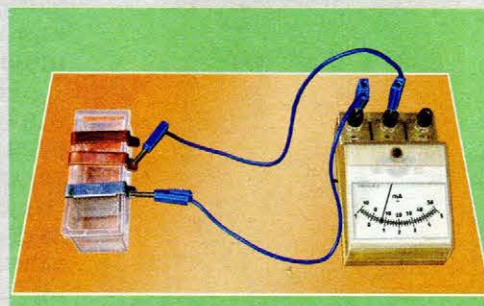


Рис. 6.5

Таблица 6.1

Пáры металлов	Вода	Раствор поваренной соли	Раствор лимонного сока
Медь — медь			
Цинк — медь			





Луиджи Гальвани

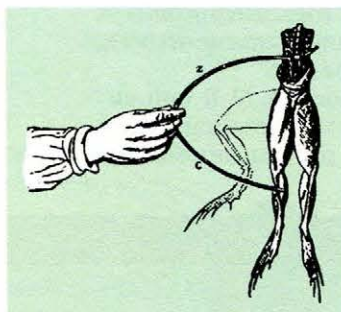


Рис. 6.6



Алессандро Вольта

**Открытие способов создания постоянного электрического тока.** В 1780 г. итальянский учёный Луиджи Гальвани заметил, что электричество вызывает сокращение мышцы лапки лягушки. Дальнейшие исследования привели к открытию замечательного факта — мышца лягушки сокращалась и без электрического воздействия извне, если мышца и нервы соединялись разнородными металлическими проводниками, например железным и медным (рис. 6.6).

На основании своих экспериментов Гальвани сделал вывод, что ткани животных могут вырабатывать и накапливать электричество, которое он назвал «животным электричеством». Накопленное электричество при соединении металлическими проводниками заставляет мышцу сокращаться.

Итальянский физик Алессандро Вольта в 1792 г. сначала повторил опыты Гальвани, а затем стал искать им объяснение, не связанное с гипотезой о существовании особого «животного электричества». Он доказал опытами, что мышца лягушки является лишь чувствительным прибором, регистрирующим электрический ток. Вольта обнаружил, что чувствительным прибором для регистрации электричества может служить язык человека. Для этого на середину языка нужно положить серебряную монету, а на кончик языка — свинцовую пластинку. При соединении проводником монеты и пластинки ощущался кислотавый вкус. Далее Вольта обнаружил, что электричество возникает и без использования тканей животных, если пластины из различных металлов поместить в сосуды с раствором соли или кислоты либо пары медных и цинковых пластинок разделить кружками ткани, смоченными проводящим раствором.

Подобные устройства до сих пор называют гальваническими элементами (по имени Гальвани), хотя Гальвани много лет не соглашался с объяснением своих опытов, данным Вольта. И заслуги Вольта в изучении электрических явлений не забыты историей: его именем названа единица электрического напряжения.

Открытие Вольты привело к существенному прогрессу в изучении электрических и магнитных явлений, так как исследователи впервые получили источники постоянного электрического тока. Сразу после сообщения о способе создания вольтова столба многие учёные стали изготавливать такие источники тока и проводить с ними исследование. Электрическим током было осуществлено разложение воды на кислород и водород, разложение многих солей с выделением чистых металлов. В России Василий Владимирович Петров изготовил в 1802 г. самую мощную в то время батарею из 4200 медных и цинковых кружков и открыл явление электрической дуги. Он доказал возможность использования дуги для плавления металлов, сжигания различных веществ.

**Термоэлектрические источники тока.** Если соединить два конца проволоки из различных металлов и место их соединения нагреть, то милливольтметр, подключённый к холодным концам проволоки, обнаруживает воз-

@ Найдите

[http://class-fizika.narod.ru/8\\_el13.htm](http://class-fizika.narod.ru/8_el13.htm) (Вольта держит монеты во рту.)



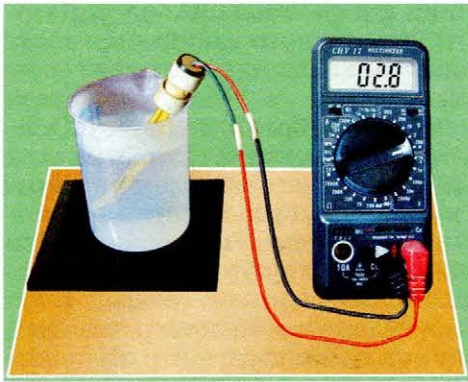


Рис. 6.7



Рис. 6.8

никновение электрического напряжения (рис. 6.7). Это физическое явление называется термоэлектрическим эффектом. Две таким образом соединённые проволоки называются **термопарой**.

Причина возникновения термоэлектрического тока следующая. При нагревании одного конца длинного металлического проводника часть электронов диффундирует от конца с более высокой температурой к более холодному концу. Холодный конец заряжается отрицательно. У проводников из разных металлов концентрация свободных электронов различна. Поэтому при одинаковой разнице температур между холодным и горячим концами у проводников из различных металлов возникает разное электрическое напряжение. Напряжение между холодными концами термопары пропорционально разности температур между её холодным и горячим концами. Это позволяет использовать термопары для измерения температуры (рис. 6.8).

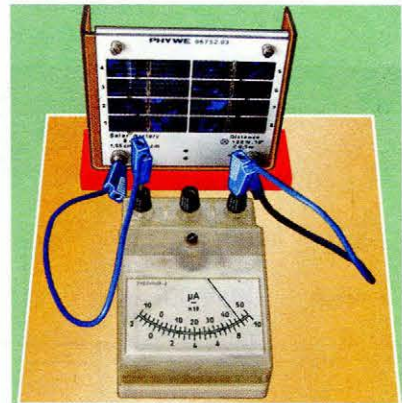


Рис. 6.9

**Фотоэлектрические источники тока.** Разделение электрических зарядов может происходить и под действием света. Устройства, в которых преобразуется энергия светового излучения в энергию электрического поля источника постоянного тока, называются **фотоэлементами**. В фотоэлементах частицы света, называемые фотонами, передают свою энергию электронам вещества и освобождают их. Это приводит к возникновению двух разноимённо заряженных полюсов фотоэлемента (рис. 6.9).

Фотоэлементы используются в качестве источников постоянного тока в микрокалькуляторах, часах, на ИСЗ и космических станциях (рис. 6.10).

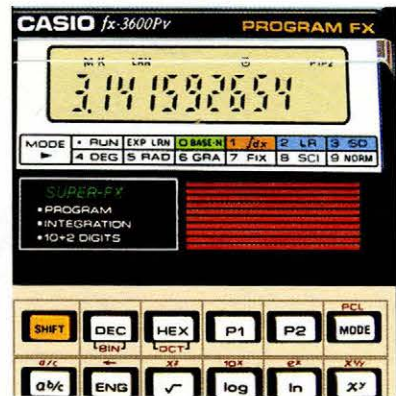


Рис. 6.10

**Вопросы**

1. В чём суть открытия Гальвани?
2. Как можно объяснить результаты опыта Вольта с разнородными пластинами на языке?
3. Как возникает электрическое напряжение на концах термопары?
4. Что такое фотоэлемент?
5. Где применяются термоэлементы и фотоэлементы?



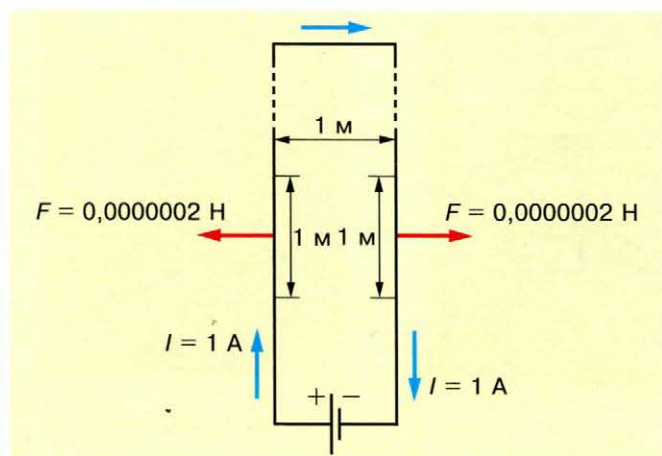


Рис. 7.1

**Единица силы тока.** Из-за универсальности магнитного действия электрического тока для определения единицы силы тока в Международной системе единиц выбрано это взаимодействие. Опытами установлено, что при пропускании постоянного электрического тока в одном направлении по параллельно расположенным проводникам между ними действуют силы магнитного притяжения, а между токами, текущими в противоположных направлениях, действуют силы магнитного отталкивания.

За единицу силы тока  $1\text{ А}$  в Международной системе единиц принимается сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконеч-

ной длины и малой площади поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии  $1\text{ м}$  один от другого, вызывал бы между этими проводниками силу магнитного взаимодействия, равную  $2$  десятиллионным ньютона на каждый метр длины (рис. 7.1).

Название единицы силы тока в Международной системе единиц *ампер* ( $1\text{ А}$ ) дано в честь французского физика Андре Мари Ампера, открывшего явление магнитного взаимодействия токов. Тысячная и миллионная доли ампера называются *миллиампер* ( $1\text{ мА}$ ) и *микроампер* ( $1\text{ мкА}$ ).

**Амперметр.** Магнитное действие на проводник с током используется в приборах для измерения силы тока. Приборы для измерения силы тока называются **амперметрами, миллиамперметрами** или **микроамперметрами**.

Если шкала прибора для измерения силы тока проградуирована в амперах, то на шкале прибора стоит буква  $\text{А}$ , если на шкале стоят буквы  $\text{мА}$ , то это миллиамперметр, а на шкале микроамперметра ставятся буквы  $\text{мкА}$  или  $\mu\text{А}$ .

Приборы для измерения силы тока на электрических схемах изображаются условным обозначением  $\text{Ⓐ}$ .

В амперметре (рис. 7.2) между полюсами магнита  $4$  помещена катушка  $5$ , укрепленная на оси  $1$ . К ней прикреплена стрелка  $3$  прибора. При протекании через катушку измеряемого электрического тока на горизонтальные участки проводов катушки действуют силы со стороны магнитов. В противоположных сторонах катушки токи текут в противоположных направлениях, поэтому и силы со стороны магнитов направлены противоположно. Под действием этих сил катушка поворачивается, вместе с ней поворачивается относительно шкалы стрелка прибора. Повороту катушки препятствует спиральная пружина  $2$ . Вращение катушки прекращается, когда действие силы упругости пружины уравновешивает действие магнитных сил. Поворот катушки и отклонение стрелки пропорциональны силе тока.

**Запомните**

$1\text{ А} = 1000\text{ мА} = 1\,000\,000\text{ мкА}$ ,

$1\text{ мА} = 0,001\text{ А}$ ,

$1\text{ мкА} = 0,000001\text{ А}$ .

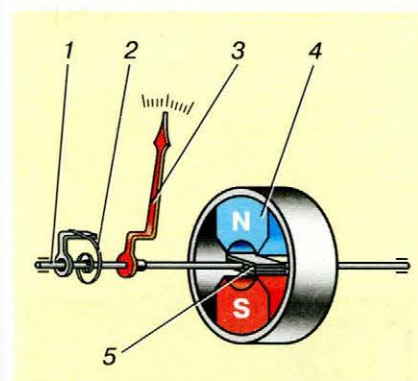


Рис. 7.2

**Вопросы**

1. Как определяется единица силы тока в Международной системе единиц?
2. Почему для определения единицы силы тока выбрано магнитное действие тока?
3. Как на практике измеряют силу тока?
4. Как устроен амперметр?



Прибор для измерения силы тока в цепи включается так, чтобы через него протекал весь ток. Для этого цепь в одном месте разрывают и туда включают прибор для измерения тока. Такое включение называется **последовательным**.

При включении амперметра в электрическую цепь его клемма со знаком «+» подключается к положительному полюсу источника тока, а клемма со знаком «-» — к отрицательному полюсу.

Определение единицы силы тока дано через силы взаимодействия прямолинейных бесконечных проводников. Но градуировать приборы для измерения силы тока путём измерения этих сил невозможно не только потому, что нельзя осуществить опыт с бесконечными проводниками, но и потому, что силы магнитного взаимодействия одиночных проводников на расстоянии 1 м очень малы. Поэтому на практике выполняются измерения сил взаимодействия катушек с большим числом витков, находящихся на небольших расстояниях друг от друга.

Зависимость сил магнитного взаимодействия катушек с током от формы катушек, силы тока и расстояния между катушками рассчитывается на основании известного закона магнитного взаимодействия движущихся электрических зарядов. Такой прибор называется токовыми весами.

### Экспериментальное задание 7.1

#### Работаем в паре

#### Измерение силы тока

**Оборудование:** источник постоянного тока, амперметр, ключ, электрическая лампа, резистор, соединительные провода.

#### Порядок выполнения задания

1. Соберите электрическую цепь, состоящую из источника постоянного тока, амперметра, ключа, электрической лампы и соединительных проводов, по схеме, представленной на рисунке 7.3. При включении амперметра обратите внимание на то, чтобы клемма амперметра со знаком «+» была подключена к положительному полюсу источника тока, а клемма со знаком «-» — к отрицательному полюсу.

2. Замкните ключ и запишите показания амперметра.

3. Измените место подключения амперметра в цепи по схеме, представленной на рисунке 7.4. Замкните ключ и запишите показания амперметра.

4. Измените место подключения амперметра в цепи по схеме, представленной на рисунке 7.5, и запишите показания амперметра.

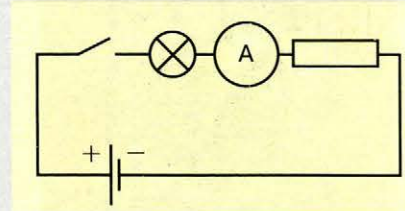


Рис. 7.3

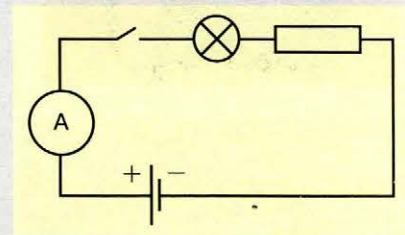


Рис. 7.4

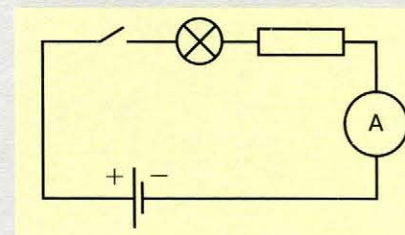


Рис. 7.5

#### ? Вопрос

Одинакова ли сила тока на разных участках электрической цепи при последовательном включении всех её элементов?





Рис. 7.6

**Цифровые электроизмерительные приборы.** Кроме стрелочных электроизмерительных приборов, в которых используется магнитное действие тока, в научных исследованиях, в технике и быту применяются электронные цифровые приборы. Они обычно изготавливаются для измерения не только силы тока, но и напряжения, электрического сопротивления и некоторых других электрических величин. Такие приборы называют **мультиметрами**.

Электронная схема мультиметра обычно питается от гальванического элемента внутри прибора. Для измерений прибор нужно включить с помощью общего переключателя «вкл/выкл» или «on/off». При включении на дисплее прибора должна высветиться цифра 0 (или 00.0, 0.00).

При измерении силы тока мультиметром его электронная схема создаёт сигнал, пропорциональный протекающему электрическому току. По этому сигналу на жидкокристаллическом дисплее высвечивается цифрами значение силы тока.

Простые мультиметры имеют три зоны для установки переключателя рода работ, отмеченные символами А, V и  $\Omega$  (рис. 7.6). Символ А соответствует использованию прибора для измерения силы тока, символ V — для измерения напряжения, символ  $\Omega$  — для измерения электрического сопротивления.

При измерении силы тока и напряжения в электрических цепях постоянного тока нужно устанавливать переключатель «~/—» в положение «—» или переключатель «DC/AC» в положение «DC». (Обозначения «~» и «AC» соответствуют измерениям на переменном токе.) Также можно использовать клеммы подключения с такими обозначениями.

Для использования мультиметра в качестве прибора для измерения силы тока нужно поставить переключатель вида измерений в положение измерения силы тока, выбрав максимальное измеряемое значение силы тока в соответствии с условиями планируемых измерений.

**Задача 7.1.** На рисунке 7.7 представлена электрическая цепь, состоящая из гальванического элемента, проволочного резистора, ключа и прибора для измерения силы тока, соединённых последовательно проводниками. По показаниям прибора определите силу тока в цепи. Выразите значение силы тока в амперах, миллиамперах и микроамперах. (Увеличенное изображение части шкалы прибора дано на рисунке 7.7 справа вверху.)

**Задача 7.2.** Электрическая цепь состоит из гальванического элемента, двух электрических ламп, ключа и миллиамперметра для измерения силы тока, соединённых последовательно проводниками (рис. 7.8). Левая клемма электроизмерительного прибора называется общей клеммой и соединяется с отрицательной клеммой источника тока, средняя или правая клеммы соединяются с положительным полюсом источника тока. При использовании средней клеммы показания прибора отсчитываются по нижней шкале, при использовании правой клеммы — по верхней шкале. Определите по показаниям прибора силу тока в цепи. (Увеличенное изображение части шкалы прибора дано на рисунке 7.8 справа вверху.) Выразите значение силы тока в амперах, миллиамперах и микроамперах.



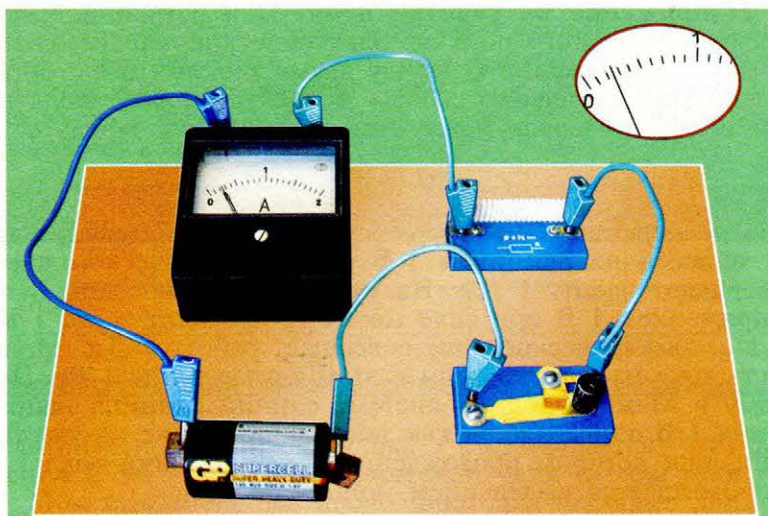


Рис. 7.7

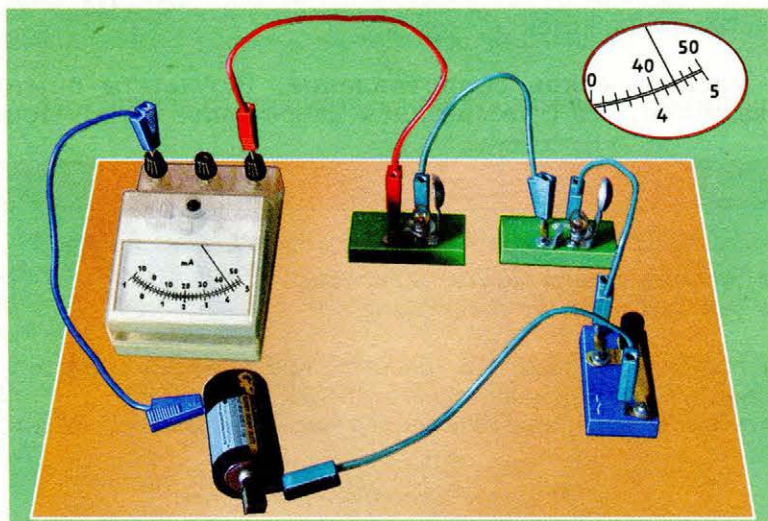


Рис. 7.8

**Задача 7.3.** На рисунке 7.9 представлена электрическая цепь, состоящая из фотозлемента и микроамперметра для измерения силы тока. Определите по показаниям прибора силу тока в цепи. Включение соответствует использованию верхней шкалы прибора. (Увеличенное изображение части шкалы прибора дано на рисунке 7.9 справа сверху.)



Рис. 7.9



## §8. Закон Ома для участка цепи



Георг Ом

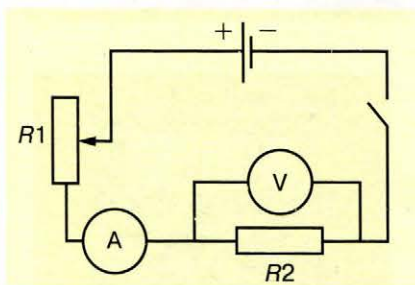


Рис. 8.1

**Напряжение на участке цепи.** При изучении действия электрического поля на электрические заряды электрическое напряжение  $U$  между двумя точками было определено как отношение работы  $A$  электрического поля по перемещению заряда между этими точками к заряду  $q$ :

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

При перемещении заряда 1 Кл на участке между двумя точками напряжением 1 В силы электрического поля совершают работу 1 Дж. На участке электрической цепи напряжением 1 В при силе тока 1 А проходит заряд 1 Кл за 1 с, электрическое поле совершает работу 1 Дж. Мощность тока на участке цепи в этом случае равна 1 Вт. Поэтому в Международной системе единиц единица напряжения 1 В определяется как такое напряжение на участке цепи, при котором прохождение электрического тока 1 А сопровождается выделением мощности 1 Вт.

Прибор для измерения напряжения на участке электрической цепи называется **вольтметром**. Для измерения напряжения на участке электрической цепи клеммы вольтметра соединяются проводами с концами участка цепи. Такое соединение называется **параллельным**. Вольтметр при измерении напряжения на участке цепи подключается параллельно этому участку цепи (рис. 8.1). На шкале вольтметра ставится значок V.

**Электрическое сопротивление.** Результаты опытов показывают, что с увеличением напряжения  $U$  на участке

### Экспериментальное задание 8.1

#### Работаем в паре

#### Исследование зависимости силы тока на участке цепи от напряжения

**Оборудование:** источник постоянного тока 4 В, реостат, проволочный резистор, амперметр, вольтметр, соединительные провода, электрический ключ.

**Исследуйте зависимость силы тока, протекающего через резистор, от напряжения на нём.**

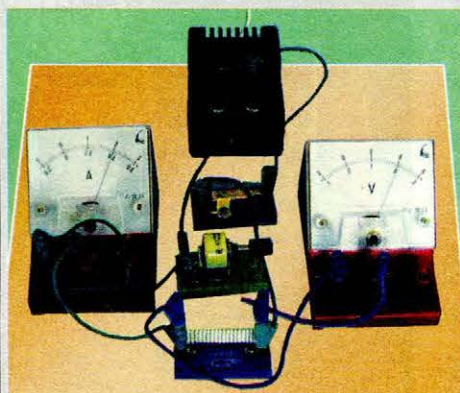


Рис. 8.2

#### Порядок выполнения задания

1. Соберите электрическую цепь по схеме (см. рис. 8.1). Провод от источника тока соедините со средним из трёх контактов реостата  $R1$ , один крайний контакт реостата соедините с амперметром. Проверьте правильность сборки цепи по рисунку 8.2.

2. Вращением ручки реостата установите силу тока  $I$  в цепи 0,3 А. Измерьте напряжение  $U$  на резисторе  $R2$  при этом значении силы тока в цепи. Запишите результаты измерений в таблицу.

3. С помощью реостата установите силу тока в цепи 0,4 А. Измерьте напряжение  $U$  на резисторе  $R2$  при этом значении силы тока в цепи. Затем измерьте напряжения при силе тока в цепи 0,5 и 0,6 А. Запишите результаты измерений в таблицу.



4. Вычислите отношения значений напряжения и силы тока в каждом опыте. Запишите результаты вычислений в таблицу. Остаётся ли постоянным отношение напряжения на участке электрической цепи к силе тока при различных значениях напряжения?

Таблица 8.1

$I, A$	0,3	0,4	0,5	0,6
$U, B$				
$U/I$				

### ? Вопросы

1. Как определяется единица электрического напряжения 1 В на участке цепи постоянного тока?
2. Как называется прибор для измерения напряжения на участке электрической цепи?
3. Как вольтметр включается в электрическую цепь для измерения напряжения на участке электрической цепи?
4. Какой знак ставится на шкале вольтметра?

электрической цепи сила тока  $I$  увеличивается, но при этом отношение напряжения  $U$  на участке электрической цепи к силе тока  $I$  остаётся неизменным.

При замене одного проводника другим, более длинным, тонким или изготовленным из другого металла, в опытах также обнаруживается прямая пропорциональная зависимость силы тока от напряжения, но отношение напряжения к силе тока у разных проводников имеет разное значение. Отсюда можно сделать вывод, что это отношение является характеристикой электрических свойств каждого проводника.

Отношение напряжения  $U$  на участке электрической цепи к силе тока  $I$  называется электрическим сопротивлением участка цепи.

Электрическое сопротивление обозначается латинской буквой  $R$ :

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

Единица электрического сопротивления в СИ называется *ом* (1 Ом). Это название дано в честь немецкого физика Георга Ома, установившего в 1826 г. прямую пропорциональную зависимость между напряжением на участке цепи и силой тока.

Участок электрической цепи обладает электрическим сопротивлением 1 Ом, если при напряжении 1 В на этом участке цепи сила тока в цепи равна 1 А:

$$1 \text{ Ом} = \frac{1 \text{ В}}{1 \text{ А}}.$$

Наиболее часто употребляемые кратные единицы электрического сопротивления называются *килоом* (1 кОм) и *мегаом* (1 МОм).

**Закон Ома для участка цепи.** Прямую пропорциональную зависимость между напряжением на участке цепи и силой тока, открытую Георгом Омом, называют **законом Ома для участка цепи**:

сила тока  $I$  прямо пропорциональна напряжению  $U$  на участке цепи и обратно пропорциональна электрическому сопротивлению  $R$  участка цепи:

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

### ! Запомните

$$\begin{aligned} 1 \text{ кОм} &= 1000 \text{ Ом}, \\ 1 \text{ МОм} &= 1\,000\,000 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

### ? Вопросы

1. Что называется электрическим сопротивлением?
2. Как определяется единица электрического сопротивления?
3. Какова связь между силой тока в цепи, напряжением на участке цепи и электрическим сопротивлением участка цепи?
4. Сформулируйте закон Ома для участка цепи.



**Задача 8.1.** При подключении электрической лампы к гальваническому элементу напряжением между полюсами 1,4 В через нить лампы проходит электрический ток 70 мА. Чему равно электрическое сопротивление нити лампы?

**Задача 8.2.** При запуске мотора автомобиля к полюсам аккумулятора напряжением 12 В подключается обмотка стартера электрическим сопротивлением 0,6 Ом. Чему равна при этом сила тока в цепи?

**Задача 8.3.** Нить электрической лампы перегорает при силе тока 200 мА, электрическое сопротивление нагретой нити лампы равно 35 Ом. Чему равно максимально допустимое напряжение на нити лампы?

**Резисторы.** Для регулирования силы тока в электрической цепи используются специальные элементы цепи с определёнными значениями электрического сопротивления, называемые **резисторами**. Резисторы изготавливают из металлической проволоки или другого проводящего вещества. Прибор из резисторов с различными электрическими сопротивлениями с рукоятками переключений называется **магазином сопротивлений**. На рисунке 8.3 представлен внешний вид некоторых резисторов и условное обозначение резистора на схемах, а на рисунке 8.4 — внешний вид магазина сопротивлений. Вращением рукояток переключателей можно подключить к клеммам прибора резисторы с любым значением электрического сопротивления — от 0,01 до 10 000 Ом.

**От чего зависит электрическое сопротивление проводника.** Исследования показывают, что электрическое сопротивление  $R$  однородного проводника прямо пропорционально его длине  $l$  и обратно пропорционально площади поперечного сечения  $S$ . Электрическое сопротивление проводников из разных веществ при одинаковой длине и одинаковой площади поперечного сечения оказывается различным.

Для учёта зависимости электрического сопротивления проводника от вещества вводится коэффициент  $\rho$ , называемый **удельным электрическим сопротивлением** вещества.

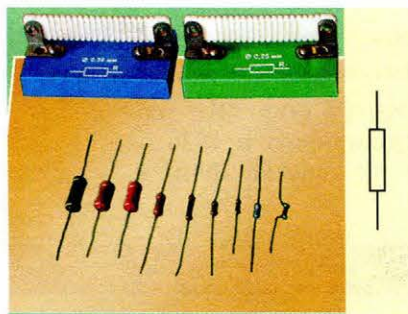


Рис. 8.3



Рис. 8.4

Электрическое сопротивление  $R$  однородного проводника прямо пропорционально удельному сопротивлению  $\rho$ , его длине  $l$  и обратно пропорционально площади поперечного сечения  $S$ :

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

Отсюда следует:  $\rho = \frac{RS}{l}$ .

В Международной системе единиц удельное электрическое сопротивление вещества численно равно электрическому сопротивлению проводника из этого вещества длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 м<sup>2</sup>. Удельное сопротивление выражается в *омах на метр* (1 Ом · м). Числа при этом получаются очень малыми, с большим числом нулей после запятой. Поэтому обычно удельное сопротивление выражают в миллион раз меньших единицах — в *микроомах на метр* (1 мкОм · м). Удельным сопротивлением примерно 1 мкОм · м обладает, например, сплав никеля с хромом, называемый **нихромом**. Проволока площадью поперечного сечения 1 мм<sup>2</sup> и длиной 1 м из такого вещества обладает электрическим сопротивлением 1 Ом.

**Реостат.** Для регулирования силы тока в цепи служат реостаты. Основной частью реостата является проволока, намотанная на основу из диэлектрического материала. Перемещением скользящего контакта по проволоке изменяется длина проволоки, включаемой в электрическую цепь.



Тем самым изменяется электрическое сопротивление включённого в цепь реостата. На рисунке 8.5 представлен внешний вид нескольких реостатов и условное обозначение реостата.

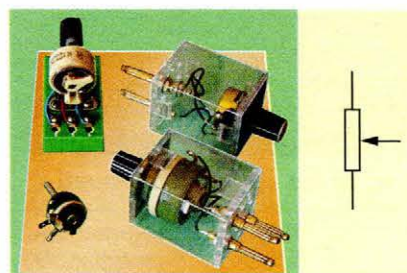


Рис. 8.5

**Задача 8.4.** Удельное электрическое сопротивление вольфрама  $0,055 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ . Чему равна площадь поперечного сечения вольфрамовой проволоки длиной 10 см, обладающей электрическим сопротивлением 100 Ом?

**Задача 8.5.** Удельное электрическое сопротивление меди  $0,017 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ . Чему равно электрическое сопротивление медной проволоки площадью поперечного сечения  $1 \text{ мм}^2$  и длиной 100 м?

### Экспериментальное задание 8.2

#### Работаем в группе

#### Исследование зависимости электрического сопротивления проводника от его длины и площади поперечного сечения

**Оборудование:** источник постоянного тока, три проводочных резистора, амперметр, вольтметр, соединительные провода, электрический ключ.

**Исследуйте зависимость электрического сопротивления металлической проволоки от её длины и площади поперечного сечения.**

*Порядок выполнения задания*

1. Соберите электрическую цепь по схеме (рис. 8.6) с резистором  $R_2$  из металлической проволоки длиной  $l_0$ , диаметром 0,36 мм и площадью поперечного сечения  $0,1 \text{ мм}^2$  (рис. 8.7). Измерьте напряжение  $U$  на резисторе  $R_2$  и силу тока  $I$  в цепи. Запишите результаты измерений в таблицу.

2. Вычислите электрическое сопротивление резистора  $R_2$ . Запишите результат вычислений в таблицу.

3. Соберите электрическую цепь из металлической проволоки длиной  $2l_0$  и площадью поперечного сечения  $0,1 \text{ мм}^2$  из двух последовательно соединённых резисторов. Измерьте напряжение  $U$  на двух резисторах и силу тока  $I$  в цепи. Вычислите электрическое сопротивление двух резисторов, соединённых последовательно. Запишите результаты измерений и вычислений в таблицу.

4. Соберите электрическую цепь с резистором  $R_1$  из металлической проволоки длиной  $l_0$ , диаметром 0,25 мм и площадью поперечного сечения  $0,05 \text{ мм}^2$  (рис. 8.8). Измерьте напряжение  $U$  на резисторе  $R_1$  и силу тока  $I$  в цепи. Вычислите электрическое сопротивление резистора  $R_1$ . Запишите результаты измерений и вычислений в таблицу.

Сделайте вывод, как зависит электрическое сопротивление  $R$  однородного проводника от его длины  $l$  и площади поперечного сечения  $S$ .

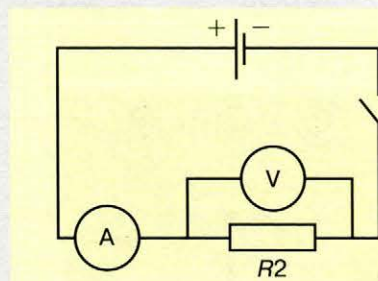


Рис. 8.6

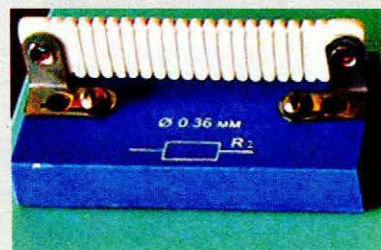


Рис. 8.7

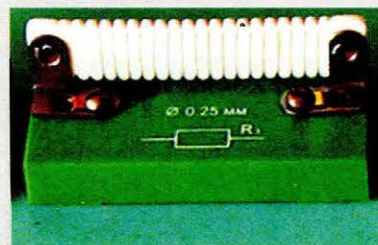


Рис. 8.8

Таблица 8.2

$l$	$S, \text{ мм}^2$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ А}$	$R = U/I, \text{ Ом}$
$l_0$	0,1			
$2l_0$	0,1			
$l_0$	0,05			



## §9. Измерение электрических величин

**Вольтметр и амперметр.** Для исследования физических явлений, происходящих в электрических цепях постоянного тока, необходимо иметь приборы для измерения силы тока и напряжения. Прибор для измерения постоянного напряжения, называемый **вольтметром**, может быть устроен совершенно так же, как амперметр. Угол поворота катушки из провода между полюсами магнита и стрелки в амперметре (см. рис. 7.2) пропорционален силе тока, а напряжение  $U$  на концах провода катушки по закону Ома равно произведению силы тока  $I$  на электрическое сопротивление  $R$  провода катушки:  $U = IR$ . Поэтому напряжение на клеммах амперметра можно вычислить, умножив измеренную силу тока на сопротивление катушки. На практике шкалу вольтметра сразу градуируют в вольтах.

В действительности амперметры и вольтметры существенно отличаются друг от друга. Амперметр включается в электрическую цепь последовательно со всеми остальными элементами цепи. Для возможно меньшего влияния на результат измерения силы тока в электрической цепи электрическое сопротивление провода катушки амперметра должно быть очень малым. Если клеммы амперметра подключить к полюсам источника постоянного тока для измерения напряжения, то при малом значении сопротивления провода катушки амперметра сила тока будет такой большой, что провод катушки нагреется до высокой температуры, загорится слой изоляции на проводе или даже расплавится часть провода. Прибор сгорит.

Вольтметр подключается параллельно участку, на котором нужно измерить напряжение. Сопротивление провода катушки вольтметра должно быть большим, для того чтобы сила тока через прибор была малой. Для измерения малых напряжений в тысячные доли вольта применяются милливольтметры (рис. 9.1).

Для измерения высоких напряжений в тысячи и десятки тысяч вольт применяются приборы, называемые киловольтметрами (рис. 9.2). Такие приборы основаны на ином принципе действия, подобном принципу действия электромметра, в котором отталкиваются одноимённо заряженные тела. Одно из взаимодействующих тел закреплено неподвижно, а другое может вращаться вокруг вертикальной оси, но его вращению препятствуют силы упругости металлической нити. При этом вращении поворачивается маленькое зеркало и отклоняется пучок света, отражаемого зеркальцем. Угол поворота пропорционален приложенному напряжению. Напряжение определяется по отклонению светового указателя на шкале прибора.

Для полного выяснения принципов измерения силы тока, напряжения и электрического сопротивления нужно ответить на вопрос: как измерить электрическое сопротивление провода катушки вольтметра, чтобы отградуировать его шкалу по измерению силы тока?

Трудность заключается в том, что для определения электрического сопротивления участка цепи на основании закона Ома нужно измерить напряжение на участке цепи и силу тока в цепи. Но у нас ещё нет прибора для измерения напряжения, мы его ещё только изобретаем.

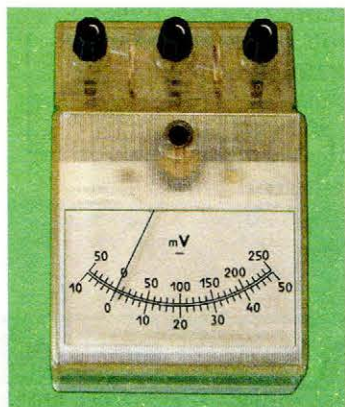


Рис. 9.1

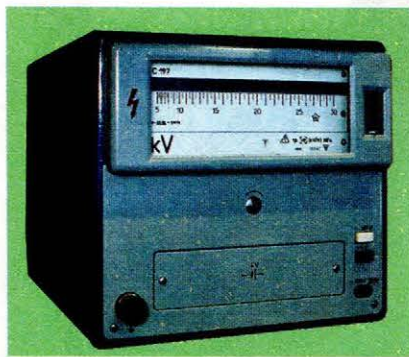


Рис. 9.2



А если нет вольтметра, то нет и наборов резисторов с точно измеренными значениями электрического сопротивления.

Как же изготовить вольтметр? Если вы ещё не придумали свой способ, вернитесь к началу § 8, прочитайте определение единицы напряжения 1 В на участке цепи и продолжите поиск решения проблемы.

Возможным является следующее решение. Подберём проводник такой длины, чтобы при силе тока 1 А мощность выделяющейся в проводнике энергии в результате прохождения тока была равна 1 Вт. При этом напряжение между концами проводника равно 1 В. Отмечаем на шкале деление 1 В. Увеличиваем силу тока до 2 А. При этом напряжение между концами проводника равно 2 В. Отмечаем на шкале деление 2 В и т. д.

Разумеется, это не описание реального способа изготовления вольтметров, а обсуждение общих принципов создания электроизмерительных приборов. На схемах вольтметр обозначается знаком  $\text{V}$ .

### Удельное электрическое сопротивление различных металлов и сплавов при температуре 20 °С

Вещество	$\rho$ , мкОм · м
Алюминий	0,028
Вольфрам	0,055
Железо	0,098
Золото	0,024
Константан	0,48—0,52
Латунь	0,071
Манганин	0,42—0,48
Медь	0,017
Никелин	0,39—0,45
Нихром	1,0—1,1
Платина	0,105
Свинец	0,205
Серебро	0,016
Титан	0,42
Цинк	0,059
Цирконий	0,41

## Экспериментальное задание 9.1

### Работаем самостоятельно

#### Измерение удельного электрического сопротивления металла

Используя результаты измерений электрического сопротивления проволочного резистора, полученные при выполнении экспериментального задания 8.2, **найдите удельное электрическое сопротивление металла, из которого изготовлен проволочный резистор.**

#### Порядок выполнения задания

1. Измерьте длину одного витка провода резистора. Считайте число витков и вычислите длину  $l$  проволоки.
2. По диаметру проволоки, указанному на подставке, вычислите площадь поперечного сечения  $S$  проволоки.
3. По найденным значениям электрического сопротивления  $R$ , длины проволоки  $l$  и площади поперечного сечения  $S$  вычислите удельное электрическое сопротивление  $\rho$  материала проволоки:

$$\rho = \frac{RS}{l}.$$

4. Выразите полученный результат в микроомах на метр (мкОм · м). Сравните полученный результат с приведёнными в таблице на этой странице значениями удельного электрического сопротивления различных металлов и попробуйте определить, из какого металла изготовлена проволока данного резистора.

### ? Вопросы

1. Можно ли подключать вольтметр непосредственно к полюсам источника постоянного тока?
2. Можно ли подключать амперметр непосредственно к полюсам источника постоянного тока?
3. Можно ли определить силу тока в электрической цепи, имея только вольтметр и резистор с известным электрическим сопротивлением?



## Экспериментальное задание 9.2

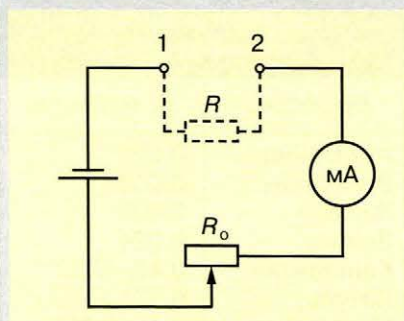


Рис. 9.3

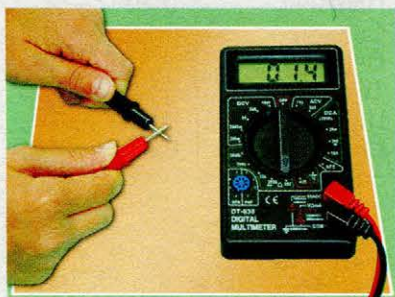


Рис. 9.4



Рис. 9.5

### Работаем самостоятельно

#### Измерение электрического сопротивления омметром

*Оборудование:* омметр, электрическая лампа.

**Измерьте омметром электрическое сопротивление нити лампы.**

#### Содержание работы

Электрическое сопротивление обычно измеряют специальным измерительным прибором — омметром.

Принцип действия омметра основан на использовании источника тока с постоянным значением напряжения и микроамперметра со специально проградуированной шкалой. Микроамперметр включается последовательно с источником тока и резистором  $R_0$  (рис. 9.3). Сопротивление  $R_0$  таково, что при замыкании клемм прибора накоротко стрелка прибора отклоняется до крайнего правого деления шкалы с цифрой «0» (на дисплее цифрового омметра показание «0»).

При включении между клеммами 1, 2 (выводами омметра) резистора с некоторым электрическим сопротивлением  $R$  сила тока в цепи омметра уменьшается. По отклонению стрелки омметра определяется значение электрического сопротивления резистора  $R$ .

#### Порядок выполнения задания

1. При использовании цифрового мультиметра в качестве омметра поставьте переключатель рода работ прибора в положение, соответствующее измерениям электрического сопротивления, против деления 100 или 200 в секторе, отмеченном значком « $\Omega$ ». В этом положении возможны измерения электрического сопротивления до 100 (или 200) Ом.

2. Закоротите контакты омметра (соедините концы щупов) и запишите показания прибора (рис. 9.4). Так вы измерите сопротивление подводящих проводов.

3. Подключите концы щупов к выводам лампы (рис. 9.5) и запишите показания прибора. Вычтите из полученного результата найденное значение электрического сопротивления подводящих проводов и найдите электрическое сопротивление нити лампы.

**Как можно сделать вольтметр из микроамперметра.** Для изготовления вольтметра из микроамперметра нужно подобрать соответствующий резистор.

Рассмотрим пример. Имеется микроамперметр, рассчитанный на максимальную силу тока 500 мкА, и из него нужно сделать вольтметр, способный измерять напряжение до 5 В. Для этого можно включить последовательно с микроамперметром резистор с таким электрическим сопротивлением  $R$ , при котором сила тока через микроамперметр будет равна 500 мкА при общем напряжении на



резисторе и микроамперметре 5 В. Для вычисления нужного значения сопротивления  $R$  резистора нужно учитывать, что микроамперметр обладает некоторым собственным сопротивлением, условно обозначенным на схеме резистором  $r$  (рис. 9.6).

При общем напряжении  $U$  на резисторе  $R$  и микроамперметре сила тока  $I$  через микроамперметр равна:

$$I = \frac{U}{R+r},$$

отсюда сопротивление резистора  $R = \frac{U}{I} - r$ .

В данном примере

$$U = 5 \text{ В}, I = 500 \text{ мкА} = 0,0005 \text{ А}.$$

Отсюда нужное значение сопротивления  $R$  резистора равно:  $R = 10\,000 \text{ Ом} - r = 10 \text{ кОм} - r$ .

Электрическое сопротивление  $r$  микроамперметра может быть указано на шкале прибора. Если нет, то его можно измерить с помощью омметра.

Например, если сопротивление микроамперметра равно 350 Ом, то сопротивление  $R$  резистора должно быть равно:  $R = 10\,000 \text{ Ом} - 350 \text{ Ом} = 9650 \text{ Ом}$ .

Подбираем резистор с таким сопротивлением и включаем последовательно с микроамперметром. Для испытания изготовленного вольтметра подадим на его клеммы напряжение 4 В. Для контроля параллельно новому «вольтметру» включаем обычный вольтметр и сравниваем показания приборов (рис. 9.7). Сравнение показывает, что расчёт был выполнен верно. При напряжении 4 В стрелка микроамперметра отклонилась до деления шкалы 400 мкА. Напряжению 1 В соответствуют показания прибора 100 мкА и т. д.

**Задача 9.1.** Источник постоянного тока находится на расстоянии 10 м от электрического нагревателя с электрическим сопротивлением спирали 10 Ом. Чему равно минимальное допустимое значение площади поперечного сечения алюминиевого провода, соединяющего нагреватель с источником тока, при условии, что на подводящих проводах падение напряжения не должно превышать 2% от напряжения на спирали нагревателя?

**Задача 9.2.** Стоимость электрического кабеля определяется в основном стоимостью используемого металла. При проектировании определяется допустимое значение электрического сопротивления кабеля на данном участке. Кабель из какого металла в этих условиях экономически предпочтительно использовать, если цена меди 170 р. за 1 кг, а цена алюминия 60 р. за 1 кг?

**Задача 9.3.** При подключении к клеммам источника постоянного тока показания вольтметра были равны 15 В. При подключении этого вольтметра к клеммам того же источника постоянного тока последовательно с миллиамперметром показания вольтметра были равны 14,9 В, а показания миллиамперметра были равны 1 мА. По результатам этих двух измерений найдите значения внутренних сопротивлений вольтметра и миллиамперметра.

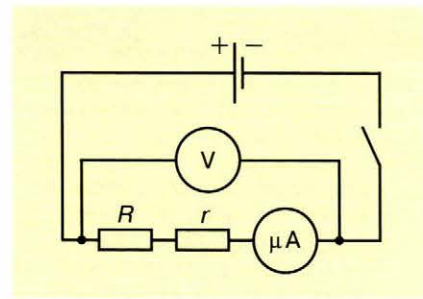


Рис. 9.6

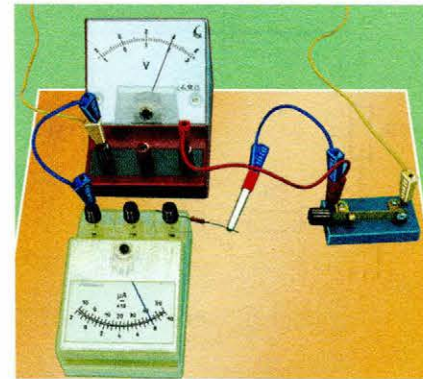


Рис. 9.7

**? Вопросы**

1. Каков принцип действия вольтметра?
2. Чем отличается вольтметр от амперметра?
3. Что произойдёт, если вольтметр по ошибке будет включён в цепь последовательно вместо амперметра?
4. Что произойдёт, если амперметр по ошибке будет подключён к полюсам источника тока вместо вольтметра?



## § 10. Последовательное соединение проводников

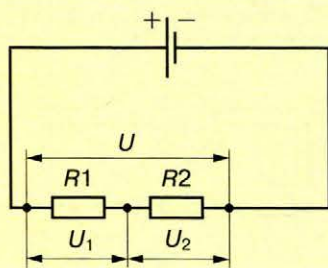


Рис. 10.1

Электрическое напряжение на последовательно соединённых элементах цепи постоянного тока. Включение элементов электрической цепи один за другим называется **последовательным соединением**. Мы уже установили экспериментально (§ 7), что при последовательном соединении сила тока на любом участке цепи одинакова. Выясним теперь, как связаны между собой напряжения на отдельных участках цепи.

Общее напряжение на двух последовательно соединённых резисторах  $R_1$  и  $R_2$  обозначим через  $U$ , напряжения на первом и втором резисторах — через  $U_1$  и  $U_2$  (рис. 10.1).

Работа сил электрического поля по перемещению заряда  $q$  через два резистора равна  $A = qU$ .

При перемещении заряда  $q$  между концами первого резистора  $A_1 = qU_1$ , при перемещении заряда  $q$  между концами второго резистора  $A_2 = qU_2$ . Общая работа сил электрического поля по перемещению заряда  $q$  через два резистора равна сумме этих работ:

$$A = qU = A_1 + A_2 = qU_1 + qU_2 = q(U_1 + U_2).$$

Сумма напряжений на двух последовательно включённых элементах электрической цепи постоянного тока равна общему напряжению:

$$U_1 + U_2 = U.$$

Для проверки правильности этого теоретического вывода выполните экспериментальное задание.

### Экспериментальное задание 10.1

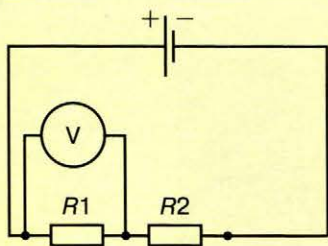


Рис. 10.2

#### Работаем в паре

#### Исследование связи между напряжениями на последовательно соединённых элементах цепи постоянного тока

**Оборудование:** источник постоянного тока, два резистора, вольтметр, соединительные провода.

**Подключите два резистора последовательно к источнику постоянного тока и сравните сумму напряжений на двух резисторах с общим напряжением на них.**

#### Порядок выполнения задания

1. Соберите электрическую цепь из источника постоянного тока, двух резисторов, вольтметра и соединительных проводов по схеме, представленной на рисунке 10.2. Сравните собранную цепь с цепью, представленной на рисунке 10.3, и, если обнаружите ошибку, устраните её.

2. Измерьте напряжение  $U_1$  на первом резисторе. Результаты измерения запишите в таблицу.

3. Подключите вольтметр к концам второго резистора и измерьте напряжение  $U_2$  на втором резисторе. Результаты измерения запишите в таблицу.

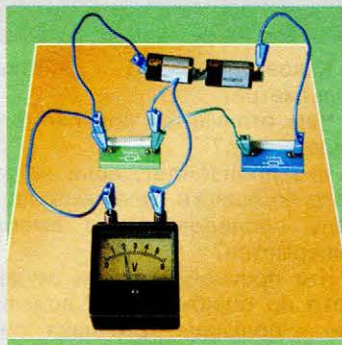


Рис. 10.3



4. Подключите вольтметр к концам двух резисторов и измерьте общее напряжение  $U$ . Результаты измерения запишите в таблицу.

5. Найдите сумму напряжений  $U_1$  и  $U_2$  и сравните её с измеренным общим напряжением  $U$ . Сделайте вывод о результатах выполненного эксперимента.

Таблица 10.1

$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$U_1 + U_2, \text{В}$	$U, \text{В}$

**Электрическое сопротивление последовательно соединённых проводников.** Выясним теперь, как связано общее электрическое сопротивление двух последовательно соединённых проводников с электрическим сопротивлением каждого из них.

Сначала решим эту задачу теоретически. Если к источнику постоянного тока напряжением  $U$  между полюсами подключены два резистора с электрическими сопротивлениями  $R_1$  и  $R_2$ , то при силе тока  $I$  в цепи напряжения между концами резисторов по закону Ома равны  $U_1 = IR_1$  и  $U_2 = IR_2$ .

Общее напряжение  $U$  на двух резисторах по закону Ома равно  $U = IR$ , где  $R$  — общее электрическое сопротивление двух резисторов. Так как общее напряжение  $U$  на двух последовательно соединённых элементах цепи равно сумме напряжений на отдельных элементах, то получаем

$$U = U_1 + U_2, IR = IR_1 + IR_2,$$

$$R = R_1 + R_2.$$

Общее электрическое сопротивление двух последовательно соединённых резисторов равно сумме их электрических сопротивлений.

**Задача 10.1.** Чему равно общее электрическое сопротивление трёх последовательно соединённых резисторов с электрическими сопротивлениями 20 Ом, 2 кОм и 4 МОм?

**Задача 10.2.** Какие из четырёх резисторов в электрической цепи, изображённой на рисунке 10.4, соединены между собой последовательно?

**Задача 10.3.** На рисунках 10.5 и 10.6 представлены две схемы соединения резисторов в электрических цепях с источником постоянного тока. На каком из этих рисунков представлена схема последовательного соединения резисторов электрической цепи?

**Задача 10.4.** Три резистора с электрическими сопротивлениями  $R_1 = 10$  Ом,  $R_2 = 20$  Ом и  $R_3 = 5$  Ом включены последовательно в электрическую цепь. Напряжение на резисторе  $R_1$  равно 6 В. Определите напряжение на резисторе  $R_3$  и общее напряжение на трёх резисторах.

**Вопросы**

1. Как можно доказать, что напряжение на двух последовательно соединённых элементах цепи равно сумме напряжений на отдельных элементах цепи?
2. Как можно доказать, что электрическое сопротивление двух последовательно соединённых резисторов равно сумме их электрических сопротивлений?

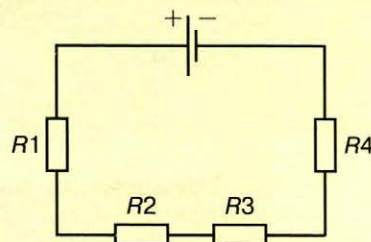


Рис. 10.4

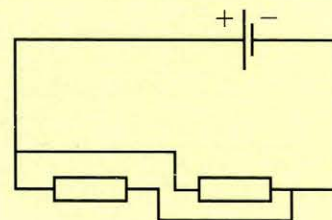


Рис. 10.5

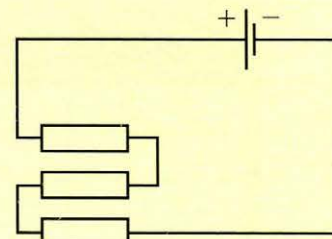


Рис. 10.6



## Экспериментальное задание 10.2

### Работаем самостоятельно

#### Измерение электрического сопротивления последовательно соединённых элементов цепи постоянного тока

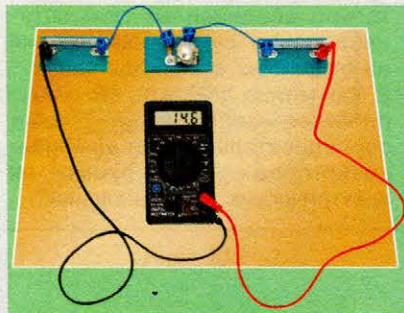


Рис. 10.7

**Оборудование:** омметр, два резистора, электрическая лампа, соединительные провода.

#### Порядок выполнения задания

1. Измерьте электрическое сопротивление двух резисторов и электрической лампы по отдельности. Затем соедините их последовательно и измерьте их общее сопротивление (рис. 10.7).

2. Сравните общее сопротивление трёх последовательно соединённых элементов цепи с суммой их электрических сопротивлений.

**Расширение шкалы вольтметра.** При изготовлении вольтметров, способных измерять низкие и высокие напряжения, учитываются свойства последовательного соединения проводников. Для того чтобы один и тот же вольтметр можно было использовать для измерения напряжений, например, от 0 до 6 В и от 0 до 240 В последовательно с вольтметром, рассчитанным на измерение напряжений до 6 В, включается специальный резистор.

Рассчитаем, какое сопротивление  $R_d$  должен иметь такой резистор, чтобы вольтметр сопротивлением  $R_B$  мог измерять в  $k$  раз большее напряжение.

При напряжении  $U$  на последовательно соединённых вольтметре с электрическим сопротивлением  $R_B$  (на рисунке 10.8 вольтметр обозначен значком  $\text{V}$ ) и дополнительном резисторе  $R_d$  сила тока в цепи равна:

$$I = \frac{U}{R_B + R_d}.$$

Отсюда напряжение на вольтметре

$$U_B = IR_B = \frac{U}{R_B + R_d} R_B.$$

Отношение измеряемого напряжения  $U$  к напряжению  $U_B$  на вольтметре равно:

$$k = \frac{U}{U_B} = \frac{R_B + R_d}{R_B}.$$

Следовательно, для того чтобы вольтметром можно было измерять в  $k$  раз большее напряжение, нужно последовательно с ним включить резистор с электрическим сопротивлением, рассчитанным по формуле

$$R_d = kR_B - R_B = R_B(k - 1).$$

Например, если  $U_B = 6$  В,  $R_B = 700$  Ом,  $U = 240$  В, то

$$k = \frac{U}{U_B} = \frac{240 \text{ В}}{6 \text{ В}} = 40.$$

Вычислим необходимое электрическое сопротивление  $R_d$ :  $R_d = R_B(k - 1) = 700(40 - 1) \text{ Ом} = 27\,300 \text{ Ом}$ .

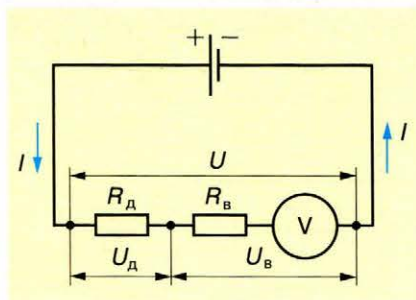


Рис. 10.8



Такие дополнительные сопротивления для расширения возможностей применения вольтметров могут помещаться внутри корпуса вольтметра. В таком случае вольтметр имеет одну общую клемму для подключения к отрицательному полюсу источника тока и несколько клемм для подключения через различные дополнительные сопротивления к положительному полюсу источника тока. Примерами вольтметров такого типа с использованием дополнительных сопротивлений для измерений в разных пределах напряжений являются школьный вольтметр с двумя шкалами — от 0 до 15 В и от 0 до 50 В и школьный милливольтметр с двумя шкалами — от 0 до 50 мВ и от 0 до 250 мВ (рис. 10.9).

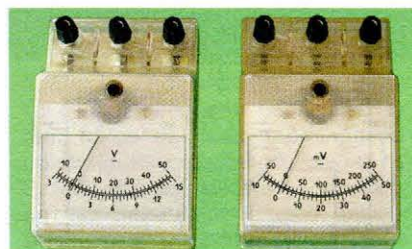


Рис. 10.9

### Экспериментальное задание 10.3

#### Работаем самостоятельно

#### Расширение шкалы вольтметра

**Оборудование:** вольтметр со шкалами 0—15 В и 0—50 В, милливольтметр со шкалами 0—50 мВ и 0—250 В, омметр.

**Рассчитайте дополнительные сопротивления для расширения шкалы вольтметра от 15 до 50 В и шкалы милливольтметра от 50 до 250 мВ. Проверьте правильность расчётов экспериментально.**

#### Порядок выполнения задания

1. Подключите щупы омметра к левой крайней и средней клеммам вольтметра и измерьте его электрическое сопротивление  $R_B$ . Результаты всех измерений и вычислений записывайте в таблицу.

2. Вычислите коэффициент  $k$  как отношение большого измеряемого напряжения к малому напряжению:

$$k = \frac{50 \text{ В}}{15 \text{ В}} \approx 3,33.$$

3. Вычислите сопротивление  $R_d$  дополнительного резистора, необходимого для расширения шкалы вольтметра до 50 В, по формуле

$$R_d = R_B(k - 1).$$

4. Вычислите полное сопротивление вольтметра с дополнительным резистором:

$$R = R_B + R_d.$$

5. Проверьте правильность своих расчётов путём измерения с помощью омметра сопротивления дополнительного резистора между крайней правой и средней клеммами вольтметра и полного сопротивления вольтметра с дополнительным резистором между крайними правой и левой клеммами вольтметра.

6. Подключите щупы омметра к левой крайней и средней клеммам милливольтметра и измерьте его электрическое сопротивление  $R_B$ . Далее проделайте все измерения и расчёты расширения шкалы милливольтметра от 50 до 250 мВ.

Таблица 10.3

	$R_B$	$k$	$R_d$	$R_B + R_d$
Вольтметр, измерения				
Вольтметр, расчёт				
Милливольтметр, измерения				
Милливольтметр, расчёт				



## §11. Параллельное соединение проводников

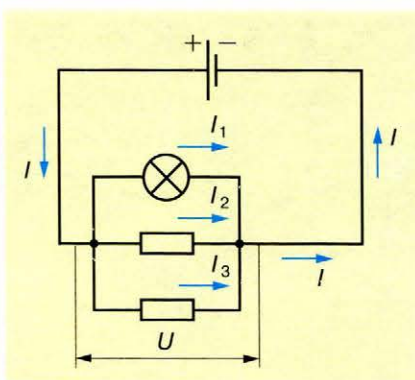


Рис. 11.1

**Сила тока в параллельно соединённых элементах цепи постоянного тока.** Подключение нескольких элементов электрической цепи к двум точкам электрической цепи называется **параллельным соединением**. Пример параллельного соединения двух резисторов и одной электрической лампы в одной электрической цепи показан на схеме (рис. 11.1).

При параллельном соединении нескольких элементов электрической цепи напряжение  $U$  на каждом из них одинаковое. Выясним, как связаны между собой токи на отдельных участках цепи с силой тока в общей цепи.

Если электрический ток, текущий по проводникам, обладает такими же свойствами, как жидкость, текущая по трубам, то сумма электрических зарядов, протекающих за секунду через несколько параллельных проводников, должна быть равна как сумме зарядов, втекающих за секунду в параллельные проводники, так и сумме зарядов, вытекающих за секунду из параллельных проводников. Это значит, что

сумма сил токов в параллельных проводниках должна быть равна силе тока в неразветвлённой цепи:

$$I = I_1 + I_2 + I_3.$$

Для проверки правильности этого теоретического вывода выполните экспериментальное задание.

### Экспериментальное задание 11.1

#### Работаем в паре

**Исследование связи между силой тока в параллельно соединённых элементах цепи постоянного тока и силой тока в общей цепи**

**Оборудование:** источник постоянного тока, два резистора, ключ, три амперметра, соединительные провода.

**Подключите два резистора параллельно к источнику постоянного тока и сравните сумму сил токов через резисторы с силой тока в общей цепи.**

**Порядок выполнения задания**

1. Соберите электрическую цепь по схеме, изображённой на рисунке 11.2.

Сравните свою цепь с цепью, представленной на рисунке 11.3, и, если обнаружите ошибку, устраните её.

2. Замкните ключ и измерьте силу тока  $I_1$  через первый резистор, силу тока  $I_2$  через второй резистор и силу тока  $I$  в общей цепи. Результаты измерения запишите в таблицу.

3. Найдите сумму сил токов  $I_1$  и  $I_2$  и сравните её с силой тока  $I$  в общей цепи. Сделайте вывод о результатах выполненного эксперимента.

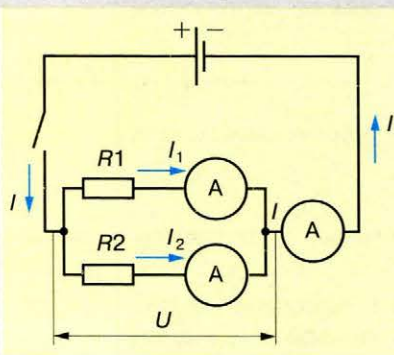


Рис. 11.2

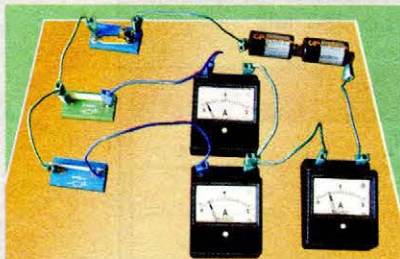


Рис. 11.3

Таблица 11.1

$I_1, A$	$I_2, A$	$I_1 + I_2, A$	$I, A$



**Электрическое сопротивление параллельно соединённых проводников.** Выясним, как связано общее электрическое сопротивление двух параллельно соединённых проводников с электрическим сопротивлением каждого из них.

Сначала решим эту задачу теоретически. Если к источнику постоянного тока напряжением  $U$  между полюсами подключены параллельно два резистора с электрическими сопротивлениями  $R_1$  и  $R_2$ , то сила тока, протекающего через эти резисторы, по закону Ома соответственно равна

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U}{R_2}.$$

Сила тока  $I$  в общей цепи равна сумме сил токов на всех параллельных участках цепи:

$$I = I_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = U \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right).$$

Общее электрическое сопротивление  $R$  двух параллельно соединённых резисторов можно определить по закону Ома через напряжение  $U$  и силу тока  $I$  в общей цепи:

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

Из двух полученных равенств следует:

$$\frac{I}{U} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \text{и} \quad \frac{I}{U} = \frac{1}{R}.$$

Отсюда получаем, что

обратная величина общего электрического сопротивления двух параллельно соединённых резисторов равна сумме обратных величин электрических сопротивлений этих резисторов:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

Общее электрическое сопротивление двух параллельно соединённых проводников равно:

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

**Задача 11.1.** Чему равно общее электрическое сопротивление двух параллельно соединённых резисторов с электрическими сопротивлениями 20 Ом и 5 Ом?

**Задача 11.2.** Какие резисторы на электрической схеме, изображённой на рисунке 11.4, соединены параллельно?

**Задача 11.3.** Чему равна сила тока через каждый резистор электрической схемы, изображённой на рисунке 11.5? Напряжение на выходе источника постоянного тока равно 26 В.

**Вопросы**

1. Как можно доказать, что сила тока в общей цепи равна сумме сил токов на всех параллельно соединённых элементах цепи?
2. Как можно доказать, что обратная величина общего электрического сопротивления двух параллельно соединённых резисторов равна сумме обратных величин электрических сопротивлений этих резисторов?

**Творческое задание**

Придумайте электрическую схему, которая позволяла бы включать и выключать лампу в длинном коридоре, находясь в любом его конце. Нарисуйте принципиальную схему такой цепи. Соберите электрическую цепь по своей схеме и продемонстрируйте её действие в классе.

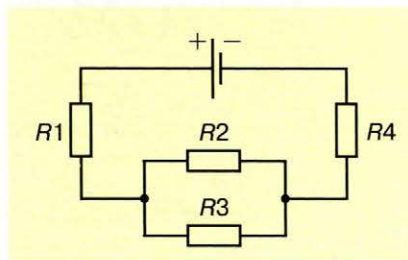


Рис. 11.4

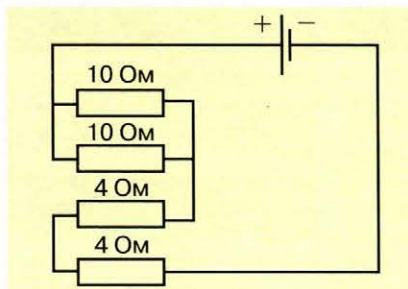


Рис. 11.5



## Экспериментальное задание 11.2

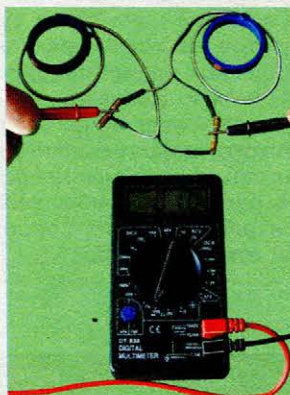


Рис. 11.6

### Работаем самостоятельно

#### Измерение электрического сопротивления параллельно соединённых элементов цепи постоянного тока

**Оборудование:** омметр, две катушки медного провода.

#### Порядок выполнения задания

1. Измерьте электрическое сопротивление двух катушек медного провода по отдельности. Затем соедините их параллельно и измерьте общее сопротивление (рис. 11.6).

2. Сравните общее сопротивление двух параллельно соединённых элементов цепи с их общим электрическим сопротивлением, рассчитанным по формуле

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

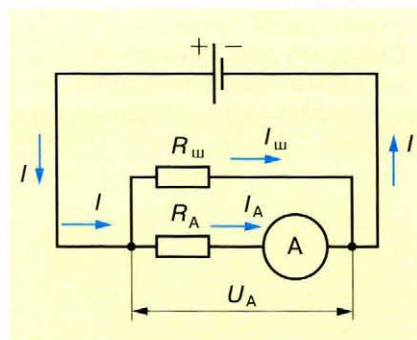


Рис. 11.7

**Расширение шкалы амперметра.** Свойства параллельного соединения проводников используются при изготовлении амперметров, способных измерять большие и малые токи. Для того чтобы одним и тем же амперметром можно было измерить силу тока, например, от 0 до 1 А и от 0 до 10 А, во втором случае параллельно с амперметром включают специальный резистор, называемый **шунтом**.

Рассчитаем, например, какое сопротивление  $R_{\text{ш}}$  должен иметь шунт, чтобы амперметр сопротивлением  $R_A$  мог измерять в  $k$  раз большую силу тока.

При силе тока  $I$  в общей цепи на параллельно соединённых амперметре с электрическим сопротивлением  $R_A$  (на рисунке 11.7 амперметр обозначен значком  $\text{A}$ ) и резистором  $R_{\text{ш}}$  и шунте с электрическим сопротивлением  $R_{\text{ш}}$  напряжение  $U$  одинаково. Сила тока через амперметр равна  $I_A = \frac{U}{R_A}$ , сила тока через шунт равна  $I_{\text{ш}} = \frac{U}{R_{\text{ш}}}$ .

Сила тока в общей цепи равна  $I = I_A + I_{\text{ш}} = \frac{U}{R_A} + \frac{U}{R_{\text{ш}}} = U \left( \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_{\text{ш}}} \right)$ .

Отношение силы тока  $I$  в общей цепи к силе тока  $I_A$  через амперметр равно:

$$k = \frac{I}{I_A} = \frac{U \left( \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_{\text{ш}}} \right)}{\frac{U}{R_A}} = \frac{R_A + R_{\text{ш}}}{R_{\text{ш}}}.$$

Из последнего равенства следует, что, для того чтобы амперметром можно было измерить в  $k$  раз большую силу тока, параллельно с ним нужно включить шунт с электрическим сопротивлением, рассчитанным по формуле

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_A}{k - 1}.$$

### ? Вопросы

1. Что такое шунт амперметра?
2. Для чего применяются шунты?
3. Как соединяется шунт с амперметром?
4. Если шунт подключён к клеммам амперметра и имеет собственные клеммы, то через какие клеммы надо включать прибор в электрическую цепь, через клеммы амперметра или через клеммы шунта?



Например, чтобы миллиамперметр с электрическим сопротивлением 10 Ом, рассчитанный на 10 мА, применить для измерения силы тока до 10 А, нужно обеспечить отношение измеряемой силы тока  $I$  к силе тока  $I_A$  через миллиамперметр, равное  $k = \frac{I}{I_A} = \frac{10 \text{ А}}{0,01 \text{ А}} = 1000$ .

Вычислим необходимое электрическое сопротивление  $R_{\text{ш}}$  шунта:  $R_{\text{ш}} = \frac{R_A}{k-1} = \frac{10 \text{ Ом}}{1000-1} = \frac{10 \text{ Ом}}{999} \approx 0,01 \text{ Ом}$ .

Многие типы амперметров изготавливают из миллиамперметров, помещая постоянные шунты внутри корпуса прибора. В приборах для точных измерений обычно используются соединения проводников пайкой или сваркой. При постоянном присоединении одного шунта прибор оказывается пригодным для измерений в одном диапазоне значений силы тока.

Возможно и изготовление приборов для измерения силы тока в нескольких диапазонах с использованием постоянно присоединённых нескольких шунтов. Например, школьный миллиамперметр (рис. 11.8) снабжён двумя шунтами и поэтому имеет два диапазона измерений силы тока — 0–5 мА и 0–50 мА.

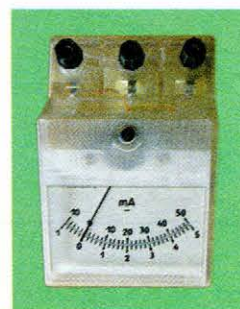


Рис. 11.8

### Экспериментальное задание 11.3

#### Работаем самостоятельно

#### Расширение шкалы миллиамперметра

**Оборудование:** миллиамперметр со шкалами 0–5 мА и 0–50 мА, омметр.

**Определите схему соединения резисторов  $R_1$  и  $R_2$  с измерительным прибором, обеспечивающую возможность работы прибора в двух указанных диапазонах измерения силы тока.**

#### Порядок выполнения задания

Через прозрачный корпус прибора видно (см. рис. 11.8), что внутри его имеется катушка, от которой выведены две пары проводников. На катушке имеется надпись с указанием электрических сопротивлений проводников:  $R_1 = 82,8 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 9,2 \text{ Ом}$ . К левой крайней клемме миллиамперметра присоединён один провод от рамки измерительного прибора и один провод от катушки, к средней клемме с надписью «5 мА» присоединён второй провод от рамки измерительного прибора и один провод от катушки, к правой крайней клемме с надписью «50 мА» присоединены два провода от катушки.

1. Составьте принципиальную схему соединения измерительного прибора и двух резисторов  $R_1$  и  $R_2$ , обеспечивающую возможность работы прибора в двух диапазонах измерений силы тока. Электрическое сопротивление миллиамперметра равно 18,5 Ом.

2. Рассчитайте электрические сопротивления между клеммами прибора с использованием своей схемы соединений резисторов с измерительным прибором. Для проверки правильности своего решения измерьте электрические сопротивления между клеммами прибора с помощью омметра. Результаты запишите в таблицу.

Таблица 11.3

Клемма	0–5 мА	0–50 мА	5–50 мА
$R_{\text{расч}}$ , Ом			
$R_{\text{изм}}$ , Ом			



**Работа электрического тока.** При перемещении заряда  $q$  на участке электрической цепи напряжением  $U$  работа  $A$  электрического тока равна:

$$A = qU.$$

Электрический заряд  $q$ , прошедший через поперечное сечение проводника, равен произведению силы тока  $I$  в цепи на время  $t$  его прохождения:

$$q = It.$$

Напряжение  $U$  на участке цепи по закону Ома равно произведению силы тока  $I$  на электрическое сопротивление  $R$  участка цепи:

$$U = IR.$$

Поэтому работа  $A$  электрического тока равна:

$$A = IUt = I^2Rt.$$

Работа электрического тока выражается в *джоулях*. Если результатом работы тока является нагревание проводника, то выделяется количество теплоты  $Q$ , равное совершённой работе:

$$Q = IUt = I^2Rt.$$

Это выражение для нахождения количества теплоты, выделяющегося в проводнике под действием электрического тока, называют **законом Джоуля—Ленца**.

**Мощность электрического тока.** Мощность  $N$  электрического тока на участке цепи с электрическим сопротивлением  $R$  при силе тока  $I$  в цепи равна:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{IUt}{t}, \quad N = IU = I^2R = \frac{U^2}{R}.$$

## Вопросы

1. Как получено выражение для вычисления работы электрического тока?
2. Значения каких физических величин необходимо знать для вычисления работы и мощности электрического тока?
3. Как на основе измерения электрических величин можно вычислить количество теплоты, выделяющееся в проводнике под действием электрического тока?

## Экспериментальное задание 12.1

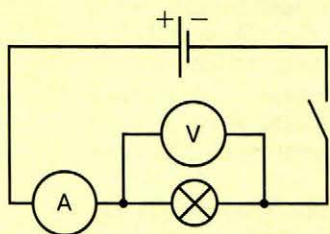


Рис. 12.1

### Работаем самостоятельно

#### Измерение работы и мощности электрического тока

**Оборудование:** источник постоянного тока напряжением 4 В, вольтметр, амперметр, секундомер или часы, электрическая лампа, ключ.

**Измерьте мощность электрического тока на электрической лампе при её подключении к источнику тока и вычислите работу тока за 1 ч.**

#### Порядок выполнения задания

1. Соберите электрическую цепь по схеме, изображённой на рисунке 12.1.
2. Измерьте силу тока в цепи и напряжение на лампе. Вычислите мощность тока на лампе и работу тока за 1 ч. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу.

Таблица 12.1

$I, A$	$U, B$	$N, Bt$	$t, c$	$A, Дж$



**Задача 12.1.** В электрическом фонарике при напряжении 4,5 В сила тока в нити лампы равна 0,06 А. Какая мощность выделяется на нити лампы и какую работу совершает электрический ток в течение 10 мин?

**Задача 12.2.** Через резистор с электрическим сопротивлением 5 Ом проходит ток 150 мА. Какая мощность выделяется на резисторе и какую работу совершает электрический ток в течение 2 ч?

**Задача 12.3.** Какая мощность электрического тока выделяется на участке цепи электрическим сопротивлением 2 Ом при напряжении 12 В и какую работу совершает электрический ток на этом участке цепи в течение 15 мин?

**Задача 12.4.** Какое напряжение нужно подать на проволочную спираль электрическим сопротивлением 12 Ом для получения мощности электрического тока на ней 48 Вт?

**Задача 12.5.** При силе тока 0,5 А в нити лампы мощность тока равна 6 Вт. Чему равно напряжение на лампе?

**Задача 12.6.** При напряжении 12 В на нагревательной спирали в течение 10 мин выделяется количество теплоты, равное 72 кДж. Чему равно электрическое сопротивление спирали?

**Задача 12.7.** Какое электрическое сопротивление должна иметь нагревательная спираль для того, чтобы при подключении к источнику тока напряжением 12 В стакан воды (150 г) в течение 5 мин нагрелся от 20 до 100 °С?

**Задача 12.8.** При последовательном подключении двух резисторов с одинаковым электрическим сопротивлением к источнику постоянного тока напряжением 18 В на одном из резисторов мощность электрического тока равна 9 Вт. Чему будет равна мощность электрического тока на одном из резисторов при параллельном подключении этих резисторов к источнику тока? Напряжение на выходе источника тока остаётся неизменным.

**Задача 12.9.** При последовательном подключении двух резисторов с одинаковым электрическим сопротивлением к источнику постоянного тока напряжением 12 В на двух резисторах выделяется мощность электрического тока 6 Вт. Чему будет равна мощность электрического тока на одном из резисторов при параллельном подключении этих резисторов к источнику тока? Напряжение на выходе источника тока остаётся неизменным.

**Задача 12.10.** Имеются три нагревательные спирали с электрическим сопротивлением 3 Ом каждая и источник постоянного тока напряжением 12 В. Нужно подключить эти спирали к источнику тока так, чтобы получился нагреватель наибольшей мощности. По какой из схем, представленных на рисунках 12.2—12.4, следует соединить эти спирали в электрическую цепь? Рассчитайте, за какое время такой нагреватель нагреет воду массой 0,5 кг от 28 °С до кипения. Удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/(кг · °С).

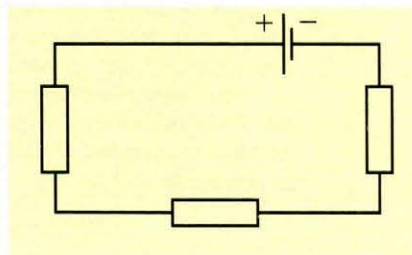


Рис. 12.2

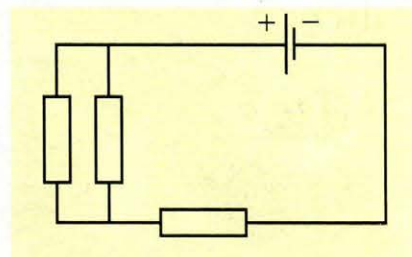


Рис. 12.3

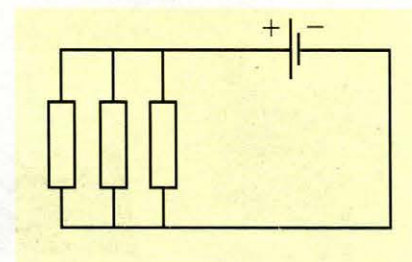


Рис. 12.4



## Экспериментальное задание 12.2

### Работаем в группе

#### Измерение мощности электрического тока

**Оборудование:** источник постоянного тока напряжением 4 В, вольтметр, амперметр, секундомер или часы, нагревательная спираль из металлической проволоки, термометр, калориметр, измерительный цилиндр, весы с разновесом.

**Рассчитайте мощность электрического тока на нагревательной спирали при её подключении к источнику тока. Проверьте результаты своих расчётов экспериментально путём измерения количества теплоты, выделяемого спиралью в течение 10 мин.**

#### Порядок выполнения задания

1. Возьмите для выполнения эксперимента нагревательную спираль и калориметр (рис. 12.5). Налейте в алюминиевый стакан калориметра воду массой 150 г и поставьте этот стакан внутрь пластмассового стакана калориметра. Опустите нагревательную спираль внутрь стакана с водой. В отверстие для термометра вставьте термометр (рис. 12.6). Измерьте начальную температуру воды и оставьте термометр в калориметре. Результаты измерений запишите в таблицу.



Рис. 12.5

2. Подключите нагревательную спираль к источнику постоянного тока напряжением 4 В по схеме, представленной на рисунке 12.7. Запустите секундомер или заметьте начальный момент времени по часам.

3. Измерьте силу тока  $I$  через резистор и напряжение  $U$  на его концах. Результаты измерений запишите в таблицу.

4. Вычислите мощность  $N_1$  тока на спирали:

$$N_1 = IU.$$

Результаты вычислений запишите в таблицу.

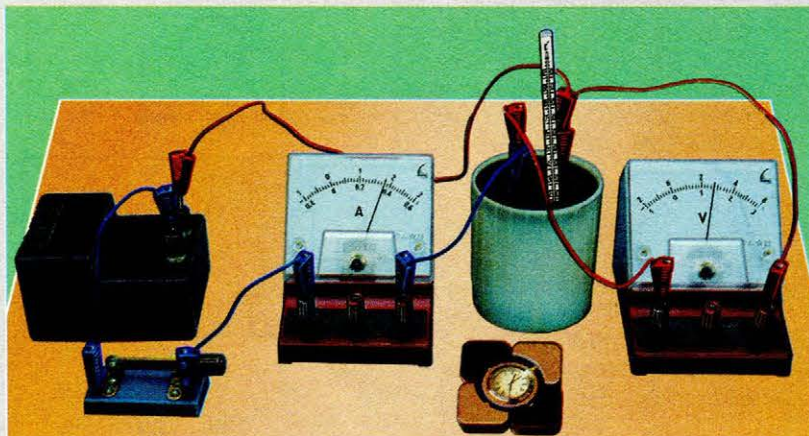


Рис. 12.6

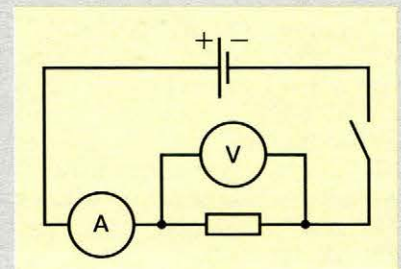


Рис. 12.7



5. Через  $t = 10$  мин разомкните электрическую цепь и запишите показания термометра  $t_2$  в таблицу. Вычислите изменение температуры  $\Delta t$  и запишите в таблицу.

6. Вычислите количество теплоты, полученное водой и стаканом калориметра в результате работы электрического тока в резисторе:

$$Q = c_1 m_1 \Delta t + c_2 m_2 \Delta t.$$

Удельная теплоёмкость  $c_1$  воды равна  $4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , удельная теплоёмкость  $c_2$  алюминия равна  $930 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ . Массу  $m_2$  алюминиевого стакана калориметра определите взвешиванием.

7. Вычислите мощность  $N_2$  теплопередачи от нагревательной спирали воде:

$$N_2 = \frac{Q}{t}.$$

Результаты вычислений запишите в таблицу. Сравните полученное значение мощности  $N_2$  теплопередачи от нагревательной спирали воде с расчётным значением мощности  $N_1$  электрического тока.

Таблица 12.2

$m_1$ , кг	$m_2$ , кг	$t_1$ , $^\circ\text{C}$	$t_2$ , $^\circ\text{C}$	$\Delta t$ , $^\circ\text{C}$	$I$ , А	$U$ , В	$N_1$ , Вт	$Q$ , Дж	$N_2$ , Вт

**Задача 12.11.** На рисунке 12.8 представлена схема электрической цепи с тремя одинаковыми резисторами  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ . В резисторе  $R_1$  выделяется мощность электрического тока 6 Вт. Чему равна мощность электрического тока в резисторе  $R_3$ ?

**Задача 12.12.** На рисунке 12.9 представлена схема электрической цепи с резисторами, электрические сопротивления которых указаны на схеме. На каком из трёх резисторов мощность электрического тока имеет максимальное значение?

**Задача 12.13.** На рисунке 12.9 представлена схема электрической цепи с резисторами, электрические сопротивления которых указаны на схеме. На резисторе с электрическим сопротивлением 2 Ом мощность электрического тока равна 2 Вт. Чему равна общая мощность электрического тока на всех трёх резисторах?

**Задача 12.14.** На рисунке 12.10 представлена схема электрической цепи с четырьмя резисторами, электрические сопротивления которых указаны на схеме. При каком напряжении на выходе источника тока общая мощность во всех четырёх резисторах равна 7 Вт?

**Задача 12.15.** При параллельном подключении двух резисторов с одинаковым электрическим сопротивлением к источнику постоянного тока напряжением 12 В на двух резисторах выделяется мощность электрического тока 6 Вт. Чему будет равна мощность электрического тока на одном резисторе при последовательном подключении этих резисторов к источнику тока? Напряжение на выходе источника тока остаётся неизменным.

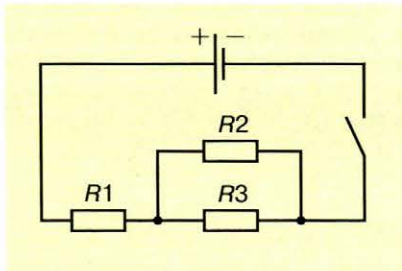


Рис. 12.8

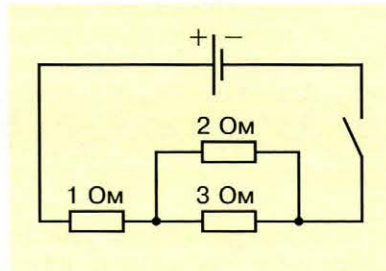


Рис. 12.9

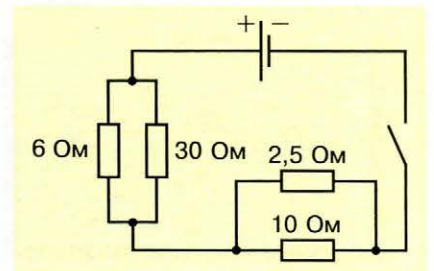


Рис. 12.10



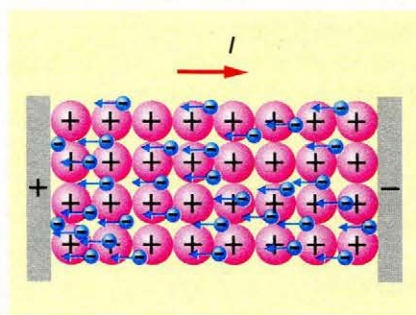


Рис. 13.1

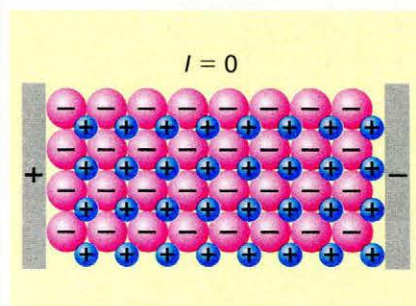


Рис. 13.2

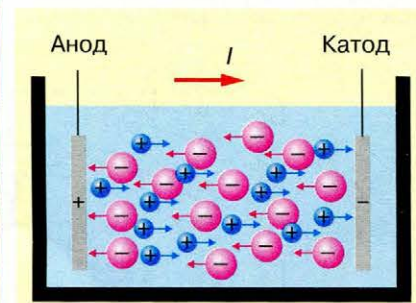


Рис. 13.3

**Электрический ток в металлах.** Экспериментальные исследования показали, что при прохождении электрического тока через последовательно соединённые проводники из разных металлов атомы одного вещества не переходят в другое вещество.

Прохождение тока в металлах объясняется следующим образом. В твёрдых и жидких металлических телах внешние электронные оболочки атомов объединяются, и электроны этих оболочек получают возможность свободно переходить от одного атома к другому. Такие электроны называются **свободными электронами**.

Под действием внешнего электрического поля все свободные электроны в металлическом теле приходят в движение и создают электрический ток (рис. 13.1). Положительные ионы атомов металлов в твёрдом и жидком состояниях в создании электрического тока не участвуют и остаются неподвижными.

**Электрический ток в электролитах.** Многие сложные вещества в твёрдом состоянии являются диэлектриками, но при растворении в другом диэлектрике образуют растворы, способные проводить электрический ток. Такие растворы называются **электролитами**. Например, кристаллы поваренной соли не проводят электрический ток. Эти кристаллы состоят из положительно заряженных ионов металла натрия и отрицательно заряженных ионов хлора. Разноимённо заряженные ионы так крепко связаны силами взаимного электрического притяжения, что более слабое внешнее электрическое поле не может их разъединить и привести в движение (рис. 13.2).

Не проводит электрический ток и чистая вода, состоящая из нейтральных молекул. Но раствор поваренной соли в воде оказывается хорошим проводником электрического тока (рис. 13.3) потому, что молекулы воды способствуют разъединению ионов натрия и хлора. Освобождённые от взаимной связи положительные ионы натрия движутся к отрицательному электроду, называемому **катодом**, отрицательные ионы хлора движутся к положительному электроду, называемому **анодом**. Движение положительных и отрицательных ионов создаёт электрический ток в электролитах. Прохождение электрического тока через электролиты сопровождается выделением вещества на поверхностях электродов. Этот процесс называется **электролизом**. При электролизе масса выделившегося на электроде вещества пропорциональна прошедшему через электролит заряду.

С помощью электролиза в промышленности из руды получают многие металлы, наносят тонкие слои металлов на поверхности различных деталей для повышения их стойкости по отношению к внешним воздействиям (никель, хром) и для улучшения внешнего вида (золото, серебро).

**Электрический ток в газах.** Любое вещество в газообразном состоянии при не очень высокой температуре состоит из нейтральных атомов или молекул и является диэлектриком. Газ может стать проводником электрического



кого тока, если от нейтральных молекул каким-то способом отрывается часть электронов. Процесс отрыва электронов от нейтральных атомов называется **ионизацией**. Освобождённые электроны и положительные ионы под действием электрического поля движутся и создают электрический ток в газах.

Ионизация газа может происходить за счёт кинетической энергии теплового движения атомов или за счёт передачи заряженным частицам энергии от электрического поля. Для ионизации атома или молекулы кинетическая энергия ударяющей частицы должна превышать энергию связи электрона.

При температурах в несколько тысяч градусов большинство атомов газа оказываются ионизованными, газ превращается в смесь положительных ионов и электронов. Газ в ионизованном состоянии называется **плазмой**. Она является хорошим проводником электрического тока.

Прохождение электрического тока через газы может сопровождаться излучением света. Яркий свет испускается молнией при электрическом разряде в воздухе. Свечение газов при прохождении через них электрического тока используется в различных источниках электрического освещения, световой рекламе.

**Электрический ток в вакууме.** Электрический ток может проходить и в вакууме. Приборы с использованием электрического тока в вакууме называются **электровакуумными приборами**. В электровакуумных приборах электрический ток обычно создаётся свободными электронами, испускаемыми нагретыми до высокой температуры твёрдыми телами. Это явление называется **термоэлектронной эмиссией**.

Вакуумный стеклянный баллон кинескопа телевизора или дисплея компьютера имеет два электрода: нагреваемый током в спирали 1 отрицательный катод 2 и положительный анод 3 (рис. 13.4). В аноде имеется небольшое отверстие. Испускаемые катодом электроны разгоняются электрическим полем и летят к аноду. Часть из них пролетает сквозь отверстие в аноде и узким пучком 4 — электронным лучом — движется по инерции до столкновения с экраном 5. Удары быстрых электронов вызывают свечение кристаллов, которыми покрыта внутренняя поверхность экрана трубки.

Движением электронного луча управляют с помощью электрических или магнитных полей и заставляют луч «рисовать» любые картины, писать на любом языке.

### Темы сообщений

1. Природа электрического тока в металлах.
2. Электрический ток в электролитах.
3. Электрический ток в газах.
4. Электрический ток в вакууме.
5. Сверхпроводимость.

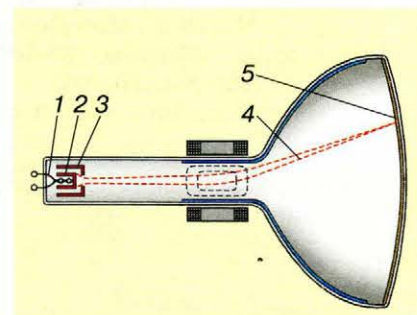


Рис. 13.4

### ? Вопросы

1. Как объясняется способность металлов проводить электрический ток?
2. Что такое электролиты и как объясняется их способность проводить электрический ток?
3. При каких условиях может возникать электрический ток в газах?
4. Как может проходить ток в вакууме?



**Зависимость сопротивления проводников от температуры.** Измерения показали, что удельное сопротивление  $\rho$  металлов увеличивается с повышением температуры вещества по закону

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t),$$

где  $\rho_0$  — удельное сопротивление вещества при  $0^\circ\text{C}$ ;  $\alpha$  — термический коэффициент сопротивления;  $t$  — температура по шкале Цельсия.

Увеличение удельного сопротивления металлов с повышением температуры объясняется тем, что смещения атомов от равновесных положений в результате теплового движения нарушают перекрывание их электронных оболочек и затрудняют переходы электронов от атома к атому. При приближении температуры металлического проводника к температуре  $-273^\circ\text{C}$  удельное сопротивление всех металлов приближается к нулю. У некоторых металлов удельное электрическое сопротивление падает до нуля при более высоких значениях температуры. Это явление называется **сверхпроводимостью**.

В последние годы удалось создать материалы, обладающие сверхпроводимостью при температуре около  $-170^\circ\text{C}$ . Это даёт надежду на создание новых материалов, обладающих сверхпроводимостью при ещё более высоких значениях температуры, чтобы можно было осуществлять передачу электроэнергии на большие расстояния без потерь на нагревание проводов.

В электролитах и газах с повышением температуры увеличивается число свободных носителей электрических зарядов — ионов и электронов. Поэтому электрическое сопротивление электролитов и газов с повышением температуры уменьшается.

**Механизм самостоятельного разряда в газах.** Электрический ток возникает в любом газе, если напряжение превышает определённое пороговое значение. Это значение определяется условием, что свободный электрон под действием электрического поля приобретает на длине свободного пробега кинетическую энергию, достаточную для отрыва электрона от нейтрального атома. Этот процесс создания свободных электронов и положительных ионов называется ионизацией электронным ударом. Далее два электрона разгоняются электрическим полем и ионизуют два атома, затем четыре электрона разгоняются электрическим полем и т. д. — процесс нарастает лавинообразно (рис. 13.5).

Часть атомов под действием ударов электронов испускает частицы света — фотоны. Фотоны, возникшие при развитии первой лавины, освобождают с катода новые электроны, и процесс ионизации газа продолжается непрерывно. Такой процесс называется **самостоятельным электрическим разрядом**.

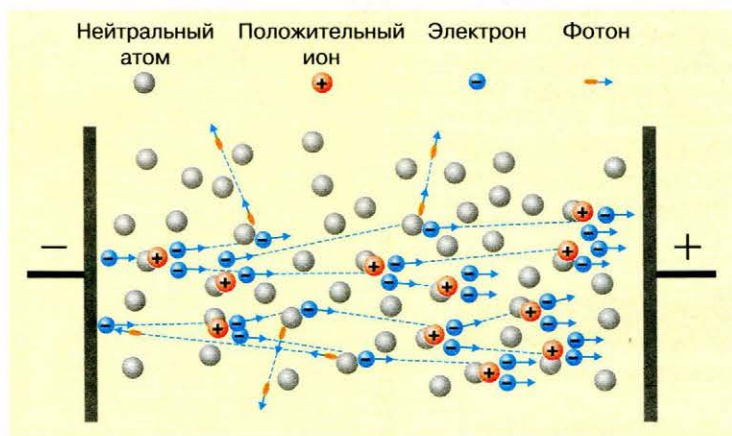


Рис. 13.5

Самое яркое электрическое природное явление на Земле — молния. Причиной возникновения молнии во время грозы является разделение электрических зарядов в облаках. Мелкие водяные капли и кристаллы льда, из которых состоит облака, поднимаются вверх потоком тёплого воздуха. Более крупные капли и кристаллы под действием силы тяжести падают в облаке вниз. При столкновениях с движущимися вверх мелкими каплями и кристаллами они дробятся на части. Более крупные капли и кристаллы при дроблении приобретают избыточный отрицательный заряд, мелкие — положительный заряд. Вос-



ходящие потоки воздуха поднимают мелкие капли и кристаллы к вершине облака, крупные капли и кристаллы падают к его основанию. Отрицательный заряд основания облака наводит положительный заряд на проводящей земной поверхности (рис. 13.6). Между основанием облака на высоте 3—4 км и поверхностью Земли возникает напряжение 20—100 млн В. Самостоятельный электрический разряд между облаком и землёй — молния — переносит из облака 20—30 Кл отрицательного электрического заряда, сила тока в молнии достигает 10 000—20 000 А, импульс тока молнии длится несколько десятков микросекунд.

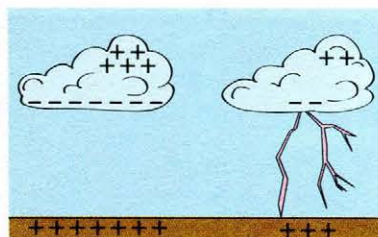


Рис. 13.6

При протекании тока молнии происходит нагревание плазмы до температуры свыше 10 000 °С. Изменения давления в канале молнии при нарастании силы тока и прекращении разряда вызывают звуковые явления, называемые громом.

### Экспериментальное задание 13.1

#### Работаем самостоятельно

#### Исследование зависимости электрического сопротивления нити электрической лампы от силы тока

**Оборудование:** источник постоянного тока, электрическая лампа, амперметр, вольтметр, реостат, соединительные провода, ключ.

**Исследуйте, зависит ли электрическое сопротивление нити лампы от силы тока в ней.**

#### Порядок выполнения задания

1. Соберите электрическую цепь по схеме, изображённой на рисунке 13.7.
2. Замкните ключ и реостатом установите значение напряжения  $U$  на лампе 1,0 В. Определите силу тока  $I$  через нить лампы при этом напряжении и вычислите электрическое сопротивление  $R$ . Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу.
3. Такие же измерения и вычисления выполните для значений напряжения на нити лампы 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 В. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу.

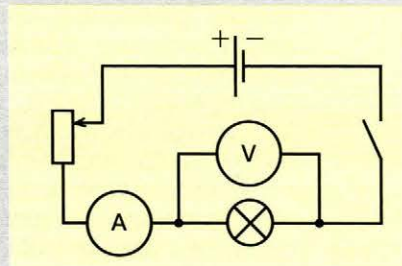


Рис. 13.7

Таблица 13.1

$U$ , В	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
$I$ , А						
$R$ , Ом						

4. Постройте график зависимости электрического сопротивления нити лампы от силы тока. Объясните полученный результат.



## § 14. Полупроводниковые приборы

**Полупроводниками** называются вещества, электрическая проводимость которых занимает промежуточное место между проводимостью проводников и диэлектриков. Внешние электроны в полупроводниках находятся в общем владении соседних атомов и при низких температурах не могут свободно перемещаться (рис. 14.1). Типичными полупроводниками являются кристаллы кремния и германия.

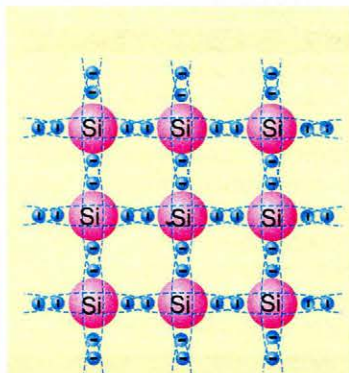


Рис. 14.1

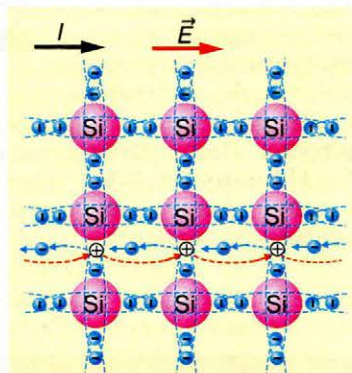


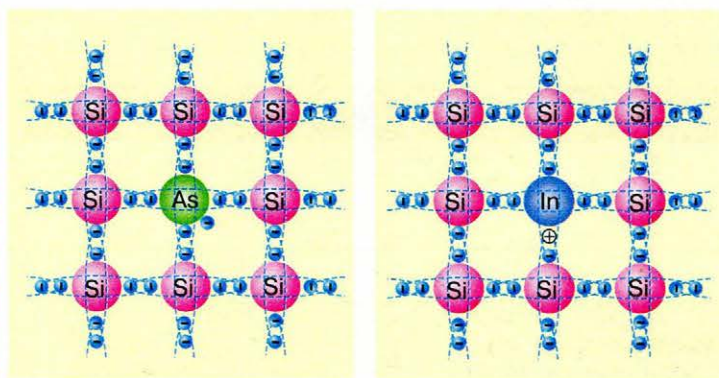
Рис. 14.2

Если электрон в полупроводниковом кристалле получает дополнительную энергию, например за счёт теплового движения атомов, и разрывает связь с атомом, то на свободное место переходит электрон соседнего атома, его место занимает другой электрон и т. д. — место с недостатком электрона свободно блуждает по кристаллу. Это выглядит как перемещение положительно заряженной частицы. Такое перемещающееся место с недостатком электрона в кристалле называют **дыркой**.

При помещении полупроводникового кристалла в электрическое поле в нём возникает электрический ток. Свободные электроны движутся в сторону, противоположную вектору напряжённости поля, а положительные дырки — в направлении поля (рис. 14.2).

В чистом полупроводнике свободных электронов и дырок мало, поэтому в полупроводниковых приборах обычно используют кристаллы с примесями. В кристаллах кремния с примесью атомов мышьяка электрический ток создаётся преимущественно движением свободных электронов. Атом мышьяка имеет пять электронов во внешней оболочке, четыре из которых участвуют в образовании межатомных связей, а пятый электрон остаётся свободным (рис. 14.3, а). Такие полупроводники называют полупроводниками с **электронной проводимостью** или **полупроводниками n-типа**.

В кристаллах кремния с примесью атомов индия электрический ток создаётся преимущественно движением дырок. У атома индия на внешней оболочке имеется всего три электрона, поэтому индию недостаёт одного электрона для образования пары с соседним атомом кремния. В результате образуется дырка (рис. 14.3, б). Она может быть заполнена электроном соседнего атома кремния и т. д. Такие полупроводники называют полупроводниками с **дырочной проводимостью** или **полупроводниками p-типа**.



а)

б)

Рис. 14.3

**Терморезисторы и фоторезисторы.** При повышении температуры или освещении полупроводниковых кристаллов с примесями концентрация электронов или дырок в них сильно увеличивается, электрическое сопротивление кристалла уменьшается. Приборы, использующие зависимость электрического сопротивления полупроводниковых кристаллов от температуры и освещения, называются соответственно **терморезисторами** и **фоторезисторами** и используются



в устройствах регулирования температуры и освещения (рис. 14.4).

**Полупроводниковый диод.** Основной частью полупроводникового диода является полупроводниковый кристалл, в котором область с электронной проводимостью находится в контакте с областью с дырочной проводимостью. Эта область контакта называется ***p-n-переходом***.

При подаче на *p-n-переход* напряжения знаком «плюс» на *p*-полупроводник и знаком «минус» на *n*-полупроводник в цепи диода идёт электрический ток. Такое включение диода называется **прямым включением**, возникающий ток — **прямым током**.

При подаче внешнего напряжения знаком «минус» на *p*-полупроводник и знаком «плюс» на *n*-полупроводник ток в цепи диода практически отсутствует. Такое включение диода называется **обратным включением**.

Способность *p-n-перехода* пропускать электрический ток при одной полярности включения напряжения и не пропускать ток при противоположной полярности включения называется **односторонней проводимостью** диода. Кристалл диода заключается в герметичный корпус с двумя выводами. Внешний вид нескольких полупроводниковых диодов и условное обозначение диода показаны на рисунке 14.5. При прямом включении диода направление тока совпадает с направлением острия в изображении диода.

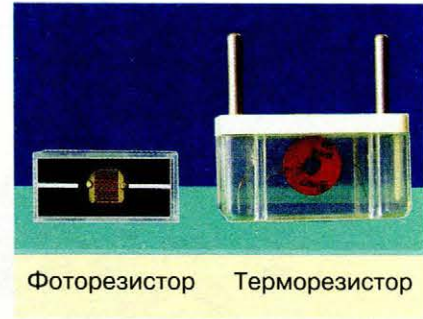


Рис. 14.4



Рис. 14.5

**Экспериментальное задание 14.1**

**Работаем самостоятельно**

**Изучение работы полупроводникового диода**

*Оборудование:* источник постоянного тока, лампа, полупроводниковый диод, соединительные провода, ключ.

**Определите экспериментально, какой вывод диода нужно подключать к положительному полюсу источника тока для того, чтобы диод был включён в прямом направлении и свободно пропускал электрический ток.**

*Порядок выполнения задания*

Соберите электрическую цепь по схеме, изображённой на рисунке 14.6, включив последовательно с лампой полупроводниковый диод.

Если лампа горит, то, значит, диод открыт. Определите, какой вывод диода соединён с положительным полюсом источника тока при включении диода в прямом направлении.

Если лампа не горит, подключите диод к положительному полюсу источника тока другим выводом и повторите опыт.

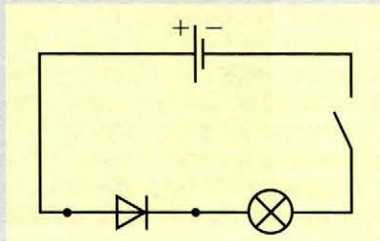


Рис. 14.6

**Темы сообщений**

1. Электрический ток в полупроводниках.
2. Терморезисторы и фоторезисторы.
3. Полупроводниковый диод.

**Вопросы**

1. Какие частицы являются носителями электрических зарядов в полупроводниках?
2. Почему электрическое сопротивление полупроводников уменьшается при повышении температуры?
3. Как устроен полупроводниковый диод и каково его основное свойство?



***p-n*-Переход.** Выясним причину односторонней проводимости диода. При контакте кристаллов с дырочной и электронной проводимостью часть свободных

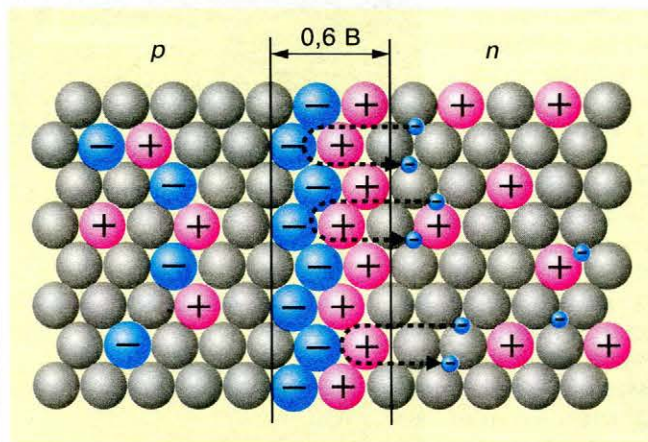


Рис. 14.7

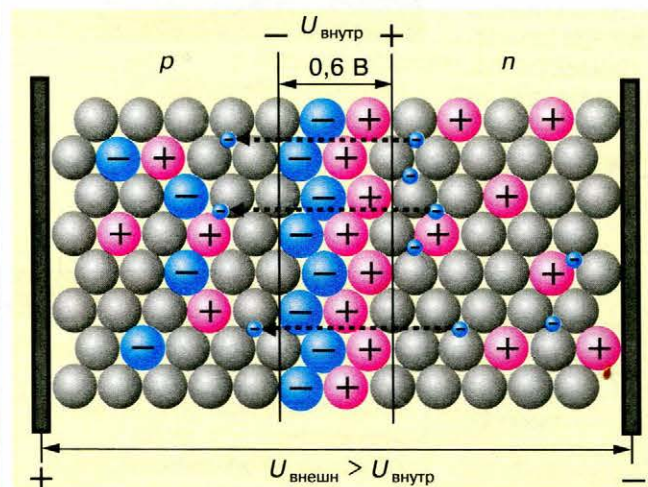


Рис. 14.8

электронов из кристалла *n*-типа переходит в кристалл *p*-типа. Атомы в электронном полупроводнике, которые покинули электроны, становятся положительными ионами. У границы раздела возникает область с положительным электрическим зарядом.

В кристалле *p*-типа из-за прихода электронов возникает область с избытком отрицательных ионов. Между областями с разноимёнными зарядами возникает электрическое поле напряжением 0,3–0,6 В. Это поле препятствует переходу электронов из *n*-полупроводника в *p*-полупроводник. Граница раздела полупроводников называется *p-n*-переходом (рис. 14.7).

При подаче на *p-n*-переход напряжения знаком «плюс» на *p*-полупроводник и знаком «минус» на *n*-полупроводник внешнее электрическое поле действует на заряженные частицы противоположно внутреннему полю *p-n*-перехода. Если напряжение внешнего электрического поля больше внутреннего напряжения на *p-n*-переходе, то в цепи диода течёт электрический ток (рис. 14.8).

При подаче внешнего напряжения знаком «минус» на *p*-полупроводник и знаком «плюс» на *n*-полупроводник внешнее электрическое поле действует на заряженные частицы в том же направлении, что и внутреннее электрическое поле *p-n*-перехода. Это поле не пропускает электроны в *p*-полупроводник и дырки в *n*-полупроводник.

### Полупроводниковые фотоэлементы.

Для преобразования энергии светового излучения в энергию электрического тока широко применяются **полупроводниковые фотоэлементы**.

В полупроводниковом кристалле с дырочной проводимостью создаётся тонкий слой полупроводника с электронной проводимостью. На границе раздела этих слоёв возникает *p-n*-переход. Под действием света в полупроводниковом кристалле между слоями с дырочной и электронной проводимостью возникает электрическое напряжение. При подключении к этим слоям в цепи возникает электрический ток.

Систему большого количества соединённых между собой полупроводниковых фотоэлементов называют **солнечной батареей**. Солнечные батареи преобразуют энергию солнечного излучения в электрическую энергию. Они применяются в качестве источников электрического тока в микрокалькуляторах, на космических станциях (рис. 14.9) и в электромобилях.

**Транзистор.** Одним из важнейших элементов современной электронной техники — телевизоров, компьютеров, цифровых фотоаппаратов, мобильных телефо-



нов — является транзистор. В транзисторе  $p-n-p$ -типа две области полупроводникового кристалла  $p$ -типа разделены тонким слоем кристалла  $n$ -типа. На границах раздела кристаллов с различным типом проводимости существуют два  $p-n$ -перехода. Область кристалла между двумя  $p-n$ -переходами называется **базой**, а внешние части кристалла называются **эмиттером** и **коллектором**. Схема устройства и условное обозначение транзистора  $p-n-p$ -типа представлены на рисунке 14.10. Внешний вид нескольких транзисторов показан на рисунке 14.11.

При подаче напряжения знаком «плюс» на эмиттер транзистора  $p-n-p$ -типа, а знаком «минус» на коллектор коллекторный  $p-n$ -переход закрыт. При подаче небольшого напряжения знаком «минус» на базу эмиттерный переход открывается, и из эмиттера на базу входят дырки, создавая ток эмиттера  $I_э$ . База тонкая, поэтому большинство дырок проходит сквозь неё, не успев встретиться со свободными электронами. Они переходят в коллектор, создавая ток коллектора. При изменениях напряжения на эмиттерном  $p-n$ -переходе изменяются токи эмиттера, коллектора и базы.

Транзистор разделяет ток эмиттера на токи коллектора и базы в постоянном отношении. Отношение тока коллектора к току базы у транзисторов может достигать значений до 500. Изменяя слабый ток базы, можно получить в цепи коллектора в сотни раз большие изменения тока.

Транзисторы, изображённые на рисунке 14.11, создавались 30—40 лет тому назад. Современная полупроводниковая электроника развивается по пути миниатюризации всех элементов электроники. Один микропроцессор современного компьютера Pentium 4 на кристалле кремния площадью около  $1 \text{ см}^2$  (рис. 14.12) содержит 169 млн транзисторов микроскопических размеров. Число транзисторов в одном процессоре больше населения России!



Рис. 14.9

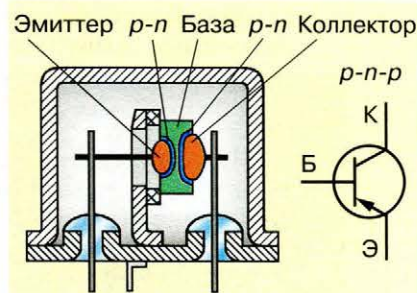


Рис. 14.10

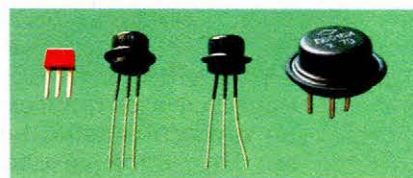


Рис. 14.11

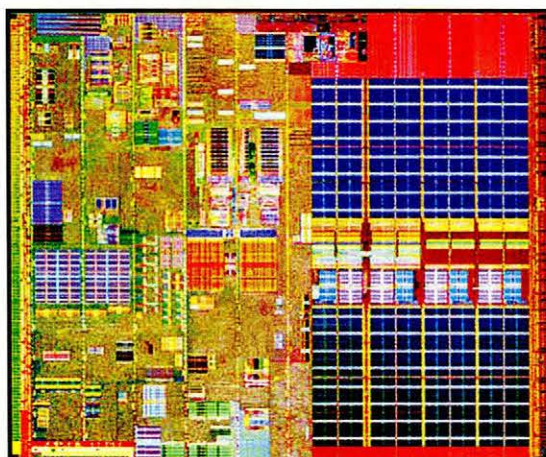


Рис. 14.12

**Тема сообщения**

Устройство и принцип действия транзистора.

**Вопросы**

1. Что такое  $p-n$ -переход?
2. Почему  $p-n$ -переход обладает односторонней проводимостью?
3. Как работает солнечная батарея?
4. Как устроен транзистор?
5. Как транзистор используется для усиления электрических сигналов?



## §15. Правила безопасности при работе с источниками электрического напряжения

**Обеспечение безопасности человека.** При работе с любыми источниками электрического тока нужно помнить об их возможной опасности для здоровья и жизни человека. Правила безопасности необходимо соблюдать не только в школьной физической лаборатории, но и в домашних условиях при использовании бытовых электроприборов, при самостоятельном выполнении опытов.

Каждый человек не раз ощущал на себе действие электрического тока. Удары электрическим током мы ощущаем при снятии меховой, шёлковой или синтетической одежды в сухую погоду из-за явления электризации одежды. При электризации соприкасающихся тел может возникать напряжение в десятки тысяч вольт, но электрические удары от наэлектризованных тел не представляют опасности для здоровья и жизни человека. Электрический удар может принести вред здоровью человека только при достижении некоторых критических значений силы тока и времени его протекания через тело человека.

**Опасность для жизни наступает в том случае, если сила электрического тока, протекающего через тело человека, больше примерно 20—100 мА.** Критическое значение силы тока зависит от места приложения электрических контактов, особенностей организма человека и времени действия тока. Кратковременные импульсы тока организм человека переносит легче, чем длительное действие тока. Смерть человека при ударе электрическим током часто наступает в результате того, что под действием тока происходит судорожное сокращение всех мышц, в том числе и мышц сердца, и оно останавливается.

Для определения опасного для жизни электрического напряжения нужно знать электрическое сопротивление тела человека. Оно зависит от мест приложения напряжения и площади соприкосновения контактов с телом человека.

Наиболее часто поражение током происходит при его прохождении от одной руки к другой или от руки через ноги в землю. Если взять пальцами щупы омметра и измерить электрическое сопротивление между левой и правой руками, то можно получить значение электрического сопротивления от сотен килоом до нескольких десятков мегаом. Приняв за максимально допустимое значение силы тока 20 мА, для измеренного значения электрического сопротивления между руками 1 МОм получим значение опасного напряжения 20 000 В. Однако вывод о безопасности напряжений ниже 20 000 В был бы совершенно ошибочным. Дело в том, что при измерении омметром сопротивления между руками фактически измеряется электрическое сопротивление верхнего ороговевшего слоя кожи, особенно грубого именно на пальцах рук и потому обладающего большим сопротивлением. Этот слой «изолятора» пробивается электрическим напряжением около 100 В. А внутренние ткани человеческого организма являются хорошими проводниками электрического тока (кровь солёная!). Электрическое сопротивление тканей после пробоя кожи составляет лишь около 1 кОм. Следовательно, при поврежденной коже или при большой поверхности соприкосновения мокрой, потной кожи с электродами электрическое сопротивление между руками может составлять около 1 кОм. При таком сопротивлении смертельно опасное значение силы тока, проходящего через тело человека, может быть при напряжении, значительно меньшем 100 В! Поэтому потенциально опасными для жизни человека являются любые бытовые электроприборы, подключённые к электрической сети напряжением 127 В или 220 В.

Каким же образом следует избегать опасности поражения электрическим током в физической лаборатории и при использовании бытовых электроприборов?

**Правило первое.** Никогда не прикасаться ни к каким элементам электрической цепи, подключённой к источнику постоянного тока напряжением выше примерно 40 В или переменного тока напряжением выше примерно 30 В!

Это правило следует выполнять и при работе с безопасными источниками низкого напряжения 1,5—4,5 В в процессе сборки любых электрических цепей. Любую электрическую цепь надо собирать и проверять в отключённом от источника тока состоянии. Цепь подключается к источнику тока только после полного за-



вершения сборки. Если необходимо что-то изменить в способе соединения элементов цепи или в их расположении на рабочем столе, сначала нужно отключить цепь от источника тока.

**Правило второе.** Если вы оборудуете свою домашнюю лабораторию источником постоянного или переменного тока напряжением более 20 В на выходе, включите внутри источника последовательно с одной из клемм его выхода резистор, ограничивающий максимальное значение силы тока на выходе безопасным значением 10 мА.

При включении такого ограничивающего резистора при любой оплошности в работе вы можете получить электрический удар при силе тока менее 10 мА.

**Обеспечение безопасности электроизмерительных приборов.** При выполнении экспериментов с использованием электроизмерительных приборов необходимо обеспечивать не только собственную безопасность, но и сохранность приборов. При работе с приборами для измерения напряжения начинайте измерения с использованием максимального диапазона измеряемого напряжения. При работе с приборами для измерения силы тока до подключения электрической цепи к источнику тока убедитесь, что общее электрическое сопротивление цепи больше значения  $R_{\min}$ , при котором сила тока в цепи достигает максимального значения. Если общее сопротивление неизвестно, то последовательно с прибором для измерения силы тока в цепь необходимо включить резистор, ограничивающий силу тока в цепи до максимального значения, измеряемого данным прибором.

**Зачем нужен третий провод при включении бытовых электроприборов в электрическую розетку?** Большинство современных бытовых электроприборов снабжено вилками, у которых, кроме двух штекеров для подключения к контактам электрической розетки, имеется третий контакт на боковой поверхности, который подключается к выступающим боковым контактам специальной розетки (рис. 15.1). Этот третий контакт на электрической вилке, как легко можно проверить с помощью омметра, соединён с наружными металлическими деталями электроприбора.

При включении такой вилки в розетку третий контакт соединяется с третьим проводом, подведённым к розетке. Этот провод соединён с землёй и называется проводом заземления.

Назначение провода заземления (чёрный провод на рис. 15.2) заключается в том, чтобы предотвратить поражение человека электрическим током в случае неисправности электроприбора, при которой провод под напряжением 220 В приходит в контакт с металлическим корпусом электроприбора. При подключении такого неисправного электроприбора к розетке напряжение подаётся на третий заземлённый провод. Происходит короткое замыкание, сила тока в электрической цепи превышает предельно допустимое значение, и автомат отключает электрическую цепь розетки от источника тока.

При такой неисправности электроприбора без провода заземления человек может получить смертельно опасный удар электрическим током при контакте с корпусом прибора. В этом случае ток протекает через тело человека как через провод заземления.



Рис. 15.1

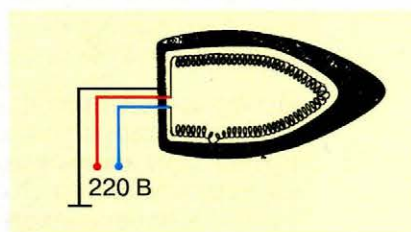


Рис. 15.2

### ? Вопросы

1. При каких значениях силы тока, проходящего через тело человека, наступает опасность для его жизни?
2. При каких значениях электрического напряжения наступает опасность для жизни человека?



**Источники электрического напряжения вокруг нас. Источники электрического напряжения в доме.** Источники электрического напряжения окружают нас дома и на работе, в поездках на различных транспортных средствах и в местах отдыха. Не использовать разнообразные электрические приборы современный человек практически не может: ведь нужно включать и выключать электрическое освещение, подключать к электрической сети телевизор, компьютер, пылесос, утюг, электробритву, фен и т. д. Как мы уже выяснили ранее, сетевое напряжение 220 В потенциально опасно для жизни человека. Как же избежать опасности поражения электрическим током при постоянном использовании электроприборов?

Главное правило. Никогда не прикасайтесь к оголённым проводам, контактам розетки или патрона электрической лампы!

Если дома при включении не работает какой-то электроприбор, то разумно сначала проверить напряжение в сети включением электрического освещения. Если электрические лампы в комнате не зажигаются, то, возможно, сработал автомат предохранителя на квартирном электрическом щите или отключение произошло на подстанции.

Если электрические лампы в комнате зажигаются, то нужно проверить, есть ли напряжение на клеммах розетки. **Для этого не нужно вскрывать розетку!** Достаточно включить в нее другой, исправный электроприбор. Если и этот прибор не заработал, то для окончательной проверки можно воспользоваться газоразрядным индикатором. Если ни в одном из двух гнезд розетки индикатор не обнаруживает напряжения, то необходим ремонт розетки.

Эту работу должен выполнять только специалист! Не беритесь за починку розетки сами, так как это смертельно опасно!

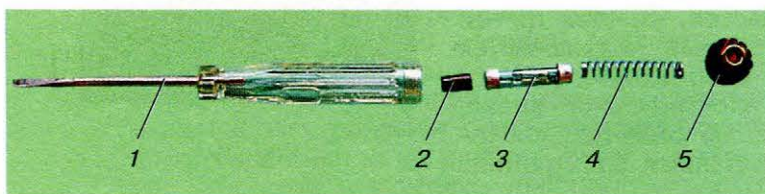


Рис. 15.3

#### Газоразрядный индикатор.

Для проверки наличия электрического напряжения в розетках, патронах ламп электрического освещения электромонтеры пользуются газоразрядным индикатором напряжения, который находится внутри пластмассовой рукоятки отвертки (рис. 15.3). Основной деталью индикатора

является небольшой стеклянный баллон с двумя электродами, заполненный неоновом при пониженном давлении. Электрический разряд в баллоне индикатора возникает при напряжении между его электродами около 70—80 В. Лезвие 1 отвертки через резистор 2 с электрическим сопротивлением в несколько мегаом соединено последовательно с одним электродом газоразрядного баллона 3, другой вывод баллона соединён через пружину 4 с металлическим контактом 5 на торце рукоятки отвертки.

Если между лезвием 1 отвертки и контактом 5 напряжение будет выше примерно 80 В, то в баллоне индикатора возникает электрический разряд и через прозрачную рукоятку отвертки наблюдается красноватое свечение.

Вычислим силу тока через газоразрядный баллон при напряжении 220 В и сопротивлении резистора в рукоятке отвертки 2,2 МОм:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220 \text{ В}}{2\,200\,000 \text{ Ом}} = 0,0001 \text{ А} = 0,1 \text{ мА}.$$

Такая сила тока меньше тока, опасного для человека, в 200 раз. Действие слабого электрического тока органы чувств человека обычно не ощущают. Поэтому для проверки исправности электрической розетки сети напряжением 220 В



или 127 В монтер спокойно может вставить лезвие отвёртки в одно гнездо розетки для контакта с сетевым проводом и большим пальцем прикоснуться к контакту на рукоятке отвёртки (рис. 15.4). Если лезвие отвёртки касается проводника под напряжением более 80 В относительно земли, то через баллон, резистор и тело человека проходит электрический ток и наблюдается свечение баллона.

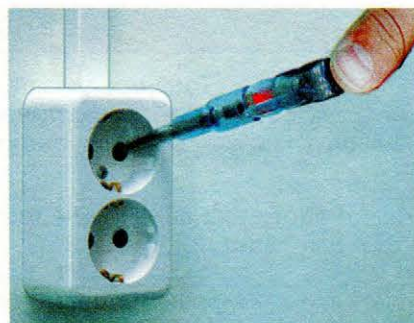


Рис. 15.4

При проверке исправности розетки нужно знать, что в бытовых электрических сетях только один из двух проводов находится под напряжением относительно земли. Другой провод, называемый нулевым, не имеет большого напряжения относительно земли, и при соприкосновении с ним лезвия отвёртки с газоразрядным индикатором свечение не возникает.

Выпускаются более чувствительные и безопасные бытовые индикаторы электрического тока. Такой индикатор также имеет вид отвёртки с прозрачной рукояткой. Однако внутри этой отвёртки находится не газоразрядный баллон, а полупроводниковый диод, испускающий свет при прохождении через него электрического тока. Последовательно с этим диодом включены резистор с очень большим сопротивлением, электронная схема на двух транзисторах для усиления слабых токов и гальванические элементы для питания электронной схемы. Таким индикатором с усилителем можно обнаруживать электрические поля около проводников под переменным напряжением более 70 В, не прикасаясь лезвием отвёртки к проводнику, но при этом необходимо обязательно прикоснуться пальцем к контакту на рукоятке отвёртки (рис. 15.5). Прикасаясь лезвием отвёртки к проводникам, этим прибором можно обнаруживать постоянные напряжения от 1,2 В и выше.



Рис. 15.5

### Пример решения задачи

**Задача.** Для изучения зависимости силы тока, проходящего через полупроводниковый диод, от приложенного напряжения используется миллиамперметр, рассчитанный на 5 мА, и источник тока с максимальным напряжением на выходе 10 В. Чем должно быть равно электрическое сопротивление резистора, включённого последовательно с диодом для защиты миллиамперметра от повреждения?

Дано:

$$I_{\max} = 5 \text{ мА} = 0,005 \text{ А}$$

$$U = 10 \text{ В}$$

$$R - ?$$

Решение

Сопротивление резистора должно быть не меньше чем

$$R = \frac{U}{I_{\max}} = \frac{10 \text{ В}}{0,005 \text{ А}} = 2000 \text{ Ом.}$$

Ответ:  $R = 2000 \text{ Ом.}$

**Задача 15.1.** Каким электрическим сопротивлением должен обладать резистор, чтобы можно было безопасно использовать микроамперметр, рассчитанный на 50 мкА и включённый последовательно с источником постоянного напряжения 12 В?

**Задача 15.2.** Какое значение электрического сопротивления  $R_{\text{внутр}}$  должен иметь резистор, включённый последовательно с источником постоянного тока при напряжении 40 В на выходе для ограничения максимального значения силы тока на выходе безопасным значением 10 мА?



## Тест 2

Тест предназначен для самоконтроля результатов изучения тем  
**«Постоянный электрический ток. Сила тока. Электрическое сопротивление.  
 Закон Ома для участка электрической цепи. Работа и мощность электрического тока.  
 Закон Джоуля—Ленца».**

Работу над заданиями теста следует проводить так же, как рекомендовано на с. 22 для теста 1.

1. Каким номером на схеме (рис. Т2.1) цепи постоянного тока обозначен источник напряжения?

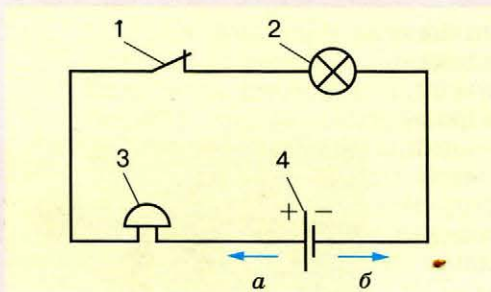


Рис. Т2.1

- 1) 1    2) 2    3) 3    4) 4
2. Какой стрелкой на схеме (см. рис. Т2.1) показано направление тока в цепи и какой — направление движения электронов в цепи?
- 1) направление тока показано стрелкой *a*, направление движения электронов — стрелкой *б*
  - 2) направление тока показано стрелкой *б*, направление движения электронов — стрелкой *a*
  - 3) направление тока и направление движения электронов в цепи показаны стрелкой *a*
  - 4) направление тока и направление движения электронов в цепи показаны стрелкой *б*
3. Электрический ток в металлах создаётся упорядоченным движением
- 1) положительных ионов
  - 2) отрицательных ионов
  - 3) электронов
  - 4) положительных и отрицательных ионов и электронов
  - 5) положительных и отрицательных ионов
4. Чему равна сила тока в электрической цепи, если через поперечное сечение проводника в течение 5 с прошёл заряд 20 Кл?
- 1) 100 А    2) 20 А    3) 4 А    4) 0,25 А
5. Какая пара металлов и с какой жидкостью пригодны для изготовления гальванического элемента?
- 1) медь—медь, раствор поваренной соли
  - 2) медь—медь, вода
  - 3) цинк—медь, раствор поваренной соли
  - 4) цинк—медь, вода
6. Какое из перечисленных действий может производить электрический ток?
- А. Тепловое действие. Б. Световое излучение. В. Излучение радиоволн. Г. Химическое действие. Д. Магнитное действие.
  - 1) только А и Д
  - 2) только А, Б и Д
  - 3) только А, Б, В и Д
  - 4) А, Б, В, Г и Д
7. На участке цепи при силе тока 2 А и электрическом сопротивлении 5 Ом напряжение равно
- 1) 10 В    2) 2,5 В    3) 0,8 В    4) 0,4 В
8. На участке цепи при силе тока 2 А и электрическом сопротивлении 5 Ом мощность электрического тока равна
- 1) 50 Вт    2) 20 Вт    3) 10 Вт    4) 0,4 Вт
9. На электрическом нагревателе при напряжении 10 В и силе тока 3 А в течение 2 мин выделяется количество теплоты, равное
- 1) 10 800 Дж    3) 180 Дж
  - 2) 3600 Дж    4) 60 Дж
10. В электрическую цепь включены четыре резистора (рис. Т2.2). Какие из них включены параллельно и какие — последовательно?



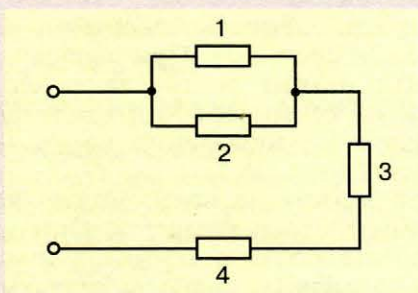


Рис. T2.2

- 1) параллельно включены резисторы 1 и 2, последовательно — 3 и 4
- 2) параллельно включены резисторы 1, 2 и 4, последовательно — 3 и 4
- 3) параллельно включены резисторы 1 и 2, последовательно включённых нет
- 4) параллельно включены резисторы 1, 2 и 4, последовательно включённых нет

11. Для измерения силы тока, проходящего через электрическую лампу, и напряжения на ней включают

- 1) амперметр и вольтметр параллельно лампе
- 2) амперметр и вольтметр последовательно с лампой
- 3) амперметр последовательно с лампой, вольтметр параллельно лампе
- 4) амперметр параллельно лампе, вольтметр последовательно с лампой

12. Если длина проводов от источника тока до электрической лампы равна 30 000 км, то лампа загорается после замыкания электрической цепи через

- 1) 0 с
- 2) 0,1 с
- 3) 1 с
- 4) 100 с

13. Как изменяется электрическое сопротивление  $R_M$  металлического проводника и  $R_n$  полупроводникового кристалла при повышении температуры?

- 1)  $R_M$  и  $R_n$  увеличиваются
- 2)  $R_M$  и  $R_n$  уменьшаются
- 3)  $R_M$  увеличивается,  $R_n$  уменьшается
- 4)  $R_n$  увеличивается,  $R_M$  уменьшается

14. На рисунке T2.3 представлена схема электрической цепи. Чему равно общее электрическое сопротивление цепи? Ответ запишите числом в омах.

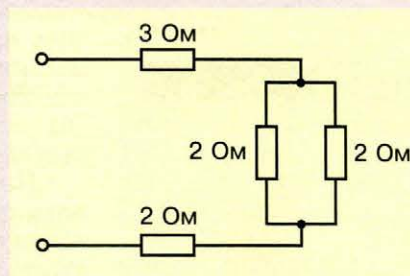


Рис. T2.3

15. Чему равна стоимость электроэнергии, расходуемой электрической люстрой с пятью лампами мощностью по 100 Вт в течение 2 ч непрерывной работы, при тарифе электроэнергии 2 р./кВт·ч? Ответ запишите числом в рублях.

16. График зависимости силы тока от напряжения на концах проводника представлен на рисунке T2.4. Чему равно электрическое сопротивление проводника? Ответ запишите числом в омах.

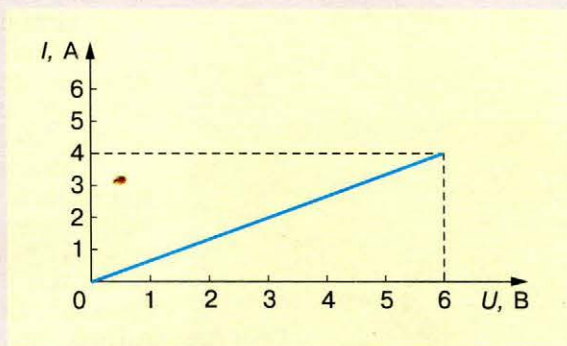


Рис. T2.4



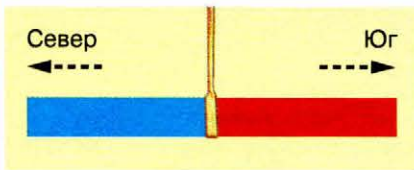


Рис. 16.1

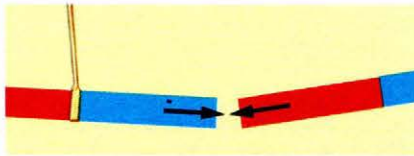


Рис. 16.2

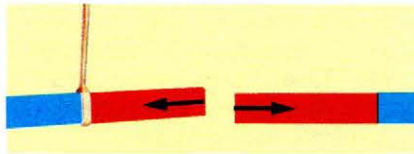


Рис. 16.3

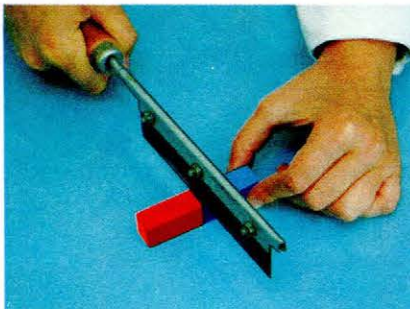


Рис. 16.4

**? Вопросы**

1. Что общего в электрических и магнитных явлениях?
2. Чем различаются электрические и магнитные явления?
3. Чем отличается взаимодействие двух постоянных магнитов от взаимодействия постоянного магнита с железным стержнем?

**Взаимодействие магнитов.** Постоянными магнитами называют тела из стали или специальных сплавов, способные притягивать железные предметы. При свободном подвешивании постоянный магнит устанавливается одним концом в направлении на север (его называют северным полюсом), другим концом в направлении на юг (его называют южным полюсом) (рис. 16.1).

Подвесив полосовой магнит на нити, можно исследовать особенности взаимодействия магнитов. Опыты показывают, что разноимённые полюсы магнитов притягиваются (рис. 16.2), а одноимённые полюсы отталкиваются (рис. 16.3).

По свойству притяжения разноимённых и отталкивания одноимённых магнитных полюсов взаимодействие магнитов похоже на взаимодействие электрических зарядов. Но есть между ними и существенные различия. Положительные и отрицательные заряды можно отделить друг от друга. Все попытки получить отдельно существующие северный и южный полюсы магнита окончились неудачами. При разрезании любого магнита (рис. 16.4) его полюсы не разделяются, а образуют два магнита с двумя полюсами каждый. На рисунке 16.5 показан магнит до распиливания и магниты после распиливания (и перекрашивания).

**Магнитные свойства вещества.** Подвешивая на нити тела из разных веществ, можно исследовать, как действует на них магнит. В таких опытах не удаётся обнаружить заметных сил притяжения или отталкивания тел из большинства металлов и диэлектриков, встречающихся в природе.

В опытах с твёрдыми телами, содержащими железо, никель, кобальт, их сплавы и некоторые соединения с другими веществами, обнаруживается способность притяжения таких тел к любому из полюсов магнита.

Взаимодействие магнитов между собой отличается от взаимодействия с железными телами. Во-первых, магниты при взаимодействии между собой одними концами притягиваются, другими отталкиваются, а железные тела притягиваются к любому полюсу магнита любыми своими сторонами. Во-вторых, железные тела притягиваются к магнитам, но не притягиваются друг к другу.

**Магнитное поле Земли.** На способности свободного магнита ориентироваться в пространстве в направлении север — юг основано устройство компаса. В компасе постоянный магнит в виде стрелки установлен на острие тонкой иглы. Эта стрелка может свободно поворачиваться вокруг вертикальной оси. Ориентация стрелки почти точно вдоль земного меридиана показывает, что планета Земля является большим магнитом и магнитные полюсы этого громадного магнита находятся вблизи географических полюсов Земли.

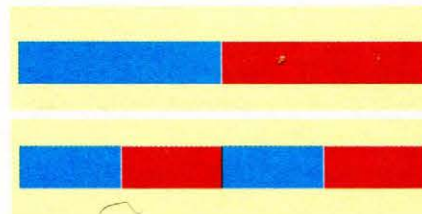


Рис. 16.5



**Экспериментальное задание 16.1**

**Работаем в паре**

**Исследование явления магнитного взаимодействия**

*Оборудование:* два постоянных полосовых магнита, два куска медного или алюминиевого провода, два карандаша, два железных гвоздя, штатив, нить.

**Исследуйте взаимодействие одного постоянного магнита с другим.**

**Исследуйте взаимодействие алюминиевых, деревянных и железных стержней между собой и с постоянным магнитом.**

*Порядок выполнения задания*

1. Подвесьте полосовой магнит на нити так, чтобы он был расположен горизонтально. Поднесите к его южному полюсу южный полюс другого магнита, как показано на рисунке 16.3. Запишите в таблицу, что наблюдалось в опыте — притяжение, отталкивание или отсутствие взаимодействия.

2. Исследуйте взаимодействие северного полюса с северным полюсом и северного полюса с южным полюсом. Результаты опытов запишите в таблицу.

3. Используя тот же метод, попытайтесь обнаружить взаимодействие алюминиевых и деревянных стержней (кусков проволоки и карандашей) между собой и с постоянным магнитом (рис. 16.6).

4. Исследуйте взаимодействие между двумя железными стержнями (двумя гвоздями) (рис. 16.7) и взаимодействие северного (рис. 16.8) и южного (рис. 16.9) полюсов магнита с железными стержнями.

5. Проверьте, становится ли магнитом гвоздь, притянувшийся к магниту; сохраняются ли магнитные свойства у железного гвоздя после удаления его от магнита. (Дайте письменные ответы на эти вопросы.)

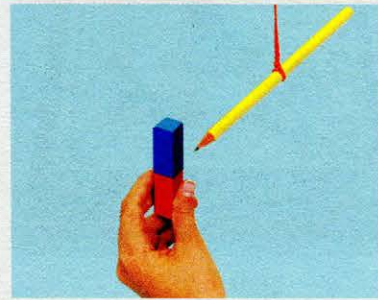


Рис. 16.6

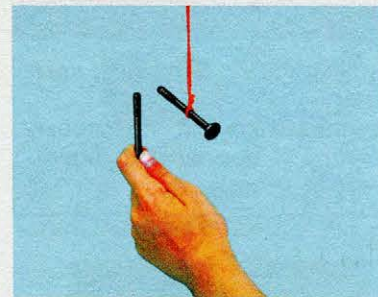


Рис. 16.7

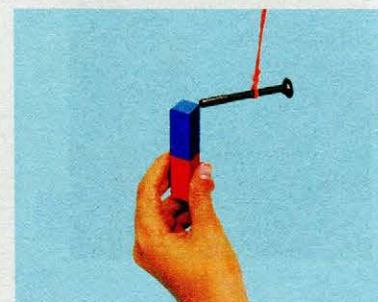


Рис. 16.8

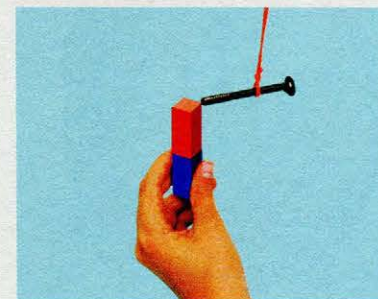


Рис. 16.9

**Таблица 16.1**

Взаимодействующие пары	Вид взаимодействия
Полюсы магнитов: южный — южный северный — северный северный — южный	
Алюминий — алюминий Алюминий — южный полюс Алюминий — северный полюс Дерево — дерево Дерево — южный полюс Дерево — северный полюс Железо — железо Железо — южный полюс Железо — северный полюс	



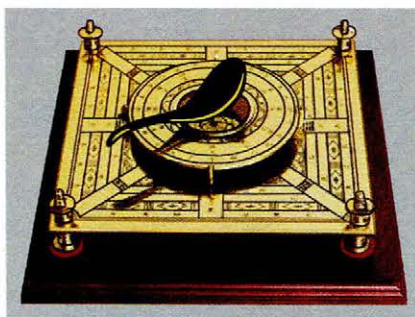


Рис. 16.10



### Конструкторское задание

Придумайте конструкцию компаса.

Изготовьте компас по своему замыслу и продемонстрируйте его в классе.



Вильям Гильберт

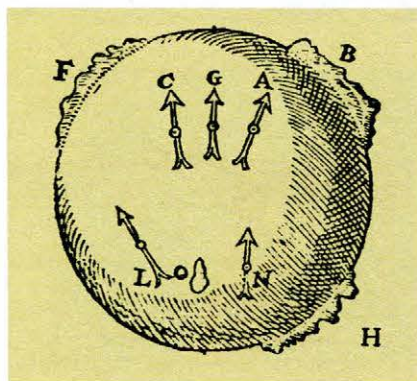


Рис. 16.11

**История открытия магнитных явлений.** Явление притяжения железных предметов к некоторым камням, найденным в природе, было обнаружено около 2500 лет тому назад. По одной из легенд, слово «магнит» произошло от имени пастуха Магнуса, первым заметившего притяжение своего железного посоха к некоторым камням. Камни, способные притягивать железо, стали позже называть магнитами.

В Китае ещё в I в. до н.э. на свойстве магнитов устанавливаться в пространстве в одном направлении было основано изготовление компасов. На рисунке 16.10 представлен китайский компас из магнита в форме ложки на медной пластине. Только в XI в. компасами стали пользоваться европейцы.

Первое научное исследование природы магнитных явлений выполнил в 1269 г. француз Пьер де Мерикур (Перегрин). Он обнаружил у магнита два полюса, один из которых при свободном подвешивании указывает на север, а другой — на юг. Он установил, что одноимённые полюсы отталкиваются, а разноимённые притягиваются, а при разрезании магнита полюсы не разделяются, а образуются два магнита, каждый с двумя полюсами.

В 1603 г. была опубликована книга «О магните» английского учёного Вильяма Гильберта. В этой книге были представлены результаты экспериментов с магнитами. Гильберт обнаружил, что, в отличие от электрического притяжения, магнитное не зависело от натирания и влажности воздуха. Электрическое притяжение действовало на любые тела, магнитное — только на железные тела и природные магнитные руды. Гильберт изготовил шаровой магнит и наблюдал за маленькой магнитной стрелкой, помещённой в разных местах вблизи этого шара (рис. 16.11). Оказалось, что свойства такого шара подобны свойствам Земли. Отсюда он сделал вывод о том, что Земля представляет собой громадный магнит с магнитными полюсами вблизи её географических полюсов.

**Природа магнетизма.** В античные времена магнитные взаимодействия объясняли существованием особых магнитных жидкостей, истекающих из магнитов. Открытие закона всемирного тяготения привело к возникновению теории дальнего действия. Согласно этой теории электрические заряды и магниты действуют друг на друга мгновенно через пустоту на любом расстоянии.

Противником теории истечения особых жидкостей и теории дальнего действия был академик Петербургской академии наук Леонард Эйлер. В 1760—1761 г. он объяснил электрические и магнитные взаимодействия особыми состояниями упругого мирового эфира, его сгущениями и разрежениями.

**Электромагнитное поле по Фарадею.** Принципиально новое объяснение природы электричества и магнетизма предложил английский учёный Майкл Фарадей. Согласно взглядам Фарадея электрические заряды и магниты не действуют непосредственно друг на друга на расстоянии, а создают вокруг себя в пространстве поля в виде силовых линий. Силовые линии магнитного поля он



представлял выходящими из северного полюса магнита и входящими в южный полюс (рис. 16.12). Электрические и магнитные взаимодействия Фарадей объяснил натяжениями и изгибаниями этих невидимых глазом линий. Именно с этой гипотезы и началось развитие представлений о существовании электрических и магнитных полей как физической реальности. Электрические заряды и магниты взаимодействуют между собой через материальные электрические и магнитные поля. Такое представление о механизме взаимодействия называется гипотезой близкодействия. Расположение силовых линий магнитного поля в пространстве указывают магнитные стрелки, размещённые вокруг магнита, или железные опилки, насыпанные на картонную либо деревянную пластину, на которой лежит магнит (рис. 16.13). Такая картина возникает при лёгком постукивании по картону. Отдельные удлинённые частички опилок поворачиваются в магнитном поле, как стрелки маленьких компасов, и выстраиваются вдоль силовых линий.

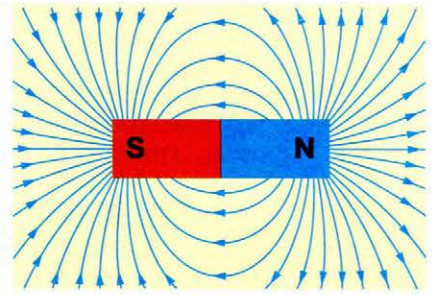


Рис. 16.12

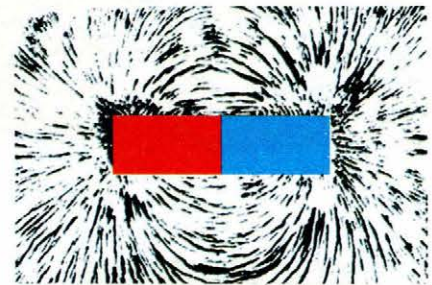


Рис. 16.13

**Задача 16.1.** Северный полюс магнитной стрелки компаса под действием магнитного поля Земли устанавливается в направлении Северного географического полюса. Какой магнитный полюс Земли находится недалеко от Северного географического полюса — Северный или Южный?

### Экспериментальное задание 16.2

#### Работаем самостоятельно

#### Исследование взаимодействия магнита с магнитной стрелкой

**Оборудование:** постоянный магнит, компас, лист бумаги.

**Исследуйте действие магнита на стрелку компаса в разных точках пространства вокруг него.**

#### Порядок выполнения задания

1. Положите магнит на лист бумаги. Поставьте компас у полюса магнита и отметьте на бумаге точками положения концов 1 и 2 стрелки компаса. Переместите компас так, чтобы конец 1 его стрелки находился над точкой 2, которой было отмечено положение противоположного конца стрелки в первом положении компаса. Отметьте новое положение конца 3 стрелки (рис. 16.14 и 16.15) и продолжайте перемещать компас до края листа бумаги.

Все отмеченные точки соедините плавной кривой. Затем начните новую серию перемещений компаса с нового его положения относительно магнита.

2. Поставьте компас симметрично первому положению у противоположного полюса магнита и повторите такие же действия, как в первом опыте.

3. Проведите 5—6 таких опытов и получите картину распределения силовых линий магнитного поля вокруг магнита.

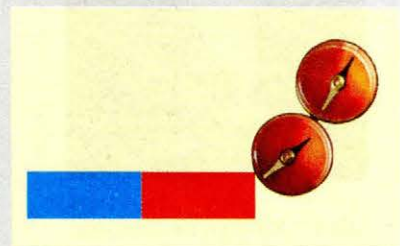


Рис. 16.14

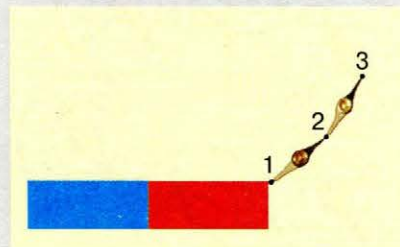


Рис. 16.15



## §17. Магнитное поле тока

**Магнитные действия тока.** Впервые связь между электрическими и магнитными явлениями обнаружил в 1820 г. датский физик Ганс Христиан Эрстед. В его опытах до замыкания электрической цепи провод располагался над магнитной стрелкой параллельно ей (рис. 17.1).

При замыкании электрической цепи стрелка поворачивалась перпендикулярно проводу (рис. 17.2).

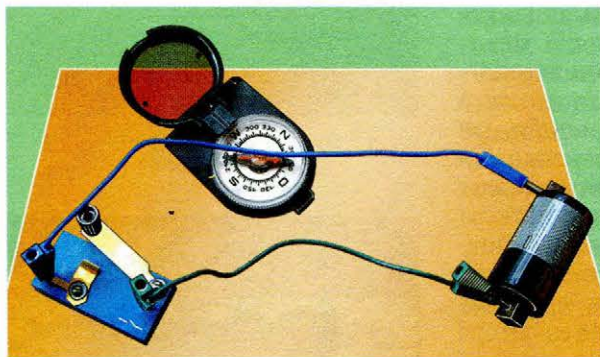


Рис. 17.1

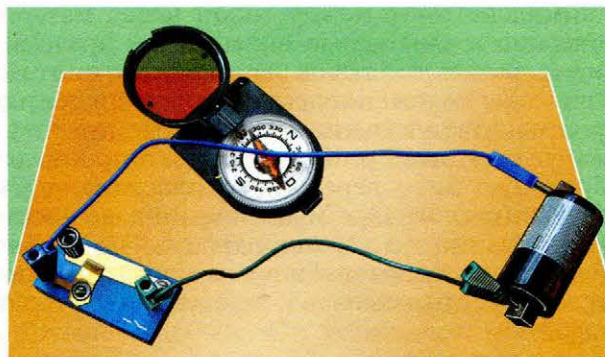


Рис. 17.2



Ганс Христиан Эрстед

Исследования действия электрического тока на магнитную стрелку показали, что наблюдается новый тип взаимодействий тел. При гравитационном взаимодействии тел и электростатическом взаимодействии электрических зарядов силы направлены вдоль прямой, соединяющей взаимодействующие тела. Проводник с током не притягивает и не отталкивает стрелку, а поворачивает её вокруг оси. Угол поворота стрелки увеличивается с возрастанием силы тока.

При расположении нескольких компасов на одинаковом расстоянии вокруг вертикального прямого проводника без тока все магнитные стрелки направлены параллельно под действием магнитного поля Земли (рис. 17.3). При пропускании тока через проводник магнитные стрелки поворачиваются таким образом, как показано на рисунке 17.4. Силовые линии магнитного поля вокруг прямого проводника с током образуют окружности в плоскости, перпендикулярной проводнику. Северные полюсы магнитных стрелок при взгляде сверху в направлении тока в проводнике ориентированы по направлению вращения часовой стрелки (см. рис. 17.4). Принимается, что так же направлены и силовые линии магнитного поля вокруг проводника с током. Этот опыт показывает, что направление действия силы на каждую магнитную стрелку перпендикулярно прямой, соединяющей проводник со стрелкой.

Это явление Эрстед объяснил так: движущиеся в проводнике электрические заряды намагничивают проводник, а намагниченный проводник действует на магнитную стрелку.

Другую гипотезу о природе магнитных взаимодействий высказал французский физик Андре Мари Ампер. Он установил на опыте, что электрический ток в круговой рамке действует на магнитную стрелку так же, как постоянный магнит, у которого полюсы расположены перпендикулярно плоскости кругового тока (рис. 17.5). На ос-

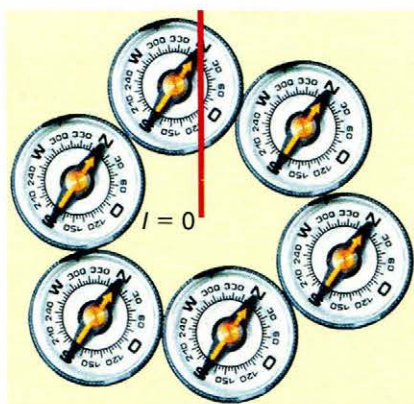


Рис. 17.3



новании этого факта Ампер предположил, что земной магнетизм объясняется не тем, что внутри Земли имеется громадный железный магнит, а тем, что внутри Земли создаётся круговой электрический ток (рис. 17.6).

Следующий шаг его рассуждений был примерно таким. Если земной магнетизм происходит от кругового электрического тока внутри Земли, то, возможно, и магнитные свойства постоянных магнитов объясняются тем, что внутри самих атомов вещества магнита создаются круговые электрические токи. Представления Ампера о природе магнитных явлений полностью подтвердились дальнейшими исследованиями.

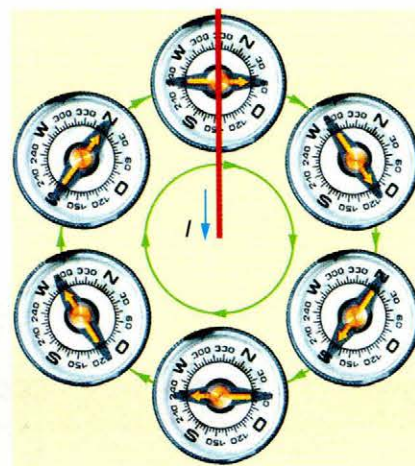


Рис. 17.4

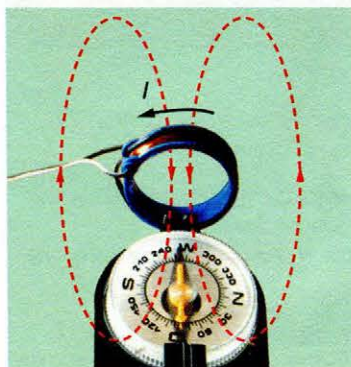


Рис. 17.5

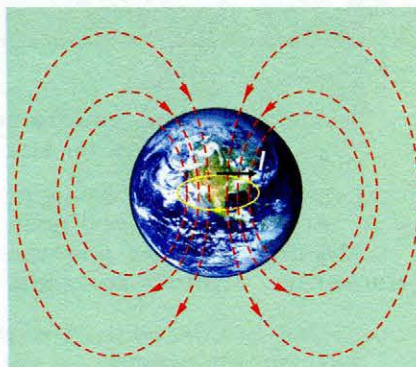


Рис. 17.6

**@ Найдите**

<http://class-fizika.narod.ru/mm8.htm> (Слайд-шоу: Магнитное поле тока. Магнитное поле прямого тока.)

**● Экспериментальное задание 17.1**

**Работаем в паре**

**Исследование действия электрического тока в прямом проводнике на магнитную стрелку**

**Оборудование:** источник постоянного тока напряжением 4 В, провод длиной 30—50 см, ключ, компас.

**Изучите влияние электрического тока в прямом проводнике на магнитную стрелку компаса.**

*Порядок выполнения задания*

1. Положите компас на стол и расположите над ним провод вдоль направления стрелки. Посмотрите, что происходит со стрелкой компаса при пропускании электрического тока через провод. Включение тока в цепи должно быть кратковременным!
2. Выполните рисунок, укажите на нём направление тока в проводе и направление поворота стрелки при включении тока.
3. Повторите опыт при расположении провода под компасом и сделайте новый рисунок.
4. Повторите опыт при изменении направления тока в проводе.
5. Сделайте вывод, от чего зависит направление действия силы со стороны электрического тока на магнитную стрелку.

**? Вопросы**

1. В каком опыте и кем была впервые обнаружена связь между электрическими и магнитными явлениями?
2. Как нужно расположить прямой проводник над магнитной стрелкой для обнаружения магнитного действия тока — параллельно или перпендикулярно стрелке?
3. Как объяснил Ампер существование магнитного поля Земли?
4. Как объяснил Ампер существование магнитного поля постоянных магнитов?



**Открытие магнитного действия тока.** По одному из рассказов об истории открытия явления магнитного действия тока, успех пришёл к Эрстеду случайно во время демонстрации студентам связи между электричеством и светом. Эрстед пропускал электрический ток через тонкую проволоку, и она нагревалась до красного свечения. Один из студентов заметил, что во время выполнения этого опыта магнитная стрелка, случайно стоявшая на демонстрационном столе, повернулась на некоторый угол. Он обратил внимание Эрстеда на этот факт. Эрстед подробно исследовал обнаруженный эффект и сообщил об открытии влияния электрического тока на магнит.

## Экспериментальное задание 17.2

### Работаем в паре

#### Исследование действия электрического тока в катушке на магнитную стрелку

**Оборудование:** источник постоянного тока напряжением 4 В, катушка из медного провода, ключ, компас.

**Изучите влияние электрического тока в катушке на магнитную стрелку компаса.**

#### Порядок выполнения задания

1. Положите компас на стол и расположите перед ним катушку из медного провода так, чтобы плоскость витков катушки была параллельна направлению стрелки (рис. 17.7). Убедитесь в том, что катушка без тока не влияет на магнитную стрелку.
2. Подключите концы проводов катушки к источнику постоянного тока через ключ. Посмотрите, что происходит со стрелкой компаса при прохождении тока в катушке (рис. 17.8).
3. Выполните рисунок, укажите на нём направление тока в катушке и направление стрелки при включении тока.
4. Поверните катушку вокруг вертикальной оси на  $180^\circ$  и повторите опыт (рис. 17.9). Сделайте новый рисунок.
5. Повторите опыт при изменении направления тока в проводе.
6. Сформулируйте общее правило определения направления силовых линий магнитного поля вокруг катушки с током. Сравните сформулированное правило с общепринятым правилом, которое называют правилом винта.

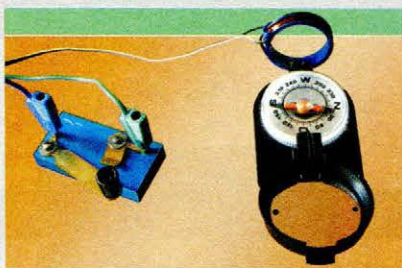


Рис. 17.7

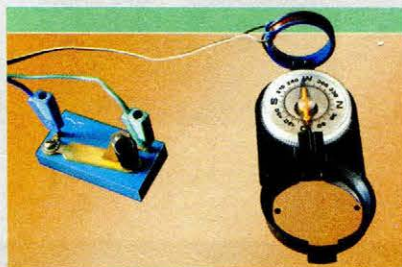


Рис. 17.8

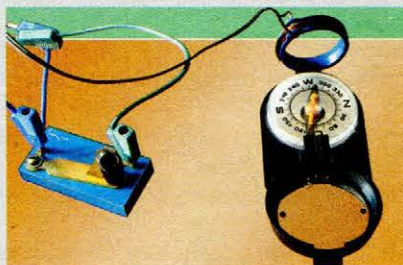


Рис. 17.9



**Правило винта.** Если расположить винт перпендикулярно плоскости витка провода с током, то направление силовых линий магнитного поля в середине витка совпадает с направлением перемещения винта по резьбе при его вращении в направлении тока в витке. Если смотреть на винт вдоль его оси, то при вращении по часовой стрелке он перемещается от нас (рис. 17.10). При вращении против часовой стрелки винт перемещается к нам (рис. 17.11).

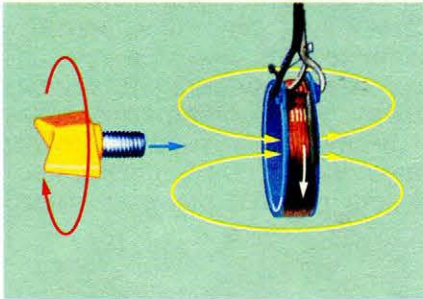


Рис. 17.10

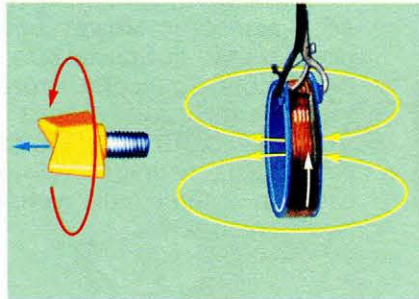


Рис. 17.11

**Задача 17.1.** Провод без тока был расположен над компасом параллельно стрелке. При пропускании электрического тока через провод стрелка компаса повернулась и установилась так, как показано на рисунке 17.12. Определите направление электрического тока в проводнике.

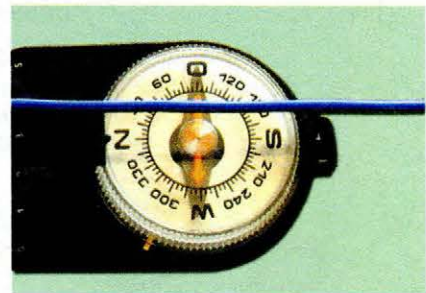


Рис. 17.12

**Задача 17.2.** Катушку без тока расположили около компаса так, что плоскости витков провода в ней были параллельны стрелке компаса. При пропускании электрического тока через катушку стрелка компаса повернулась и установилась так, как показано на рисунке 17.13. Определите направление электрического тока в катушке.



Рис. 17.13

@ Найдите

[http://class-fizika.narod.ru/8\\_m5.htm](http://class-fizika.narod.ru/8_m5.htm) (Магнитное поле Земли.)

? Вопросы

1. Для какой цели могут применяться катушки?
2. Какое правило можно использовать для определения направления магнитного поля внутри катушки с электрическим током?



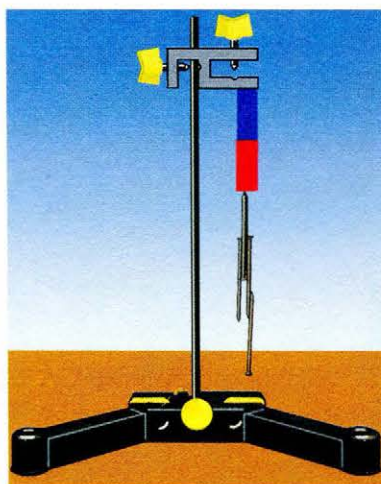


Рис. 18.1

**Явление намагничивания.** При выполнении экспериментального задания 16.1 у железных предметов при их сближении с постоянным магнитом наблюдалось возникновение магнитных свойств (рис. 18.1). Это явление называют **намагничиванием**.

При намагничивании под действием магнитного поля постоянного магнита в веществе возникает собственное магнитное поле того же направления и общее магнитное поле усиливается.

Можно предположить, что собственное магнитное поле в веществе может возникать и под действием магнитного поля, создаваемого электрическим током в проводнике. Для проверки этого предположения выполним опыты с катушкой, через обмотку которой пропускается электрический ток. Помещая в катушку с током образцы различных веществ, с помощью магнитной стрелки проследим, происходит усиление или ослабление магнитного поля катушки.

## Экспериментальное задание 18.1

### Работаем в группе

#### Исследование явления намагничивания вещества

**Оборудование:** источник постоянного тока, катушка из медного провода, деревянный, медный и железный стержни (карандаши, медный цилиндр, гвозди).

**Исследуйте, изменяется ли магнитное поле у концов катушки с током при введении внутрь её различных материалов.**



Рис. 18.2

#### Порядок выполнения задания

1. Соедините концы провода катушки с полюсами источника постоянного тока через ключ. Сначала ключ не замыкайте.

2. При разомкнутом ключе установите катушку так, чтобы плоскости витков провода катушки располагались в вертикальной плоскости параллельно магнитной стрелке (рис. 18.2).

Проверьте, что при отсутствии тока в катушке внесение в неё деревянных, медных или железных стержней не вызывает отклонения стрелки компаса. Расстояние катушки от стрелки должно быть не менее 7—10 см, чтобы железные стержни не намагничивались самой стрелкой и не оказывали на неё влияния (рис. 18.3).

3. Замкните ключ и заметьте угол поворота стрелки компаса под действием магнитного поля тока в катушке (рис. 18.4).



Рис. 18.3



Рис. 18.4



4. Не изменяя положения катушки с током относительно магнитной стрелки, введите в катушку сначала деревянные стержни (рис. 18.5), затем медный цилиндр (рис. 18.6). Наблюдайте, влияют ли эти вещества на магнитное поле катушки. Сделайте выводы из наблюдений.

5. Не изменяя положения катушки с током относительно магнитной стрелки, введите в катушку железный цилиндр или несколько железных гвоздей. Наблюдайте, влияет ли введение в катушку с током железных предметов на магнитное поле катушки (рис. 18.7). Сделайте выводы из наблюдений.

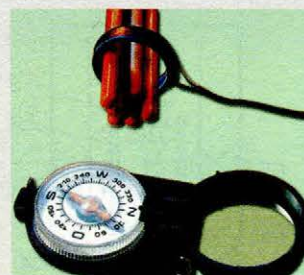


Рис. 18.5



Рис. 18.6



Рис. 18.7

**Электромагнит.** Усиление магнитного поля при введении в катушку с током железных предметов используется во многих технических устройствах и приборах. Самый простой из них — электромагнит. Если вставить в цилиндрическую катушку железный стержень, мы получим электромагнит, похожий по свойствам на полосовой постоянный магнит. Железный стержень в магните называется сердечником электромагнита. Однако магнитное поле магнита расходится во все стороны так же, как вокруг полосового постоянного магнита (см. рис. 16.12). Поэтому вблизи полюсов магнита поле не очень сильное. Для получения сильных магнитных полей сердечник магнита делают U-образным с двумя катушками на прямых участках сердечника и с железной пластиной (якорем), замыкающей полюсы сердечника электромагнита (рис. 18.8). При замыкании полюсов магнита якорем магнитное поле почти полностью концентрируется внутри сердечника и якоря, поэтому сила магнитного притяжения оказывается очень большой.

Сила притяжения электромагнитом железных предметов, как и якоря, зависит от силы тока в его обмотке. Изменяя силу тока в обмотке, можно изменять силу магнитного притяжения. Этот способ управления действующей силой применяется в электромагнитах в разнообразных автоматах и для переноса железных или чугунных тел массой в несколько десятков тонн (рис. 18.9).



Рис. 18.8



Рис. 18.9

### ? Вопросы

1. Какое вещество обладает свойством усиливать магнитное поле, создаваемое электрическим током в катушке?
2. Где применяются на практике катушки с железными сердечниками?



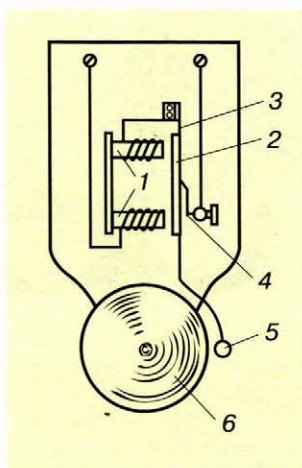


Рис. 18.10

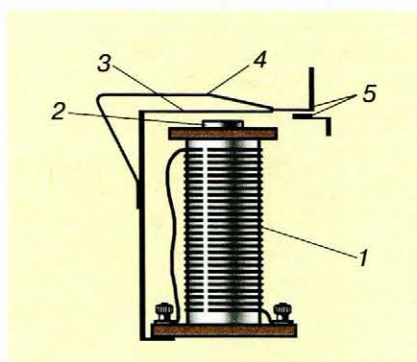


Рис. 18.11

**Устройство и принцип действия электрического звонка.** Электрический звонок — это простой электрический автомат. Он состоит из катушки 1 с железным сердечником, железной пластины 2, пружины 3, пары первоначально замкнутых контактов 4, молоточка 5 и звонковой чаши 6 (рис. 18.10). При прохождении тока через катушку магнитное поле сердечника намагничивает железную пластину 2 и притягивает её. При этом молоточек 5 ударяет по чаше 6. Одновременно происходит размыкание контактов 4, и ток в катушке прекращается.

С прекращением тока в катушке сердечник размагничивается и перестаёт притягивать пластину 2. Пружина 3 возвращает пластину 2 в исходное положение. При этом контакты 4 вновь замыкаются, в катушке возникает ток, её сердечник намагничивается, притягивает пластину, молоточек ударяет по чаше и т. д. — процессы периодически повторяются. Звонок звенит.

## Экспериментальное задание 18.2

### Работаем самостоятельно

#### Изучение принципа действия электрического звонка

**Оборудование:** источник постоянного тока, соединительные провода, ключ, электрический звонок.

**Ознакомьтесь с устройством и принципом действия электрического звонка. Подключите звонок к источнику тока и проверьте его в работе.**

**Электромагнитное реле.** Элементом многих автоматических устройств является электромагнитное реле. Электромагнитное реле состоит из катушки 1, железного сердечника 2, железной пластины 3, называемой якорем, пружины 4 и замыкаемых контактов 5 (рис. 18.11). Пластина-якорь удерживается пружиной на небольшом расстоянии от железного сердечника. При пропускании электрического тока по обмотке катушки её сердечник намагничивается и притягивает железный якорь. При перемещении якоря электрические контакты замыкаются. Якорь притягивается, и контакты замыкаются только при превышении некоторого определённого значения силы тока в катушке. Это значение тока называется током срабатывания реле.

При уменьшении силы тока в обмотке реле ниже некоторого значения пружина оттягивает якорь, контакты размыкаются.

## ? Вопросы

1. Каково назначение железного сердечника в катушке?
2. Каково назначение пружины?
3. Будет ли работать звонок при изменении полярности подключения выводов катушки к источнику тока? Проверьте правильность вашего ответа на опыте.



## Конструкторское задание

Изготовьте, с вашей точки зрения, самый сильный электромагнит и сравните его с электромагнитами, сделанными вашими одноклассниками.



### Экспериментальное задание 18.3

#### Работаем в группе

#### Ознакомление с автоматическим устройством включения и выключения электрического освещения

**Оборудование:** электромагнитное реле, солнечная батарея, источник постоянного тока, электрическая лампа, соединительные провода.

**Ознакомьтесь с устройством и принципом действия электромагнитного реле. Соберите и испытайте электрическую схему для автоматического включения и выключения электрической лампы с помощью электромагнитного реле и солнечной батареи.**

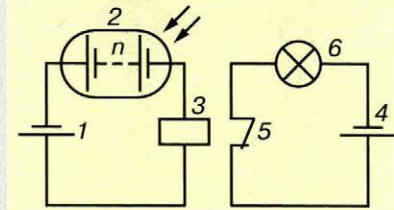


Рис. 18.12

#### Порядок выполнения задания

1. Рассмотрите устройство электромагнитного реле. Соберите две электрические цепи по схемам, изображённым на рисунке 18.12. В первой цепи последовательно соединены источник тока 1, солнечная батарея 2 и обмотка реле 3. Во второй цепи последовательно соединены источник тока 4, нормально замкнутые контакты 5 реле и лампа 6.

2. При освещении солнечной батареи на её выводах возникает электрическое напряжение и создаётся электрический ток в обмотке реле. Если освещение достаточно интенсивное, реле срабатывает и выключает лампу 6, «фонарь уличного освещения» гаснет (рис. 18.13).

3. Если освещение батареи слабое (выключена освещающая лампа, работающая «солнцем», или батарея заслонена от солнечного света листом плотной бумаги), то значение электрического тока в обмотке реле становится меньше тока срабатывания реле, контакты 5 замыкаются, лампа 6 должна гореть. Это «фонарь уличного освещения», автоматически зажигающийся ночью (рис. 18.14).



Рис. 18.13



Рис. 18.14



#### Вопросы

1. Как работает электромагнитное реле?
2. Для каких целей можно использовать электромагнитное реле?



## §19. Действие магнитного поля на проводник с током

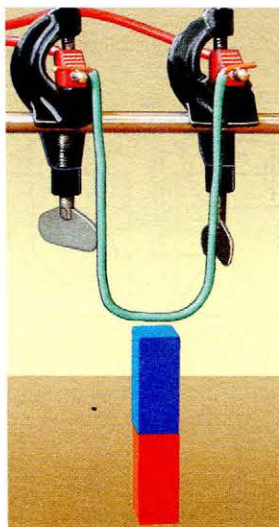


Рис. 19.1

**Действие магнитного поля на проводник с током.** При исследовании действия электрического тока на магнитную стрелку Эрстед обнаружил, что не только электрический ток действует на магнит, но и магнит действует на электрический ток. Он заметил, что при поднесении магнита к свободно висящему проводнику с током проводник смещается.

Обнаружить действие магнита на проводник с током можно при проведении следующего опыта. Зачищенные концы провода, изогнутого в форме буквы «П» (рамка), кладут на концы штекеров двух проводников, укрепленных горизонтально на штативе. Под горизонтальным участком проводника устанавливают постоянный магнит (рис. 19.1).

Опыт показывает, что при отсутствии тока магнитное поле не действует на проводник, хотя в нём имеются электрические заряды разных знаков. При пропускании тока под действием магнитного поля проводник отклоняется от вертикального положения. Следовательно, магнитное поле действует только на движущиеся электрические заряды. Исследуем, от чего зависит направление вектора силы, действующей со стороны магнитного поля на прямолинейный проводник с током.

### Экспериментальное задание 19.1

#### Работаем в группе

#### Исследование действия магнитного поля на проводник с током

**Оборудование:** источник постоянного тока, два провода со штекерами, штатив, П-образный провод (рамка), ключ.

**Исследуйте, от чего зависит сила, действующая со стороны магнитного поля на проводник с током.**

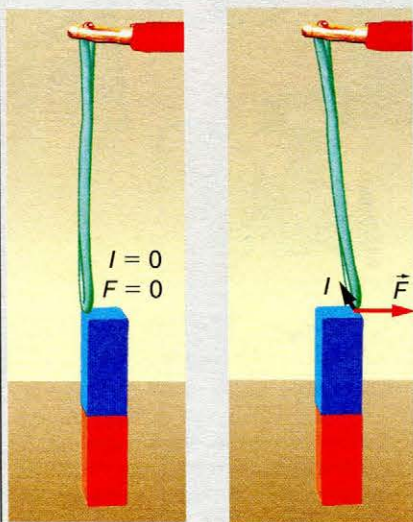


Рис. 19.2

Рис. 19.3

#### Порядок выполнения задания

1. Укрепите на штативе штекеры двух проводов и положите на них зачищенные концы проводника-рамки. Установите под горизонтальным участком рамки вертикально снизу северный полюс магнита (рис. 19.2).

2. Замкните ключ и заметьте направление отклонения рамки (рис. 19.3). Определите, как связано направление вектора силы, действующей со стороны магнитного поля на прямолинейный горизонтальный участок проводника вблизи полюса магнита, с направлением тока в проводнике и направлением силовых линий магнитного поля. Чтобы сформулировать правило определения направления магнитной силы на проводник с током, левую руку расположите так, чтобы силовые линии магнитного поля входили перпендикулярно в ладонь, а четыре распрямленных пальца были расположены параллельно направлению тока в проводнике. Большой палец расположите в плоскости ладони перпендикулярно остальным четырём. Как связаны между собой направление вектора магнитной силы и направление, которое указывает большой палец?



3. Установите южный полюс магнита под горизонтальным участком рамки (рис. 19.4). Замкните ключ и повторите опыт (рис. 19.5). Проверьте, применимо ли полученное в первом опыте правило определения направления магнитной силы на проводник с током в этом случае.

4. Оставив магнит в прежнем положении, поменяйте направление электрического тока в рамке. Пронаблюдайте, изменилось ли направление отклонения рамки. Проверьте, применимо ли полученное в первом опыте правило определения направления магнитной силы на проводник с током в этом случае.

5. Поместите горизонтальный участок проволоочной рамки между разноимёнными полюсами магнитов так, чтобы направление электрического тока в рамке было параллельно силовым линиям магнитного поля. Пронаблюдайте, действует ли в этом случае магнитное поле на проводник.

6. Повторите опыт п. 3, установив под горизонтальным участком рамки два магнита. Увеличивается ли сила магнитного действия на проводник с током при усилении магнитного поля?

7. Увеличением напряжения на концах рамки увеличьте силу тока в проводнике. Увеличивается ли сила магнитного действия на проводник с током при увеличении силы тока в проводнике?

8. Возьмите другую рамку с меньшей длиной горизонтального участка проводника и повторите опыт. Уменьшается ли сила магнитного действия на проводник с током при уменьшении длины проводника?

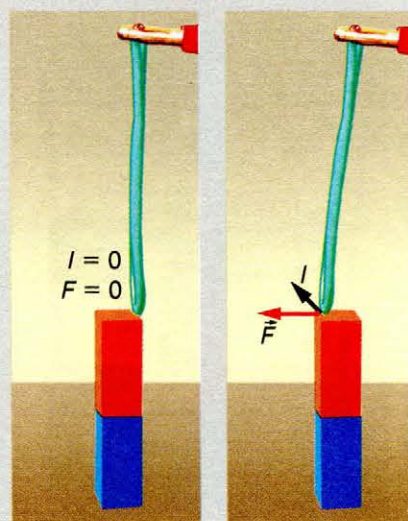


Рис. 19.4

Рис. 19.5

**Сила Ампера.** Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле, называется **силой Ампера**. Направление вектора  $\vec{F}_A$  силы Ампера определяется **правилом левой руки**: если левую руку расположить так, чтобы силовые линии магнитного поля входили перпендикулярно в ладонь, а вытянутые четыре пальца совпадали с направлением тока в проводнике, то отогнутый в плоскости ладони большой палец указывает направление силы Ампера  $\vec{F}_A$ , действующей со стороны магнитного поля на проводник с током (рис. 19.6). опыты показали, что модуль силы Ампера прямо пропорционален силе тока в проводнике, длине проводника и увеличивается с усилением магнитного поля.

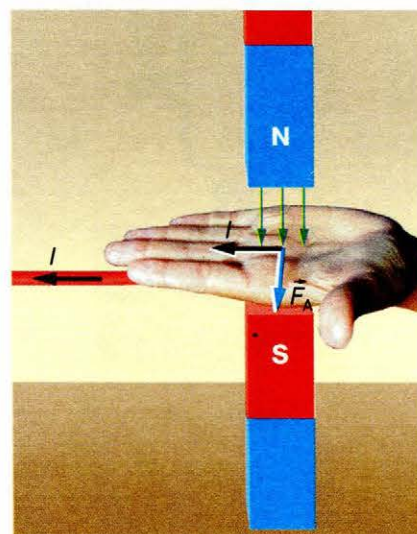


Рис. 19.6

? Вопросы

1. От чего зависит направление силы, действующей на проводник в магнитном поле?
2. По какому правилу можно определить направление вектора силы Ампера на проводник с током в магнитном поле?
3. При каком расположении проводника с током магнитное поле не действует на проводник?
4. От чего зависит модуль силы, действующей на проводник с током в магнитном поле?



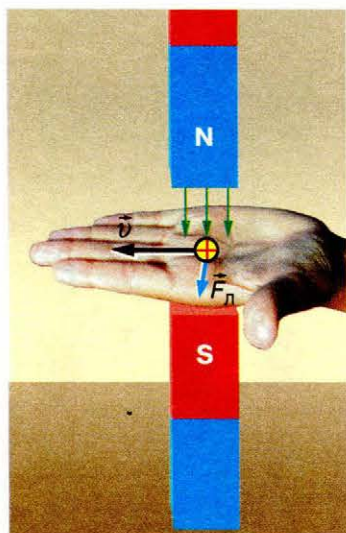


Рис. 19.7

**Сила Лоренца.** Эксперименты показали, что магнитное поле действует на любые движущиеся заряженные частицы, а на неподвижные не действует. Если левую руку расположить так, чтобы силовые линии магнитного поля входили перпендикулярно в ладонь, а вытянутые четыре пальца совпадали с направлением вектора  $\vec{v}$  скорости частицы, то отогнутый в плоскости ладони большой палец указывает направление силы  $\vec{F}_L$ , действующей со стороны магнитного поля на положительно заряженную частицу (рис. 19.7). Эта сила называется **силой Лоренца**.

Действующая на отрицательный заряд сила Лоренца  $\vec{F}_L$  направлена противоположно.

**Магнитное взаимодействие токов.** Из гипотезы Ампера о том, что магнитные свойства постоянных магнитов объясняются существованием круговых электрических токов внутри самих атомов вещества магнита, следовало, что взаимодействие магнитов сводится к взаимодействиям электрических токов.

Если магнитные взаимодействия объясняются взаимодействиями электрических токов, то должно обнаружиться и взаимодействие двух проводников с током. Для доказательства правильности своей гипотезы Ампер выполнил эксперименты по обнаружению взаимодействия токов. Между параллельными токами он обнаружил силы взаимного притяжения, между токами противоположного направления — силы отталкивания. На рисунке 19.8 представлен опыт по обнаружению магнитного взаимодействия параллельных проводников с токами (вид сверху).

После доклада Ампера на заседании Парижской академии наук об открытии взаимодействия электрических токов один из слушателей сказал, что такой опыт вообще можно было не выполнять. Если каждый из двух токов действует на магнитную стрелку, то они должны действовать и друг на друга. На это замечание французский физик Араго достал из кармана два железных ключа и сказал: «Вот каждый из них тоже оказывает действие на магнитную стрелку, однако же они никак не действуют друг на друга». Этот пример показывает, что из действия токов на магнитную стрелку нельзя вывести как обязательное следствие действие токов друг на друга. Ампер открыл новое физическое явление. Явление магнитного взаимодействия электрических токов используется для определения единицы силы электрического тока в Международной системе единиц — *ампера*. Определение ампера дано в § 7.

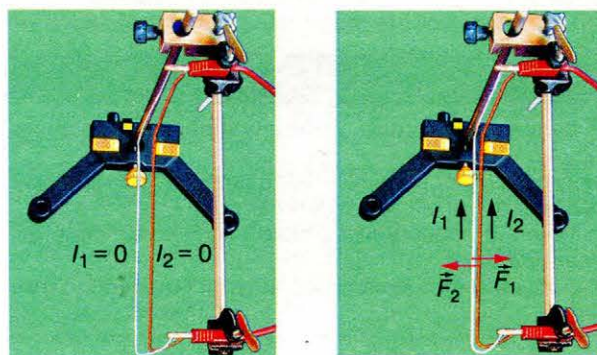


Рис. 19.8



**Экспериментальное задание 19.2**

**Работаем в паре**

**Исследование магнитного взаимодействия токов в катушках**

**Оборудование:** источник постоянного тока, две катушки из медного провода, соединительные проводники, ключ, штатив.

**Исследуйте магнитное взаимодействие токов двух катушек.**

*Порядок выполнения задания*

1. Подвесьте катушки на их подводящих проводниках так, чтобы плоскости витков катушек были расположены вертикально и параллельно друг другу (рис. 19.9, а).

2. Подключите концы подводящих проводников катушек через ключ к источнику постоянного тока. Замкните ключ и наблюдайте магнитное взаимодействие катушек.

3. Измените полярность подключения концов одной из катушек к источнику тока. Замкните ключ и наблюдайте магнитное взаимодействие катушек.

4. Определите, при каких направлениях токов в катушках они притягиваются друг к другу (рис. 19.9, б), а при каких отталкиваются.



Рис. 19.9

**Задача 19.1.** На рисунке 19.10 представлена схема опыта по обнаружению действия магнитного поля на проводник с током. Как направлена сила Ампера в этом опыте?

**Задача 19.2.** На рисунке 19.11 представлена схема опыта по обнаружению действия магнитного поля на движущийся электрический заряд. Как направлена сила Лоренца в этом опыте?

**Задача 19.3.** При пропускании тока через катушку, подвешенную около южного полюса U-образного магнита, она сместилась вправо (рис. 19.12). Определите направление тока в катушке. В каком направлении сместится катушка при изменении направления тока в ней?

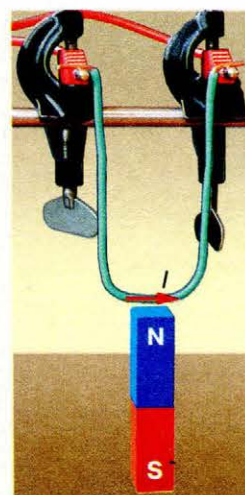


Рис. 19.10

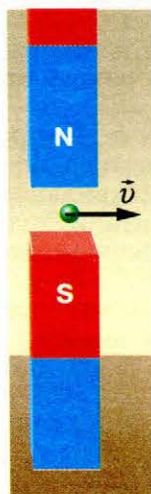


Рис. 19.11

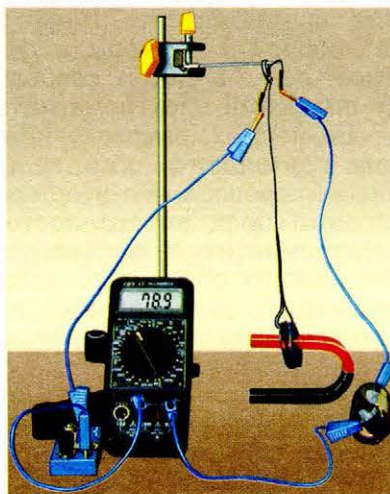


Рис. 19.12



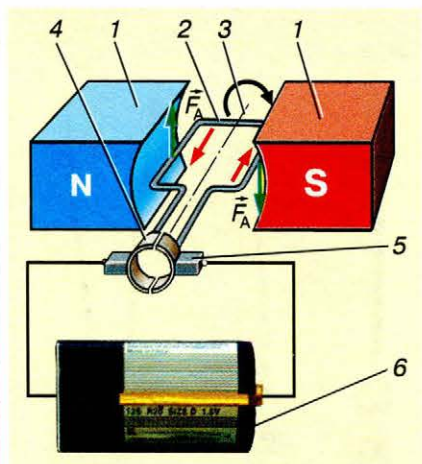


Рис. 20.1

**Рамка с током в магнитном поле.** Явление действия магнитного поля на проводник с током используется в технике для совершения механической работы за счёт электрической энергии в электродвигателе постоянного тока. Принцип действия электродвигателя постоянного тока выясним на упрощённой модели (рис. 20.1). Изогнутый в виде прямоугольной рамки 2 проводник имеет на концах половинки металлического кольца — полукольца 4. Рамка 2 расположена между разноимёнными полюсами магнитов 1. Рамка может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси 3 между полюсами магнита. К полукольцам 4 прижаты скользящие контакты 5.

При пропускании тока на рамку со стороны магнитного поля действуют силы Ампера  $\vec{F}_A$ . Направления тока в двух сторонах рамки противоположны друг другу. Применяв правило левой руки, можно определить, что на левую сторону рамки действует сила Ампера  $\vec{F}_A$ , направленная вертикально вверх, а на правую сторону действует сила Ампера  $\vec{F}_A$ , направленная вертикально вниз. Под действием двух противоположно направленных сил рамка поворачивается вокруг горизонтальной оси 3.

При повороте рамки на  $180^\circ$  контактные полукольца меняются местами, ток в рамке изменяет направление на противоположное. Но при этом и стороны рамки поменялись местами, так что магнитные силы вращают рамку всё время в одном направлении.

На одну рамку в магнитном поле постоянного магнита действуют слабые силы. Для практического применения разработана машина, называемая электродвигателем постоянного тока.

**Электродвигатель постоянного тока.** Принцип действия электродвигателя постоянного тока основан на вращении рамки с током в магнитном поле. Для увеличения действующих сил Ампера в электродвигателе имеется несколько отличий от упрощённой схемы, изображённой на рисунке 20.1.

Внешний вид электродвигателя постоянного тока представлен на рисунке 20.2. Цифрой 1 обозначен сердечник электромагнита, цифрой 2 — обмотка электромагнита, цифрой 3 — якорь, цифрой 4 — обмотка якоря. Якорь имеет ось 7 и может свободно вращаться вокруг неё между полюсами электромагнита.

Во-первых, вместо одного проводника в электродвигателе применяется обмотка из многих десятков или сотен витков провода. Во-вторых, для создания сильного магнитного поля вместо постоянного магнита используется электромагнит. В-третьих, для сосредоточения магнитного поля вокруг обмотки её провод наматывается на железный сердечник, заполняющий пространство между полюсами электромагнита. Этот железный сердечник вместе с обмоткой называется якорем электродвигателя. В-четвёртых, на якоре имеется не одна обмотка, а несколько. Концы каждой обмотки якоря выведены к двум противоположно расположенным контактам, которые изолированы от контактов других обмоток и образуют вокруг оси якоря цилиндрическую систему выводов обмоток, называемую

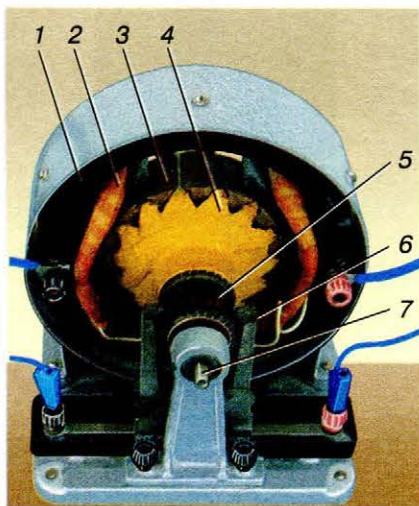


Рис. 20.2



коллектором. К контактам коллектора 5 прижимаются две графитовые или медные пластины 6, называемые щётками.

При соединении щёток с полюсами источника тока в проводах обмотки якоря возникает электрический ток. На провода обмотки со стороны магнитного поля действуют силы Ампера и приводят якорь во вращение. При повороте якоря на небольшой угол контакт щёток с одной обмоткой разрывается и сразу же подключаются концы следующей обмотки. К источнику тока постоянно оказываются подключённой та обмотка, на провода которой действуют наибольшие силы Ампера.

Скорость вращения якоря и мощность электродвигателя постоянного тока легко регулируются изменением силы тока в обмотках, направление вращения якоря изменяется путём изменения полярности напряжения на щётках.

**?** **Вопросы**

1. Каков принцип работы электродвигателя постоянного тока?
2. Для чего в электродвигателе нужно несколько обмоток на якоре?
3. Для чего в электродвигателе нужен коллектор?
4. Как можно изменить направление вращения якоря в электродвигателе?
5. Как можно изменить скорость вращения якоря в электродвигателе?

**Экспериментальное задание 20.1**

**Работаем самостоятельно**

**Изучение принципа действия электродвигателя постоянного тока**

**Оборудование:** электродвигатель, источник постоянного тока, реостат, амперметр, соединительные провода, ключ.

**Изучите принцип действия электродвигателя постоянного тока.**

*Порядок выполнения задания*

1. Изучите устройство электродвигателя. Подключите электродвигатель к источнику тока и заметьте направление вращения якоря мотора (рис. 20.3).

2. Измените полярность подключения щёток электродвигателя к источнику тока. Посмотрите, изменилось ли направление вращения якоря. Объясните результат опыта.

3. Включите последовательно с электродвигателем реостат и амперметр. Изменяя силу тока в обмотке электродвигателя, наблюдайте, как изменяется при этом скорость вращения якоря.

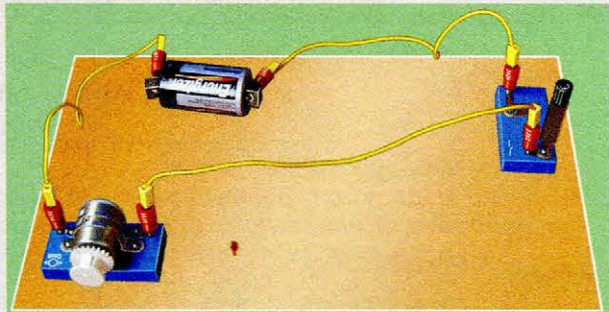


Рис. 20.3

**Задача 20.1.** На рисунке 20.4 представлена схема расположения прямоугольной проволочной рамки в магнитном поле постоянного магнита. Определите направления векторов сил Ампера, действующих на рамку в точках 1 и 2. В каком направлении повернётся рамка под действием этих сил?

**Конструкторское задание**

Изготовьте, с вашей точки зрения, лучшую модель электродвигателя постоянного тока и сравните её с моделями, сделанными вашими одноклассниками.

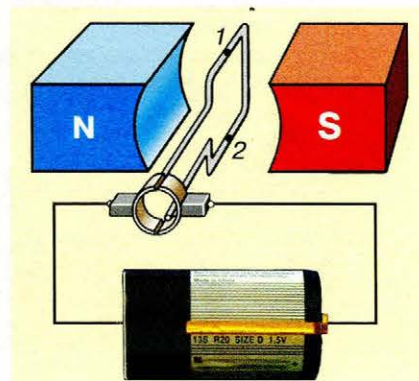


Рис. 20.4





Рис. 20.5

**Применение электродвигателей.** Электродвигатели постоянного тока применяются на транспорте, во многих бытовых электроприборах. Трамваи и троллейбусы приводятся в движение электродвигателями постоянного тока, питаемыми от контактной сети напряжением 600 В. Они имеют очень важное в городских условиях преимущество перед автобусами, так как совершенно не загрязняют атмосферу. Для подземного транспорта — метрополитена — электродвигатель является единственным возможным для применения.

На железнодорожном транспорте тепловозы вытесняются электровозами, которые не загрязняют окружающую среду, не требуют организации сети хранилищ топлива и затрат времени на периодическую заправку топливом. В России создан электровоз нового поколения 2ЭС6, мощность двигателя которого равна 800 кВт (рис. 20.5). Особенностью этого электровоза является компьютерная система автоматического управления торможением поездов, исключающая возможность движения на запрещающие сигналы и превышения предельных значений скорости, допустимых на каждом участке пути.

## Экспериментальное задание 20.2

### Работаем в паре

#### Измерение полезной мощности электродвигателя постоянного тока

**Оборудование:** электродвигатель, источник постоянного тока, соединительные провода, ключ, деревянный блок, набор грузов, динамометр, нить, секундомер.

**Определите полезную мощность электродвигателя при перемещении деревянного бруска по поверхности стола.**

#### Порядок выполнения задания

1. Положите деревянный брусок на один край стола, электродвигатель поставьте на другой край. Один конец нити привяжите к крючку на бруске, другой конец — к шкиву на оси электродвигателя (рис. 20.6).

2. Подключите электродвигатель к источнику тока. Подберите максимальный груз на бруске, с которым электродвигатель способен перемещать брусок.

3. Измерьте динамометром силу упругости  $F$ , действующую на брусок с грузом при равномерном движении по поверхности стола. Измерьте путь  $s$  бруска при его движении от края стола до электродвигателя. Вычислите полезную работу  $A_{\text{пол}}$ , совершённую электродвигателем:  $A_{\text{пол}} = Fs$ .

4. Измерьте время  $t$ , за которое электродвигатель перемещает брусок на расстояние  $s$ . Вычислите полезную мощность  $N_{\text{пол}}$  электродвигателя:

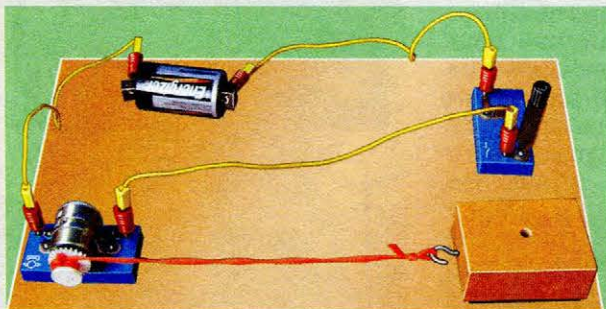


Рис. 20.6

$$N_{\text{пол}} = \frac{A_{\text{пол}}}{t}$$



На многих кораблях, использующих тепловые двигатели и ядерные реакторы, тепловые машины не приводят непосредственно в движение гребной винт, а приводят в действие генератор электрического тока. Вращение гребного винта осуществляется электродвигателем. Такая многоступенчатая система используется потому, что скорость вращения электродвигателя значительно проще изменять, чем скорость вращения ротора турбины.

### Экспериментальное задание 20.3

#### Работаем самостоятельно

#### Определение коэффициента полезного действия электродвигателя постоянного тока

**Оборудование:** электродвигатель, источник постоянного тока, соединительные провода, ключ, деревянный блок, набор грузов, динамометр, нить, секундомер, амперметр, вольтметр.

**Определите коэффициент полезного действия электродвигателя постоянного тока.**

#### Порядок выполнения задания

1. Определите полезную мощность  $N_{\text{пол}}$  электродвигателя способом, описанным в экспериментальном задании 20.2.

2. Подключите вольтметр параллельно электродвигателю, а амперметр последовательно с ним (рис. 20.7). Измерьте силу тока  $I$ , потребляемую электродвигателем, и напряжение  $U$  на нём. Вычислите потребляемую электродвигателем полную мощность  $N_{\text{полн}}$ :

$$N_{\text{полн}} = IU.$$

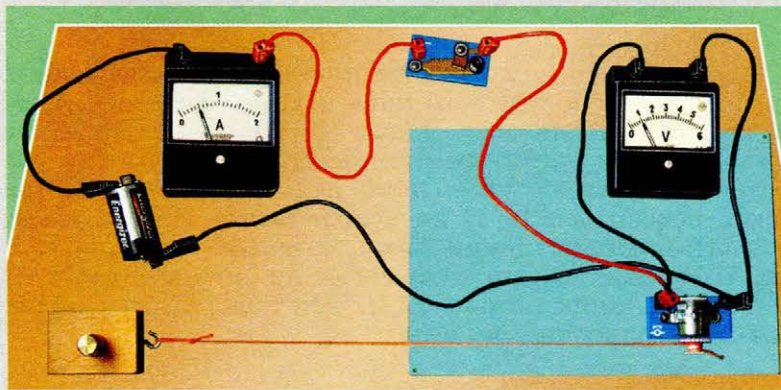


Рис. 20.7

3. Вычислите коэффициент полезного действия электродвигателя постоянного тока:

$$\eta = \frac{N_{\text{пол}}}{N_{\text{полн}}}.$$

#### Вопросы

1. Одинаковую ли работу совершает электродвигатель при равномерном перемещении бруска на одинаковое расстояние, но с большей скоростью?
2. Как изменяется мощность электродвигателя при увеличении скорости перемещения одного и того же груза?
3. В чём преимущество использования электродвигателей на транспорте по сравнению с тепловыми машинами?
4. Почему на морских кораблях с тепловыми двигателями или ядерными реакторами вырабатываемую энергию преобразуют в электрическую энергию и осуществляют вращение гребных винтов с помощью электродвигателей?



## §21. Электромагнитная индукция

После открытия действия электрического тока на магнит английский физик Майкл Фарадей высказал гипотезу о возможности создания электрического тока в проводнике действием магнита. В 1831 г., через 8 лет, после многочисленных экспериментов он доказал правильность своей гипотезы.

Фарадей использовал две изолированные друг от друга катушки медного провода, намотанные на общий железный сердечник. Концы первой катушки соединялись проводом, около которого находилась магнитная стрелка. Провод располагался над стрелкой параллельно ей.

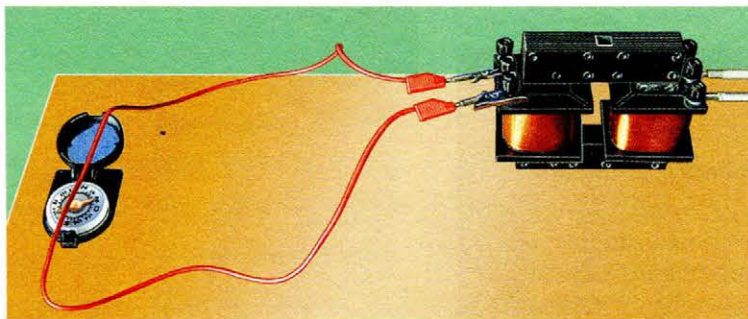


Рис. 21.1

катушке возникает при любых изменениях магнитного поля внутри витков катушки. Изменения магнитного поля можно вызвать, вдвигая постоянный магнит или электромагнит в катушку или удаляя его из неё. При приближении магнита к катушке сбоку или его удалении, когда силовые линии магнитного поля не проходят внутрь витков катушки, индукционный ток не возникает.

Фарадей заметил, что направление тока зависит от направления движения магнита относительно катушки и от полюса магнита. Сила тока в катушке увеличилась при увеличении скорости движения магнита.

Явление возникновения электрического тока в катушке при изменении внешнего магнитного поля внутри катушки Фарадей назвал электромагнитной индукцией.

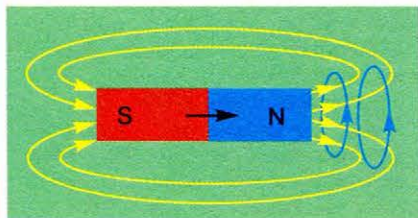


Рис. 21.2

Для возникновения электрического тока в проводнике при изменении магнитного поля на электрические заряды должна действовать сила. Какая же это сила? На неподвижные заряды магнитное поле не действует. Следовательно, при изменении магнитного поля возникает электрическое поле и действует на неподвижные заряды. Оказалось, что силовые линии этого поля (голубые линии на рис. 21.2) замкнуты вокруг силовых линий магнитного поля (жёлтые линии на рис. 21.2). Это поле назвали **вихревым электрическим полем**.

### ? Вопросы

1. Какое физическое явление называется электромагнитной индукцией?
2. Какая гипотеза Фарадея привела к открытию электромагнитной индукции?
3. В каком опыте Фарадей открыл явление электромагнитной индукции?



## Экспериментальное задание 21.1

### Работаем в группе

#### Исследование явления электромагнитной индукции

**Оборудование:** две катушки, железный сердечник, постоянный магнит, миллиамперметр, провода, источник постоянного тока, ключ.

**Исследуйте, при каких условиях в электрической цепи возникает индукционный ток и от чего зависят направление и сила тока.**

#### Порядок выполнения задания

1. Расположите рядом две катушки. Соедините концы первой катушки с клеммами миллиамперметра, концы второй катушки через ключ с полюсами источника постоянного тока. Понаблюдайте за показаниями миллиамперметра в цепи первой катушки при замыкании и размыкании цепи второй катушки (рис. 21.3).

2. Вставьте железный сердечник внутрь катушек и повторите опыт (рис. 21.4).

3. Соедините концы одной катушки с клеммами миллиамперметра. Введите магнит южным полюсом в катушку, а затем удалите его (рис. 21.5). Пронаблюдайте, что происходит со стрелкой миллиамперметра в обоих случаях.

4. Выполните такие же опыты, поднося магнит северным полюсом к катушке.

5. Повторите опыты, оставив магнит неподвижным и двигая катушку (рис. 21.6).

6. Исследуйте, зависит ли сила индукционного тока в катушке от скорости движения магнита.

7. Расположите южный полюс магнита против середины катушки перпендикулярно её оси (рис. 21.7), затем отодвиньте магнит от катушки. Возникает ли индукционный ток при таком движении магнита?



Рис. 21.3



Рис. 21.4

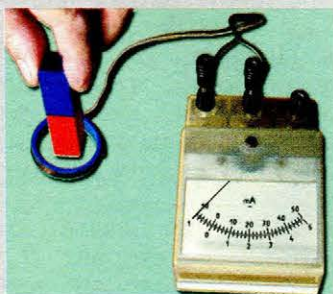


Рис. 21.5

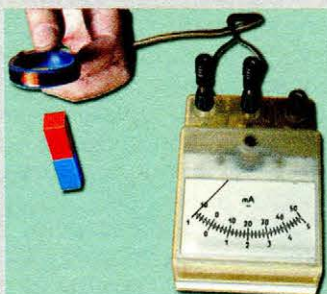


Рис. 21.6

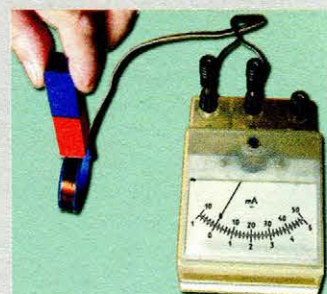
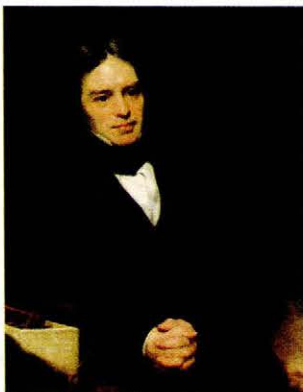


Рис. 21.7

### ? Вопросы

1. При каких условиях возникает индукционный ток в катушке?
2. Как изменяется сила индукционного тока в проводнике при увеличении скорости его движения относительно магнитного поля?
3. Почему сила индукционного тока увеличивается при введении в катушку железного сердечника?
4. От чего зависит направление индукционного тока?
5. В каком случае перемещение магнита относительно катушки не вызывает индукционного тока?





Майкл Фарадей

**История открытия явления электромагнитной индукции.** Открытия Эрстеда и Ампера, в которых было обнаружено порождение магнитных явлений электрическими токами, наталкивали на мысль о возможности существования и обратного явления. Одним из тех, кому пришла в голову такая мысль, был Майкл Фарадей, сын кузнеца, разносчик газет, переплётчик, самоучка, самостоятельно изучавший химию и физику по книгам, лаборант выдающегося химика Гемфри Деви и, наконец, учёный. В 1823 г. Фарадей записал в своём дневнике: «Обратить магнетизм в электричество».

В книге «Экспериментальные исследования по электричеству» Фарадей так описал ход своих мыслей: «...Представляется весьма необычайным, чтобы, с одной стороны, всякий электрический ток сопровождался магнитным действием соответствующей интенсивности, направленным под прямым углом к току, и чтобы в то же время в хороших проводниках электричества, помещённых в сферу этого действия, совсем не индуцировался ток, не возникало какое-либо ощутимое действие, эквивалентное по силе такому току.

Эти рассуждения и вытекающая из них как следствие надежда получить электричество при помощи обыкновенного магнетизма в разные времена побуждали меня экспериментально изучить индуктивное действие электрических токов».

Эту задачу он решил через 8 лет.

В рабочем дневнике Фарадея 29 августа 1831 г. появилась следующая запись: «...2. Взял железное кольцо (мягкое железо) с внешним диаметром в 6 дюймов из круглого железа толщиной 7/8 дюйма. На одну половину его намотал много витков медной проволоки, причём витки были изолированы друг от друга хлопчатобумажной нитью и прокладкой из хлопчатобумажной ткани. Было намотано 3 куска проволоки, каждый около 24 футов длиной, и их можно было соединять в одну обмотку или использовать каждый отдельно. В опыте со сложной батареей каждый был изолирован от другого. Назовём эту сторону кольца *A* (рис. 21.8). Вокруг другой стороны, отделённой, однако, некоторым промежутком, намотал два куска проволоки общей длиной около 60 футов, причём направление витков такое же, как в первой обмотке, эту сторону назовём *B*.

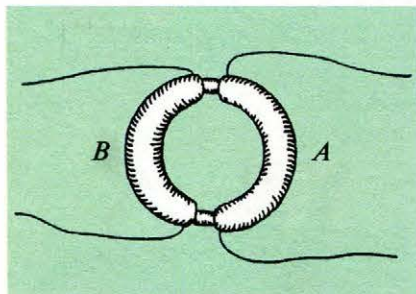


Рис. 21.8

3. Зарядил батарею, состоящую из 10 пар пластин по 4 квадратных дюйма. Соединил обмотки на стороне *B* в одну обмотку, концы её замкнул медной проволокой, проходящей на некотором расстоянии как раз над магнитной стрелкой (в 3 футах от железного кольца). Затем соединил кольца одной из обмоток на стороне *A* с батареей: немедленно — заметное влияние на стрелку. Она колебалась, а в конце концов вернулась в начальное положение. При размыкании соединения между стороной *A* и батареей — снова отклонение стрелки».

Затем Фарадей обнаружил возникновение тока в катушке при поднесении к ней постоянного магнита и при удалении магнита и установил, что сила индукционного тока пропорциональна скорости движения магнита отно-



сительно катушки или катушки относительно магнита. Новое физическое явление было названо **электромагнитной индукцией**.

Фарадей обнаружил, что в катушке с железным сердечником, установленной вдоль силовой линии магнитного поля Земли, при повороте на  $180^\circ$  возникает индукционный ток. Установив в этом опыте возможность «...получения электричества из магнетизма земного шара», Фарадей разработал проект электрогенератора.

## Экспериментальное задание 21.2

### Работаем самостоятельно

#### Обнаружение индукционного тока в магнитном поле Земли

**Оборудование:** катушка, железный сердечник, миллиамперметр, провода, компас.

**Выполните опыт Фарадея по обнаружению индукционного тока в катушке при её повороте в магнитном поле Земли.**

#### Порядок выполнения задания

1. Возьмите катушку школьного разборного трансформатора на 220 В, расположите вертикально и вставьте в неё железный сердечник. Выводы катушки соедините проводниками с клеммами миллиамперметра (рис. 21.9).

Вертикальное положение катушки выбирают потому, что силовые линии магнитного поля Земли в средних широтах расположены под большим углом к горизонтальной плоскости. В этом случае большие изменения магнитного поля в катушке происходят при поворачивании катушки на  $180^\circ$  вокруг горизонтальной оси, чем при повороте вокруг вертикальной оси.

2. Резко поверните катушку на  $180^\circ$  вокруг горизонтальной оси. Заметьте направление отклонения стрелки миллиамперметра (рис. 21.10).

3. Верните катушку в исходное положение и заметьте направление отклонения стрелки миллиамперметра. Объясните результаты опытов.

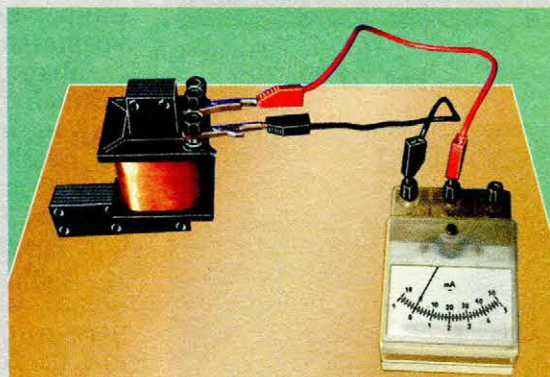


Рис. 21.9

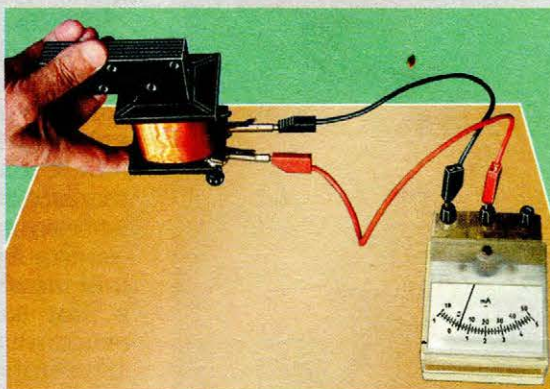


Рис. 21.10



### Конструкторское задание

Придумайте конструкцию генератора электрического тока с использованием магнитного поля Земли.



### Прочитайте

Закон электромагнитной индукции// Энциклопедия для детей. Физика. — М.: Аванта+, 2001.— Т. 16. — Ч. 2.— С. 44—47.



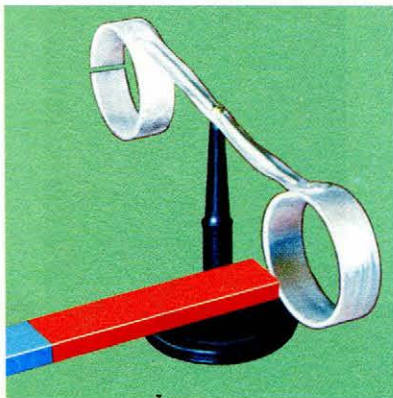


Рис. 22.1

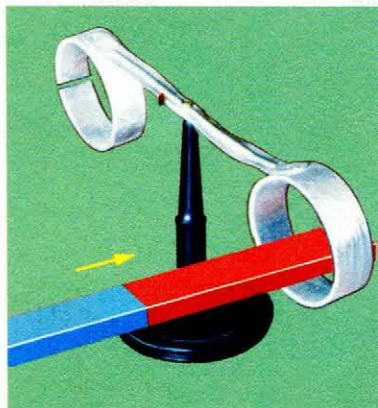


Рис. 22.2

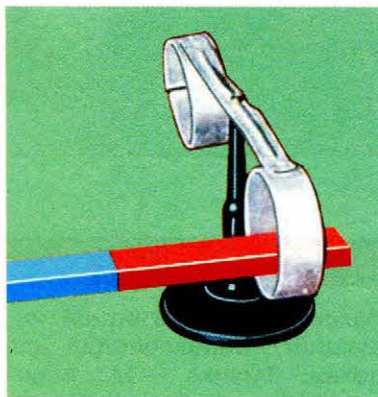


Рис. 22.3

**Опыты с магнитом и алюминиевым кольцом.** В опытах по обнаружению явления электромагнитной индукции было замечено, что магнитная стрелка изменяет направление своего отклонения под действием индукционного тока при изменении полюса движущегося магнита и направления движения магнита. Изменение направления отклонения магнитной стрелки происходит при изменении направления индукционного тока.

Найдём экспериментально правило определения направления индукционного тока в витке провода по заданному направлению движения полюса магнита. Для опытов используем прибор, состоящий из двух алюминиевых колец, которые скреплены алюминиевой пластиной. Она опирается в середине на остриё иглы и может свободно вращаться под действием очень малых сил.

Выполним первый опыт. Поместим перед кольцом южный полюс полосового постоянного магнита. Алюминий не магнитный материал — кольцо не притягивается и не отталкивается магнитом. Кольцо остаётся неподвижным (рис. 22.1). Быстро введём красный полюс магнита в кольцо. Кольцо медленно отодвигается от магнита, прибор вращается (рис. 22.2).

Выполним второй опыт. Медленно введём южный полюс магнита в кольцо и, когда оно станет неподвижным относительно магнита (рис. 22.3), резко удалим магнит из кольца. Кольцо приходит в движение вслед за магнитом (рис. 22.4).

Попробуйте объяснить результаты этих двух опытов и предложите дополнительные эксперименты для проверки правильности вашего объяснения.

Рассматривая алюминиевое кольцо как катушку из одного витка провода, можно утверждать, что при движении магнита в кольце возникает индукционный электрический ток. Поэтому можно предположить, что отталкивание кольца от магнита при его введении в кольцо и притяжение к магниту при его удалении из кольца обусловлены взаимодействием индукционного тока с магнитным полем постоянного магнита.

Эту гипотезу можно проверить на опыте с другим кольцом прибора. Это кольцо разрезано — индукционный ток в нём возникнуть не может. Поэтому движение магнита относительно разрезанного кольца не должно вызывать его движения. Так и происходит в опыте (рис. 22.5 и 22.6).

Гипотеза о взаимодействии индукционного тока с порождающим его изменяющимся магнитным полем подтверждена экспериментом. Теперь с помощью обнаруженного явления взаимодействия индукционного тока с магнитным полем можно определить направление индукционного тока.

**Правило определения направления индукционного электрического тока.** При введении магнита в кольцо между магнитом и кольцом действуют силы отталкивания. Значит, магнитное поле индукционного тока в кольце подобно полю постоянного магнита, обращённого одним полюсом к вводимому в кольцо магниту. На рисунке 22.7 такой магнит изображён условно на поверхности кольца. Зная направление силовых линий магнитного



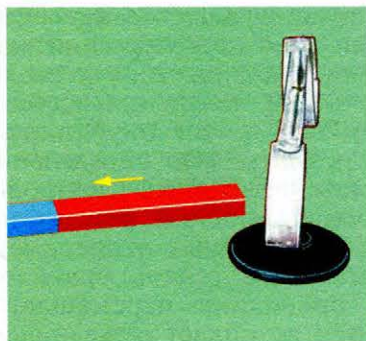


Рис. 22.4

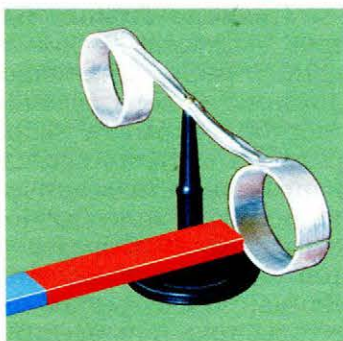


Рис. 22.5

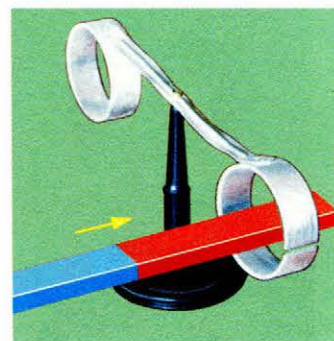


Рис. 22.6

поля, по правилу винта можно определить направление индукционного тока в кольце.

При выведении магнита из кольца между магнитом и кольцом действуют силы притяжения. Значит, магнитное поле индукционного тока в кольце подобно полю постоянного магнита, обращённого противоположным полюсом к выводимому из кольца магниту (рис. 22.8). По направлению силовых линий магнитного поля определяется направление индукционного тока в кольце.

На основе анализа результатов опытов Фарадея и своих собственных экспериментов русский физик Эмиль Христианович Ленц сформулировал общее правило для определения направления индукционного тока.

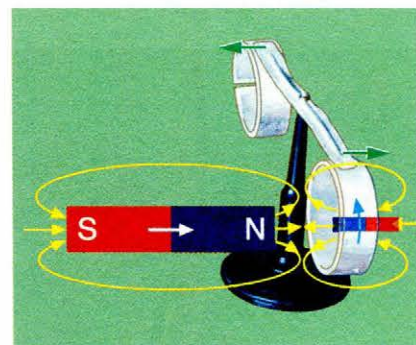


Рис. 22.7

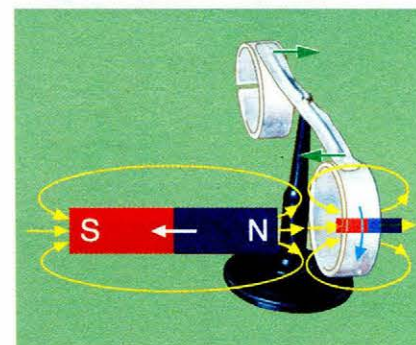


Рис. 22.8

Индукционный ток всегда имеет такое направление, что его магнитное поле препятствует тем действиям, которые вызывают появление индукционного тока.

В соответствии с этим правилом при введении магнита в кольцо или в проволочную катушку любым полюсом магнитное поле индукционного тока отталкивает магнит, препятствуя его движению. При выведении любого полюса магнита из кольца или из проволочной катушки магнитное поле индукционного тока притягивает магнит, препятствуя его движению.

**Задача 22.1.** Направление индукционного тока в алюминиевом кольце при введении в него северного полюса магнита показано на рисунке 22.7 голубой стрелкой. Каким будет направление индукционного тока в этом кольце при введении в него южного полюса магнита?

Каким будет направление индукционного тока в этом кольце при удалении из него южного полюса магнита?

### ? Вопросы

1. Чем объясняется отталкивание алюминиевого кольца при введении в него магнита и притяжение к магниту при его удалении из кольца?
2. Почему разрезанное алюминиевое кольцо не взаимодействует с движущимся магнитом?
3. По какому правилу можно определить направление индукционного тока в проводнике?





Эмиль Христианович Ленц



Рис. 22.9



Рис. 22.10

**Правило Ленца.** Важный вклад в исследование явления электромагнитной индукции внёс петербургский академик Эмиль Христианович Ленц. Он приступил к исследованию нового явления сразу после получения сообщения об открытии Фарадея. В 1833 г. он опубликовал результаты своих исследований в статье «Об определении направления гальванических токов, вызванных электродинамической индукцией». На основе анализа результатов исследований Фарадея и своих собственных экспериментов Ленц открыл закон, называемый теперь правилом Ленца: «Если металлический проводник перемещается вблизи тока или магнита, то в нём возникает гальванический ток. Направление этого (возбуждённого) тока таково, что покоящийся провод пришёл бы от него в движение, прямо противоположное действительному перемещению».

Отсюда следовало, что для создания индукционного электрического тока необходимо совершить механическую работу против сил, препятствующих перемещению магнита или проводника. Открытый Ленцем закон показывает, что магнит сам по себе не может создавать электрический ток и потому не может служить неиссякаемым источником энергии путём создания индукционного электрического тока. Энергия индукционного тока не создаётся магнитным полем, а возникает за счёт работы, совершаемой внешними силами при перемещении проводника в магнитном поле или источника магнитного поля относительно проводника.

**Задача 22.2.** На рисунке 22.9 показано расположение катушки из медного провода, подвешенной против сплошного алюминиевого кольца. Через катушку течёт постоянный ток, направление тока в катушке показано жёлтой стрелкой. Возникнет ли индукционный ток в алюминиевом кольце при движении к нему этой катушки?

Если индукционный ток возникнет, то каким будет направление тока в кольце?

Какие силы взаимодействия возникнут при этом между катушкой и кольцом — притяжения или отталкивания?

**Задача 22.3.** На рисунке 22.10 показано расположение катушки из медного провода, подвешенной против сплошного алюминиевого кольца. Через катушку течёт ток, направление тока в катушке показано жёлтой стрелкой. Возникнет ли индукционный ток в алюминиевом кольце, если сила тока в катушке увеличивается с течением времени, а катушка неподвижна относительно кольца?

Если индукционный ток возникнет, то каким будет направление тока в кольце?

Какие силы взаимодействия возникнут при этом между катушкой и кольцом — притяжения или отталкивания?

**Задача 22.4.** На рисунке 22.11 показано расположение двух катушек из медного провода на общем стальном сердечнике. При подключении верхней катушки к источнику тока в ней возникает электрический ток, направление тока указано на катушке красной стрелкой. Возникнет ли индукционный ток в нижней катушке, концы которой соединены проводом? Если индукционный ток возникнет, каким будет направление тока в ней?



**Задача 22.5.** На рисунке 22.12 показано расположение двух катушек на общем стальном сердечнике. При подключении правой катушки к источнику тока в ней возникает электрический ток, направление тока указано на катушке синей стрелкой. Возникнет ли индукционный ток в левой катушке, концы которой соединены проводом? Если индукционный ток возникнет, каким будет направление тока в ней?

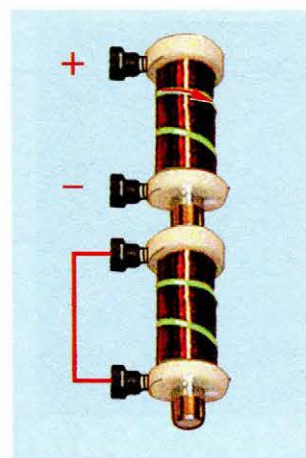


Рис. 22.11

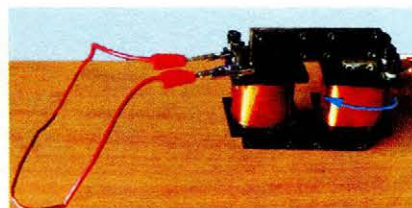


Рис. 22.12

**Экспериментальное задание 22.1**

**Работаем самостоятельно**

**Определение направления индукционного электрического тока**

**Оборудование:** прибор Ленца, полосовой постоянный магнит.

**Используйте прибор Ленца с двумя алюминиевыми кольцами, скреплёнными алюминиевой пластиной и свободно вращающимися на острие иглы. Выполните опыты с введением магнита в кольцо и удалением его из кольца.**

*Порядок выполнения задания*

1. Введите магнит в сплошное кольцо северным полюсом. В случае притяжения кольца к магниту в столбце «Взаимодействие» таблицы поставьте знак «+», в случае отталкивания кольца от магнита — знак «-», при отсутствии взаимодействия — 0.
2. Удалите северный полюс магнита из сплошного кольца.
3. Введите магнит в сплошное кольцо южным полюсом.
4. Удалите южный полюс магнита из сплошного кольца.
5. Повторите все опыты с разрезанным кольцом.

**Таблица 22.1**

Сплошное кольцо		
Полюс магнита	Движение	Взаимодействие
Северный	Введение	
	Выведение	
Южный	Введение	
	Выведение	

6. На основе выполненных опытов сформулируйте правило определения направления индукционного тока в витке провода.

**? Вопросы**

1. Что нового открыл Э. Х. Ленц при исследовании явления электромагнитной индукции?
2. Сформулируйте правило Ленца.
3. Чем объясняется подчинение направления индукционного тока правилу Ленца?
4. Какая связь существует между правилом Ленца и законом сохранения энергии?



## §23. Самоиндукция

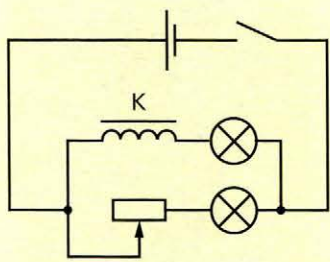


Рис. 23.1

**Опыт с катушкой и лампой.** Продолжим изучение явления электромагнитной индукции рассмотрением результатов одного эксперимента. Соберём электрическую цепь по схеме, представленной на рисунке 23.1. В этой цепи к источнику постоянного тока напряжением 4 В через ключ подключены два параллельных участка цепи. На одном из них последовательно соединены электрическая лампа и переменный резистор — реостат для регулирования силы тока. На другом последовательно соединены электрическая лампа и катушка провода с железным сердечником, обозначенная на схеме буквой «К». (Если используется катушка без железного сердечника, то она обозначается условно изображёнными витками провода без прямой линии вдоль витков.) Лампы в параллельных участках цепи одинаковые. Собрав такую цепь и замкнув ключ, с помощью переменного резистора добьёмся одинаковой яркости свечения ламп в двух параллельных участках цепи (рис. 23.2). Одинаковая яркость свечения одинаковых ламп показывает, что в параллельных участках цепи сила тока одинаковая. Следовательно, параллельные участки цепи имеют одинаковое электрическое сопротивление.

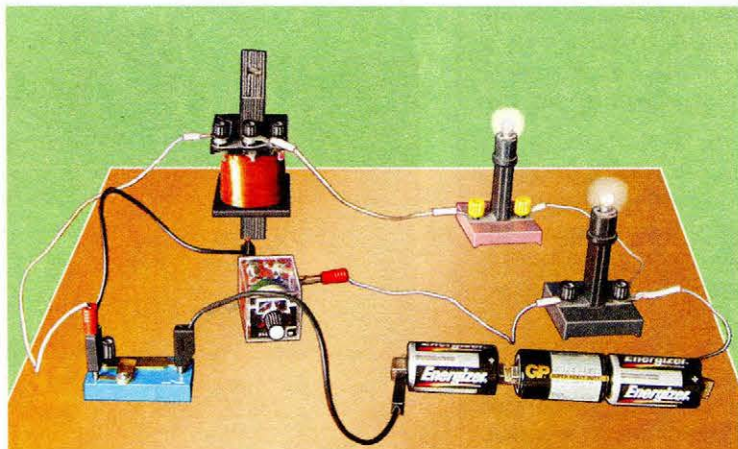


Рис. 23.2

Приступим теперь к основному эксперименту. Сначала разомкнём электрическую цепь, а затем вновь замкнём. Опыт показывает, что электрическая лампа, включённая последовательно с переменным резистором, вспыхивает сразу после замыкания цепи. Лампа, включённая последовательно с катушкой, в момент включения сразу не загорается (рис. 23.3), а начинает светить с некоторым запаздыванием после замыкания цепи. Попробуйте самостоятельно объяснить это новое физическое явление.

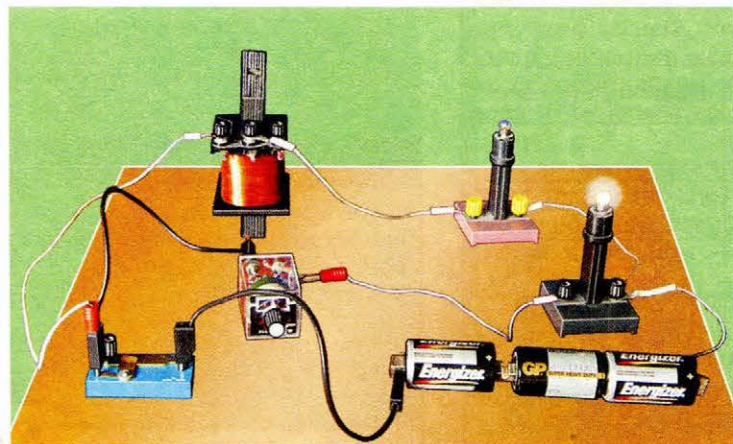


Рис. 23.3

**Самоиндукция.** Для объяснения явления запаздывания зажигания лампы, включённой последовательно с катушкой, можно предложить следующую гипотезу. Явление электромагнитной индукции состоит в том, что любое изменение магнитного поля вокруг проводника приводит к возникновению индукционного электрического тока в этом проводнике. При подключении электрической цепи к источнику тока в проводах возникает электрический ток и за очень короткое время достигает постоянного значения, определяемого по закону Ома. Возникающий ток создаёт вокруг себя магнитное поле,



возрастающее со временем. Изменяющееся магнитное поле создаёт в любых проводниках индукционные электрические токи. Индукционный ток должен возникать также и в том проводнике, в котором протекает ток, создающий магнитное поле. По правилу Ленца этот индукционный ток имеет такое направление, что создаваемое им магнитное поле должно препятствовать действию, вызывающему индукционный ток. Таким действием при включении цепи является возрастание магнитного поля. Чтобы магнитное поле не возрастало, индукционный ток должен создавать магнитное поле с противоположно направленными силовыми линиями. Поэтому при возрастании силы тока (при включении) направление в проводнике индукционного тока, создаваемого самим током, противоположно направлению первичного тока. В результате при замыкании электрической цепи суммарный ток в проводнике меньше рассчитываемого по закону Ома за счёт возникновения индукционного тока противоположного направления.

Однако почему запаздывание увеличения силы тока заметно в цепи с катушкой и незаметно в цепи с резистором с таким же электрическим сопротивлением?

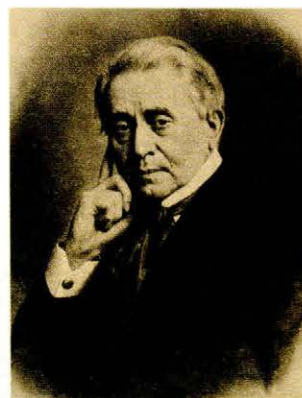
Магнитное поле в катушке с железным сердечником много сильнее поля прямого проводника и потому порождает значительно больший индукционный ток.

Проверкой правильности такой гипотезы о причине запаздывания момента зажигания лампы после момента замыкания цепи с катушкой может быть эксперимент по обнаружению индукционного тока в цепи катушки при размыкании ключа, соединяющего катушку с источником тока. Действительно, при размыкании электрической цепи магнитное поле вокруг проводников с током уменьшается. Это изменение магнитного поля должно порождать индукционный ток в проводниках такого направления, при котором по правилу Ленца магнитное поле индукционного тока будет препятствовать изменению магнитного поля первичного тока. Противодействие уменьшению магнитного поля вокруг проводника происходит при возникновении индукционного тока, текущего в том же направлении в проводнике, в каком протекал первичный ток до размыкания цепи.

Опыты по обнаружению индукционного тока при размыкании электрической цепи полностью подтверждают высказанную гипотезу.

Явление возникновения в проводнике индукционного тока, вызванного изменениями силы тока в этом проводнике, называется самоиндукцией.

Это явление было открыто талантливым американским учёным-самоучкой Джозефом Генри практически одновременно с открытием явления электромагнитной индукции Фарадеем.



Джозеф Генри



Электромагнит, изготовленный Генри, мог поднять груз массой 1 т.

## ? Вопросы

1. В каком опыте наблюдается явление самоиндукции при замыкании электрической цепи?
2. Почему лампа, включённая последовательно с катушкой, зажигается с отставанием от момента замыкания электрической цепи?





### Творческое задание

Придумайте и выполните опыт для проверки предположения о возможности возникновения явления самоиндукции при выключении тока в электрической цепи.

Для выполнения опыта можете использовать приборы, имеющиеся в кабинете физики.

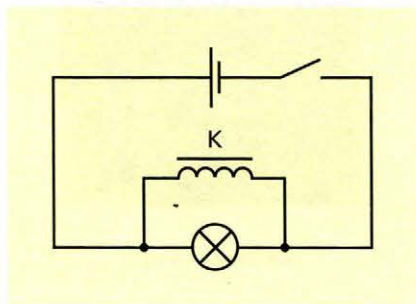


Рис. 23.4

**Самоиндукция при размыкании электрической цепи.** Один из возможных вариантов опыта для обнаружения явления самоиндукции при выключении тока в электрической цепи можно выполнить, используя катушку с железным сердечником, электрическую лампу, источник постоянного тока и ключ.

Лампа включается параллельно катушке (рис. 23.4).

Напряжение источника должно быть таким, чтобы при замыкании ключа лампа светила слабо (рис. 23.5).

При отключении лампы и катушки от источника тока лампа должна погаснуть. Но на опыте при размыкании цепи лампа ярко вспыхивает, обнаруживая возникновение индукционного тока в катушке (рис. 23.6).

Более яркая вспышка лампы показывает, что при размыкании электрической цепи индукционный ток в катушке может создать напряжение между концами катушки, большее напряжения источника тока, создавшего первичный ток в катушке.

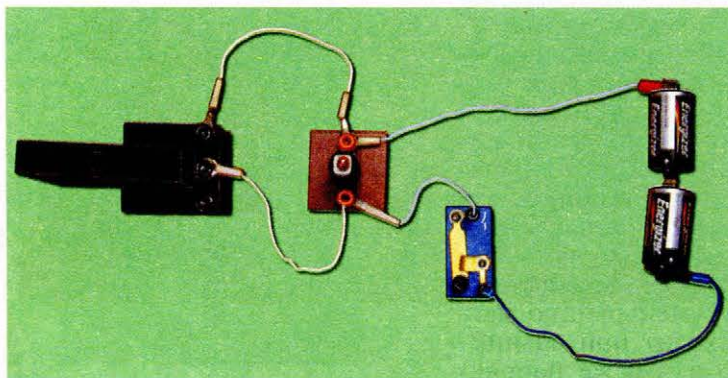


Рис. 23.5

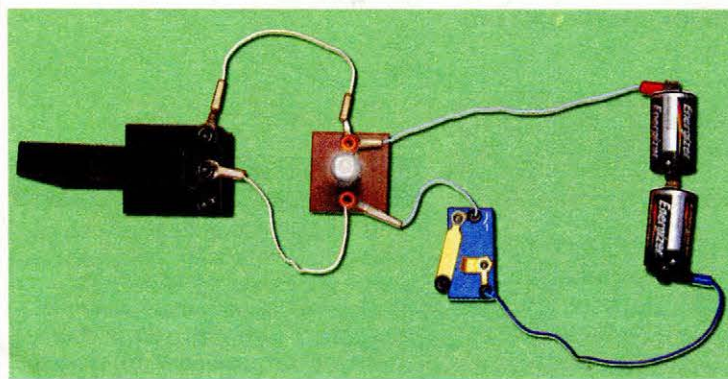


Рис. 23.6

### Энергия магнитного поля.

Возникновение электрического тока в цепи из катушки и лампы после отключения от источника тока ставит новую проблему: откуда берётся энергия для вспышки лампы?

Так как явление самоиндукции связано с процессами возникновения и исчезновения магнитного поля, можно предположить, что медленное увеличение силы тока в цепи с катушкой обусловлено тем, что часть энергии источника тока расходуется на создание магнитного поля внутри и вокруг катушки. При этом израсходованная энергия электрического поля, приведшего в движение электрические заряды, не исчезла бесследно, а превратилась в энергию магнитного поля. Предположение о том, что магнитное поле обладает определённым запасом энергии, подтверждается фактом возникновения тока самоиндукции при размыкании электрической цепи. Энергия магнитно-



го поля при размыкании электрической цепи расходуется на создание тока самоиндукции и затем превращается в энергию теплового движения атомов нити лампы и энергию частиц света — фотонов, испускаемых при вспышке лампы.

**Индуктивность.** Свойство любых элементов электрических цепей создавать токи самоиндукции характеризуется физической величиной, называемой **индуктивностью**. Чем большей индуктивностью обладает элемент электрической цепи, тем больший индукционный ток в нём возникает при одинаковых изменениях первичного тока.

Единица индуктивности в Международной системе единиц называется *генри* (1 Гн) в честь Джозефа Генри, открывшего явление самоиндукции.

В катушке индуктивностью 1 Гн при равномерном изменении силы тока на 1 А за 1 с ток самоиндукции создаёт напряжение 1 В.

**Люминесцентная лампа.** Примером применения явления самоиндукции может служить её использование в лампах дневного света (рис. 23.7). В этих лампах свет возникает при прохождении электрического тока через газ, которым заполнена стеклянная трубка. Атомы газа в трубке излучают в основном не видимый глазом ультрафиолетовый свет. Для преобразования этого света в видимый свет внутреннюю поверхность трубки покрывают слоем специальных кристаллов. Явление преобразования невидимого света в таких кристаллах в видимый свет называется **люминесценцией**. Поэтому такие лампы называются **люминесцентными лампами**. Люминесцентные лампы на единицу затраченной электроэнергии испускают в несколько раз больше света, чем лампы с нитью накаливания.

Для поддержания электрического разряда в трубке лампы достаточно сетевого напряжения 220 В. Но для начала процесса электрического разряда между электродами лампы необходимо приложить напряжение около 1000 В. Для кратковременного создания такого высокого напряжения параллельно электродам лампы включают катушку с железным сердечником, называемую **дросселем**, и переключатель, называемый **стартёром**. Стартёр — это миниатюрная разрядная трубка, наполненная неонам (рис. 23.8). Один из её электродов — биметаллическая пластина. При включении напряжения возникает разряд между электродами стартёра, биметаллическая пластина нагревается током, изгибается и касается второго электрода стартёра. Нити накала люминесцентной лампы оказываются при этом включёнными в сеть последовательно, нагреваются током и испускают много свободных электронов. С прекращением разряда биметаллическая пластина стартёра охлаждается, распрямляется и размыкает цепь. Ток самоиндукции, возникающий в дресселе при его отключении, создаёт между концами его обмотки напряжение более 1000 В. Это напряжение вызывает электрический разряд в лампе. Начавшийся при высоком напряжении разряд далее поддерживается сетевым напряжением.

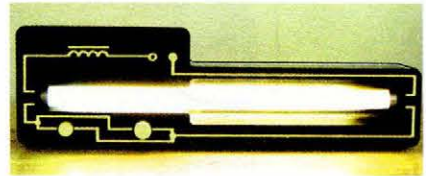


Рис. 23.7

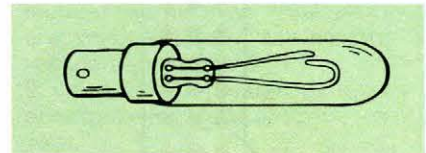


Рис. 23.8



### Вопросы

1. В каком опыте наблюдается явление самоиндукции при замыкании электрической цепи?
2. Как объясняется возникновение индукционного тока при размыкании электрической цепи?
3. Какие факты доказывают, что магнитное поле обладает энергией?
4. Что такое индуктивность?
5. Приведите пример использования явления самоиндукции.
6. Как определяется единица индуктивности в СИ и как она называется?
7. Что такое дроссель и для чего он используется при работе люминесцентной лампы?



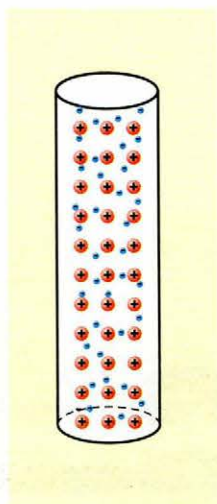


Рис. 24.1

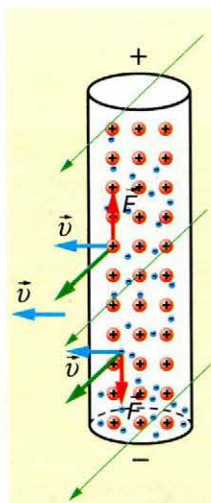


Рис. 24.2

**Движение проводника в магнитном поле.** Мы знаем, как с помощью электродвигателя электрическая энергия источника постоянного тока превращается в механическую энергию. А как превратить механическую энергию в энергию электрического тока?

Рассмотрим движение металлического проводника в магнитном поле. На рисунке 24.1 синими кружками обозначены свободные электроны, розовыми — положительные ионы, в которые превратились атомы металла после потери одного или нескольких электронов.

Рассмотрим такое движение металлического цилиндра, при котором ось цилиндра перпендикулярна силовым линиям магнитного поля (рис. 24.2).

Движущийся положительный заряд можно рассматривать как электрический ток. Направление вектора силы, с которой магнитное поле действует на движущуюся положительно заряженную частицу, определяется правилом левой руки. Для применения этого правила к положительно заряженному иону расположим левую руку так, чтобы силовые линии магнитного поля, обозначенные на рисунке зелёными стрелками, входили в ладонь перпендикулярно, а четыре распрямлённых пальца располагались параллельно вектору скорости иона, обозначенному синей стрелкой. Большой палец, отведённый под прямым углом к четырем пальцам в плоскости ладони, указывает направление вектора силы со стороны магнитного поля. Этот вектор изображён на рисунке красной стрелкой. В таком направлении действуют силы со стороны магнитного поля на все положительные ионы. На отрицательно заряженные электроны магнитное поле действует в противоположном направлении.

Масса каждого положительного иона металлического проводника в десятки тысяч раз больше массы электрона, поэтому изменение его скорости движения под действием магнитного поля очень мало по сравнению с изменением скорости электрона. Электроны приходят в движение в направлении действия силы со стороны магнитного поля и на одном конце проводника создают избыток отрицательных зарядов, а на другом возникает избыток положительных зарядов. Между концами проводника возникает электрическое напряжение. Движение свободных электронов от одного конца проводника к другому прекращается тогда, когда действие электрического поля разделённых зарядов в проводнике уравнивает действие магнитного поля.

Возникшее между концами цилиндра напряжение может создать в цепи электрический ток. Этот ток будет существовать до тех пор, пока проводник будет двигаться в магнитном поле. Для создания источника постоянного тока нужно изобрести такую машину, в которой проводник двигался бы в магнитном поле непрерывно и с постоянной скоростью.

**Электродвигатель постоянного тока.** Легко убедиться, что электродвигатель постоянного тока можно превратить в электродвигатель постоянного тока. Возможность такого превращения называется свойством обратимости машины постоянного тока.



При вращении проволочной рамки 2 вокруг оси 3 в магнитном поле магнита 1 в рамке возникает электрический ток (рис. 24.3). Направление тока в рамке определяется правилом левой руки, применённым к положительным зарядам, движущимся со скоростью  $\vec{v}$  в результате вращения рамки. Векторы скорости  $\vec{v}$  обозначены зелёными стрелками, направления силовых линий магнитного поля указаны чёрными стрелками, векторы сил, действующих на положительные заряды, обозначены красными стрелками. От полуколец 4 на концах рамки через щётки 5 электрический ток поступает во внешнюю цепь. При повороте рамки на  $180^\circ$  направление тока во внешней цепи не изменяется.

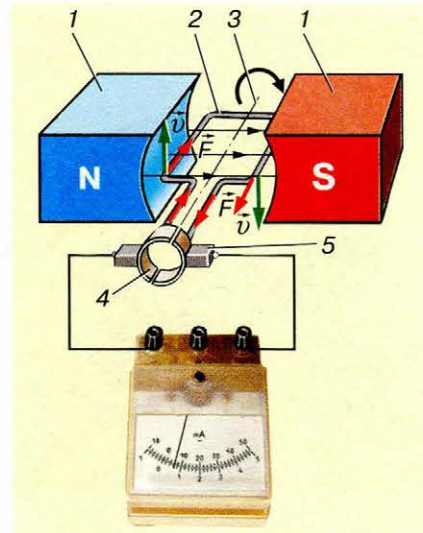


Рис. 24.3

Машина для преобразования механической энергии в электрическую энергию постоянного тока называется **электрогенератором постоянного тока**.

В электрогенераторе постоянного тока на стальном якоре имеется несколько обмоток из изолированного провода, концы каждой из обмоток соединены с двумя контактными пластинами коллектора.

Для работы машины постоянного тока как электрического генератора якорь машины приводится во вращение за счёт действия внешних сил. К щёткам в любой момент времени оказываются подключёнными выводы той обмотки, плоскость витков которой параллельна силовым линиям магнитного поля (см. рис. 24.3). При этом с пластин коллектора на щётки подаётся постоянное электрическое напряжение.

**Вопросы**

1. Почему при движении проводника перпендикулярно силовым линиям магнитного поля между его концами возникает электрическое напряжение?
2. Объясните принцип действия электрогенератора постоянного тока.

### Экспериментальное задание 24.1

#### Работаем в паре

#### Изучение работы электрогенератора постоянного тока

**Оборудование:** машина постоянного тока, нить, вольтметр, соединительные провода.

**Исследуйте зависимость напряжения на выходе электрогенератора от скорости и направления вращения его якоря.**

#### Порядок выполнения задания

1. Подключите вольтметр к выводам машины постоянного тока. Для вращения якоря машины на её шкив намотайте нить. Тяните нить потихоньку и следите за показаниями вольтметра при вращении якоря машины (рис. 24.4).

2. Повторите опыт при большей скорости вращения якоря. Сделайте вывод: зависит ли напряжение на выходе электрогенератора от скорости вращения якоря?

3. Повторите опыт, изменив направление вращения якоря. Сделайте вывод: зависит ли полярность напряжения на выходе электрогенератора от направления вращения якоря?

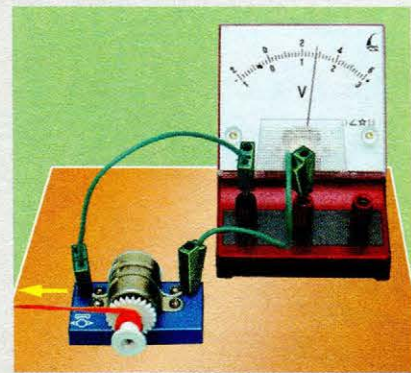


Рис. 24.4



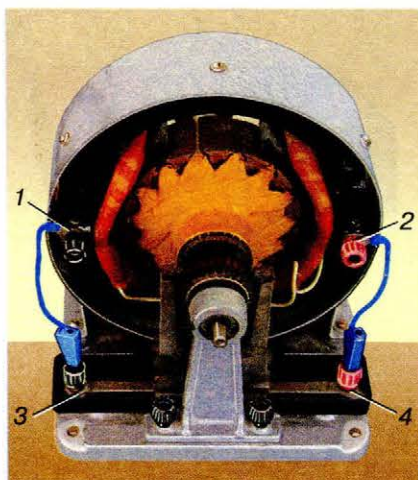


Рис. 24.5

### Устройство электрогенератора постоянного тока.

В электрогенераторе постоянного тока магнитное поле может создаваться постоянными магнитами или электромагнитами. Постоянные магниты используются в генераторах малой мощности, например в велосипедном генераторе для фары. В мощных генераторах используются электромагниты. Ток в обмотках электромагнита электрогенератора обычно создаётся под действием напряжения, вырабатываемого самим электрогенератором. Для этого концы обмоток электромагнита 1 и 2 соединяются с выходными клеммами 3 и 4 генератора (рис. 24.5). Для приведения генератора в действие необходимо вращать якорь. Небольшой ток в обмотках якоря в начальный момент работы генератора создаётся за счёт того, что сердечник электромагнита и при отсутствии тока в его обмотках является магнитом, хотя и слабым. Индукционный ток, создаваемый в обмотке вращающегося якоря, проходя через обмотку электромагнита усиливает магнитное поле электромагнита. Это приводит к увеличению силы тока в обмотке якоря и напряжения на выходных клеммах 3 и 4 генератора.

## Экспериментальное задание 24.2

### Работаем в паре

#### Определение коэффициента полезного действия электрогенератора

**Оборудование:** машина постоянного тока, электрическая лампа, миллиамперметр, вольтметр, набор грузов, нить, соединительные провода, измерительная лента, секундомер.

**Определите приблизительно КПД электрогенератора.**

#### Порядок выполнения задания

1. Подключите к выходу электрогенератора электрическую лампу. Последовательно с лампой включите миллиамперметр, параллельно лампе — вольтметр или милливольтметр (рис. 24.6).
2. Привяжите к шкиву генератора нить и намотайте её на шкив. Подберите груз такой массы, чтобы при навешивании его на конец нити шкив не вращался, но после лёгкого толчка груз двигался вниз примерно равномерно.
3. Измерьте силу тока  $I$  в цепи и напряжение  $U$  на лампе при равномерном движении груза вниз. Вычислите полезную мощность генератора:

$$N = IU.$$

4. Измерьте время  $t$  движения груза от верхней до нижней точки траектории. Вычислите полезную работу  $A$ , совершённую электрогенератором под действием груза:

$$A_{\text{пол}} = Nt = IUt.$$

5. Измерьте расстояние  $h$ , пройденное грузом, и вычислите полную работу, совершённую силой тяжести  $F$  при опускании груза:

$$A_{\text{полн}} = Fh = mgh.$$

6. Вычислите КПД электрогенератора:

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{полн}}} = \frac{IUt}{mgh}.$$

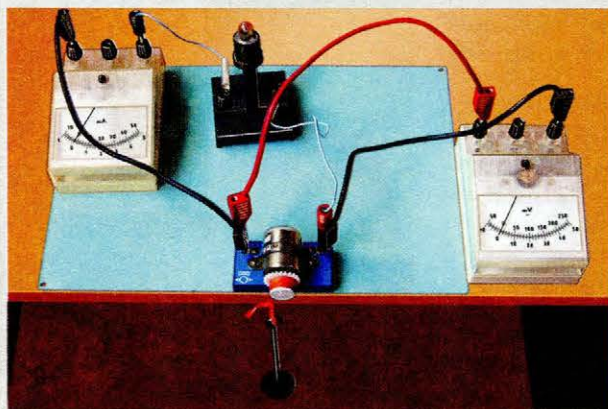


Рис. 24.6



## Домашнее экспериментальное задание 24.3

### Работаем самостоятельно

#### Изучение машины постоянного тока

**Оборудование:** машина постоянного тока из комплекта «Лего», электрическая лампа, рассчитанная на 1 В, соединительные провода, источник постоянного тока.

**Изучите внутреннее устройство машины постоянного тока из комплекта «Лего». Объясните принцип его действия при использовании как электродвигателя и как электрогенератора.**

#### Порядок выполнения задания

1. Если у вас есть комплект деталей «Лего» для конструирования с электродвигателем (рис. 24.7), рассмотрите устройство механизма передачи вращательного движения от оси двигателя к колёсам модели. Объясните назначение деталей передающего устройства.

2. Если вы не боитесь испортить свою игрушку, аккуратно вскройте корпус электродвигателя и рассмотрите его внутреннее устройство. Если вы боитесь её испортить, изучите внутреннее устройство двигателя по фотографии на рисунке 24.8. На фотографии можно увидеть, что напряжение подаётся на две щётки на крышке слева. Между полюсами магнита находятся три катушки на общем железном сердечнике. Выводы от каждой из обмоток присоединены к двум из трёх металлических пластин, изолированных друг от друга и расположенных вокруг оси якоря. При этом начало одной обмотки оказывается соединённым с концом соседней обмотки. В контакте с щётками в любой момент времени находятся две обмотки из трёх (рис. 24.9). Объясните принцип действия такого электродвигателя.

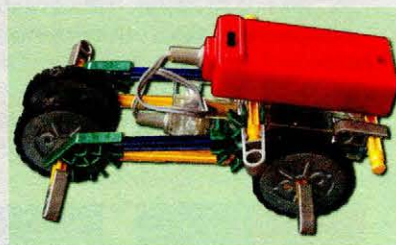


Рис. 24.7

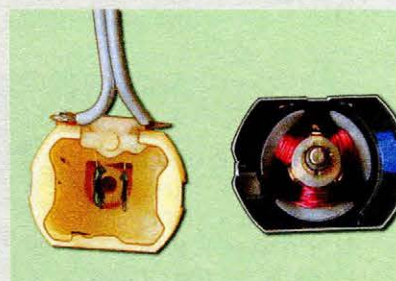


Рис. 24.8

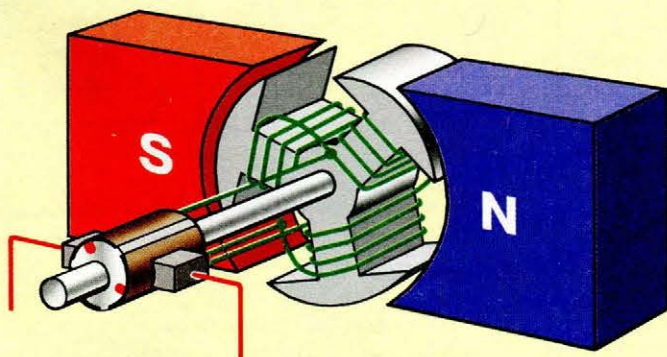


Рис. 24.9

3. Выскажите гипотезу, может ли электродвигатель рассмотренного типа работать как электрогенератор постоянного тока. Проверьте свою гипотезу экспериментально. Для этого подключите к выводам машины постоянного тока электрическую лампу или вольтметр и приведите якорь машины во вращение.

Расскажите о результатах своих исследований в классе с демонстрацией опытов и объяснением принципа действия машины постоянного тока.



## Тест 3

Тест предназначен для самоконтроля результатов изучения тем «Взаимодействие магнитов. Магнитное поле тока. Электромагнит. Действие магнитного поля на проводник с током. Электродвигатель. Электромагнитная индукция. Электрогенератор».

Работу над заданиями теста следует проводить так же, как рекомендовано на с. 22 для теста 1.

1. На рисунке Т3.1 представлены три пары постоянных полосовых магнитов. В каких из них между близкими полюсами действуют силы притяжения?

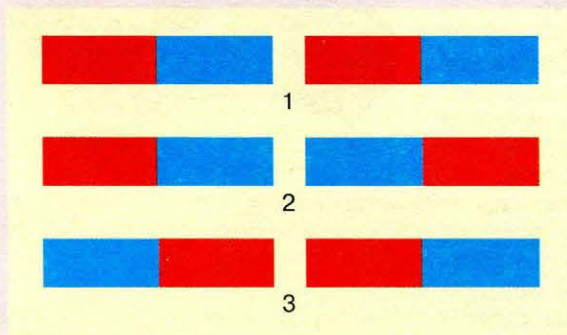


Рис. Т3.1

- 1) только в паре 1
  - 2) только в паре 2
  - 3) только в паре 3
  - 4) в парах 2 и 3
  - 5) во всех трёх парах
2. При свободном подвешивании полосового магнита за середину его северный полюс указывает направление на
- 1) Южный магнитный полюс Земли, расположенный в небольшом удалении от Северного географического полюса
  - 2) Южный магнитный полюс Земли, расположенный в небольшом удалении от Южного географического полюса
  - 3) Северный магнитный полюс Земли, расположенный в небольшом удалении от Северного географического полюса
  - 4) Северный магнитный полюс Земли, расположенный в небольшом удалении от Южного географического полюса
3. В опыте Эрстеда было обнаружено, что
- 1) электрический ток в проводнике вызывает поворот магнитной стрелки
  - 2) магнитная стрелка действует на электрический ток в проводнике
  - 3) магнитная стрелка и электрический ток взаимодействуют силами притяжения

4) магнитная стрелка и электрический ток взаимодействуют силами отталкивания

4. Магнитные стрелки расположены в горизонтальной плоскости вблизи вертикального прямого проводника с током (прямая красного цвета на рисунке Т3.2). Как направлен ток в проводнике?

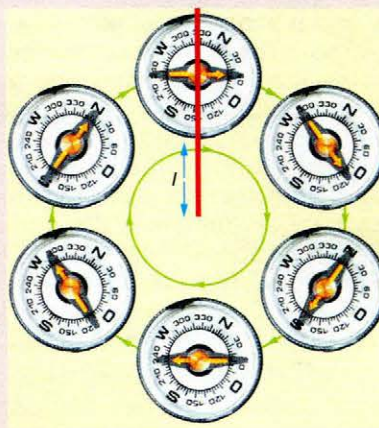


Рис. Т3.2

- 1) вверх
  - 2) вниз
  - 3) любое направление тока в проводнике одинаково влияет на магнитные стрелки
  - 4) направление тока в вертикальном проводнике не влияет на магнитные стрелки
5. На рисунке Т3.3 представлен опыт по обнаружению действия магнитного поля катушки с током на магнитную стрелку. Под действием магнитного поля катушки стрелка установилась северным полюсом к нам. Определите направление тока в катушке.
- 1) направление тока указано стрелкой 1
  - 2) направление тока указано стрелкой 2
  - 3) любое направление тока в катушке одинаково влияет на магнитную стрелку
  - 4) направление тока в катушке не влияет на магнитную стрелку



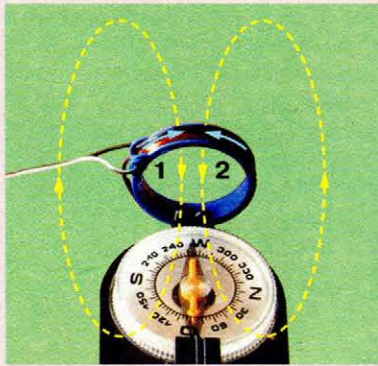


Рис. Т3.3

6. Проволочная катушка поставлена вблизи магнитного компаса, плоскость её витков параллельна стрелке компаса (рис. Т3.4). При пропускании постоянного тока через катушку её магнитное поле вызвало поворот стрелки на  $30^\circ$  (рис. Т3.5). Изменится ли угол поворота магнитной стрелки, если при неизменной силе тока внутрь катушки вставить железный цилиндр или несколько железных гвоздей? А что произойдёт при введении в катушку деревянного цилиндра?



Рис. Т3.4



Рис. Т3.5

- 1) при введении в катушку железного цилиндра отклонение стрелки увеличится, при введении деревянного цилиндра отклонение стрелки уменьшится
- 2) при введении в катушку железного цилиндра отклонение стрелки уменьшится, при введении деревянного цилиндра отклонение стрелки увеличится
- 3) при введении в катушку железного цилиндра отклонение стрелки увеличится, при введении деревянного цилиндра отклонение стрелки не изменится
- 4) при введении в катушку железного цилиндра отклонение стрелки уменьшится, при введении деревянного цилиндра отклонение не изменится
- 5) при введении железного и деревянного цилиндров отклонение стрелки не изменится

7. На рисунке Т3.6 показано устройство электрического звонка. Каким номером обозначен электромагнит и каким номером обозначена деталь прибора, притягиваемая электромагнитом?

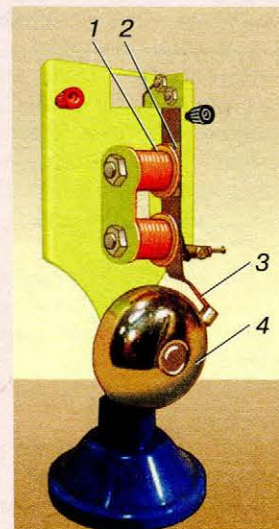


Рис. Т3.6

- 1) электромагнит — 1, притягиваемая деталь прибора — 2
- 2) электромагнит — 1, притягиваемая деталь прибора — 3
- 3) электромагнит — 4, притягиваемая деталь прибора — 3
- 4) электромагнит — 3, притягиваемая деталь прибора — 4



8. С помощью правила левой руки можно определить направление вектора силы Ампера, действующей на проводник с током в магнитном поле (рис. Т3.7). Какая стрелка указывает направление тока в проводнике, а какая — направление вектора силы Ампера?

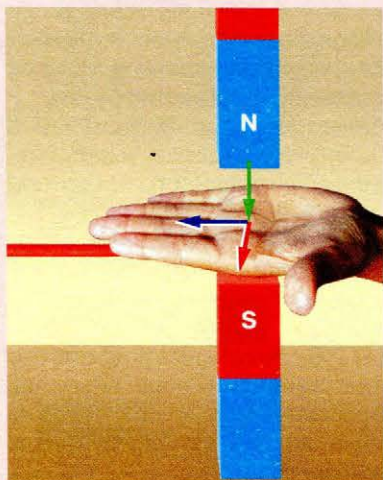


Рис. Т3.7

- 1) синяя — направление тока, красная — направление вектора силы Ампера
- 2) зелёная — направление тока, красная — направление вектора силы Ампера
- 3) красная — направление тока, синяя — направление вектора силы Ампера
- 4) синяя — направление тока, зелёная — направление вектора силы Ампера

9. Наблюдается ли магнитное взаимодействие при прохождении электрического тока через два прямолинейных параллельных проводника?

- 1) наблюдается притяжение проводников при любом направлении токов
- 2) наблюдается отталкивание проводников при любом направлении токов
- 3) наблюдается притяжение проводников при одинаковом направлении токов и отталкивание при противоположном направлении токов
- 4) наблюдается отталкивание проводников при одинаковом направлении токов и притяжение при противоположном направлении токов
- 5) магнитное взаимодействие при прохождении электрического тока через прямолинейные параллельные проводники отсутствует

10. На рисунке Т3.8 показана схема устройства электродвигателя постоянного тока. Какими номерами обозначены векторы сил, действующих на левую и правую сторону витка обмотки якоря?

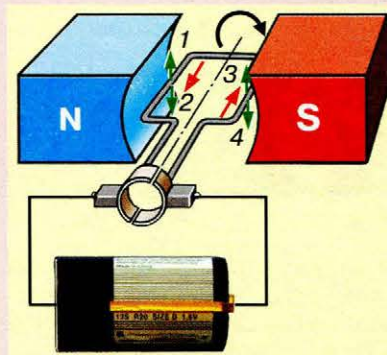
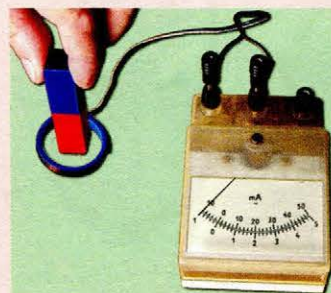


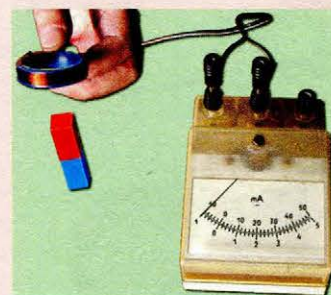
Рис. Т3.8

- 1) 1 и 3
- 2) 1 и 4
- 3) 2 и 3
- 4) 2 и 4

11. Для обнаружения явления электромагнитной индукции были выполнены четыре опыта. В опыте А магнит вдвигали в замкнутую проволочную катушку, в опыте Б катушку надевали на магнит, в опыте В магнит приближали к катушке в плоскости её витков, в опыте Г включали ток в параллельно расположенной катушке (рис. Т3.9). В каких из этих опытов возник индукционный ток в катушке?

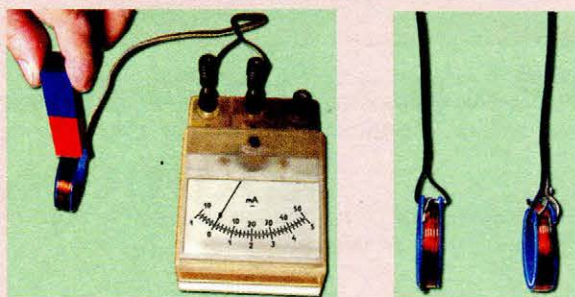


А



Б





В Г

Рис. Т3.9

- 1) только в опыте А
- 2) только в опытах А и Б
- 3) только в опытах А, Б и В
- 4) только в опытах А, Б и Г
- 5) в опытах А, Б, В и Г

12. При выдвигании из алюминиевого кольца южного полюса постоянного магнита кольцо притягивается к магниту (рис. Т3.10), потому что

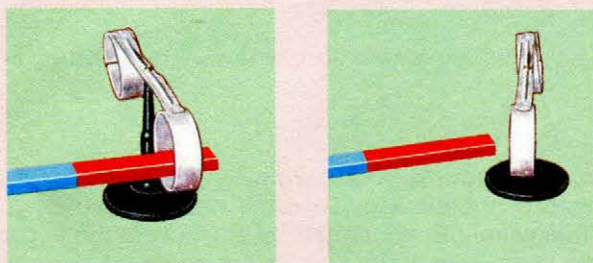


Рис. Т3.10

- 1) в кольце возникает индукционный ток, направленный по часовой стрелке при наблюдении со стороны магнита
- 2) в кольце возникает индукционный ток, направленный против часовой стрелки при наблюдении со стороны магнита
- 3) кольцо намагничивается, возникший магнит обращён к выдвигаемому магниту южным полюсом
- 4) кольцо намагничивается, возникший магнит обращён к выдвигаемому магниту северным полюсом

13. На рисунке Т3.11 представлена схема опыта по обнаружению явления самоиндукции. В этом опыте лампа 1 включена последовательно с катушкой К, а лампа 2 включена последовательно с резистором, обладающим таким же электричес-

ким сопротивлением, как обмотка катушки К. Как обнаруживается явление самоиндукции при замыкании цепи?

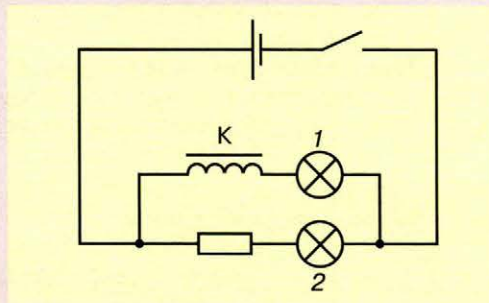


Рис. Т3.11

- 1) лампа 1 загорается позже лампы 2
- 2) лампа 2 загорается позже лампы 1
- 3) лампа 2 совсем не загорается
- 4) лампа 1 совсем не загорается

14. Для использования представленной на рисунке Т3.12 машины как генератора постоянного тока нужно вращать якорь 5 и питать обмотки электромагнита постоянным током через выводы

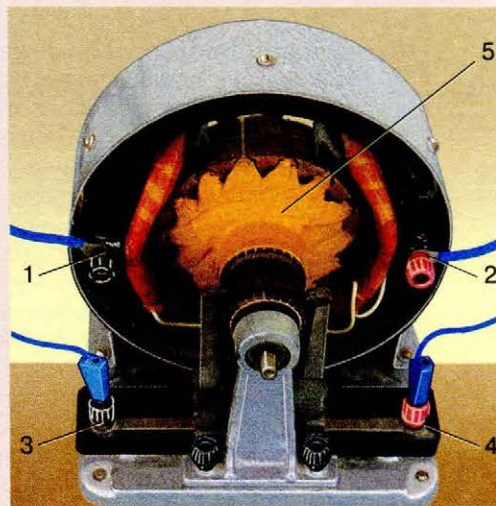


Рис. Т3.12

- 1) 1 и 2
- 2) 3 и 4
- 3) 1 и 3
- 4) 2 и 4





## Основные законы и правила

### Закон сохранения электрического заряда

Положительные и отрицательные электрические заряды возникают или исчезают в равных количествах. Алгебраическая сумма зарядов в замкнутой системе остаётся постоянной.

### Закон Ома для участка цепи

Сила тока  $I$  прямо пропорциональна напряжению  $U$  на участке цепи и обратно пропорциональна электрическому сопротивлению  $R$  участка цепи:

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

### Закон Джоуля—Ленца

При нагревании проводника электрическим током выделяется количество теплоты  $Q$ , равное совершённой работе  $A$  электрического тока:

$$Q = A = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t.$$

### Последовательное и параллельное соединения проводников

При последовательном соединении резисторов общее электрическое сопротивление равно сумме их электрических сопротивлений:

$$R = R_1 + R_2.$$

При параллельном соединении резисторов обратная величина общего электрического сопротивления равна сумме обратных величин электрических сопротивлений резисторов:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Общее электрическое сопротивление двух параллельно соединённых проводников равно:

$$R = \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2}.$$

### Магнитные силовые линии вокруг прямого проводника с током

Магнитные силовые линии вокруг прямого проводника с током образуют окружности, лежащие в плоскости, перпендикулярной проводнику. Северные полюсы магнитных стрелок при взгляде сверху в направлении тока в проводнике ориентированы по направлению вращения часовой стрелки. Так же направлены силовые линии магнитного поля вокруг проводника с током.

### Правило винта

Если расположить винт перпендикулярно плоскости витка провода с током, то направление силовых линий магнитного поля в середине витка совпадает с направлением перемещения винта по резьбе при его вращении в направлении тока в витке. Если смотреть на винт вдоль его оси, то при вращении по часовой стрелке он перемещается от нас.

### Сила Ампера и правило левой руки

Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле, называется силой Ампера. Если левая рука расположена так, что силовые линии магнитного поля входят перпендикулярно в ладонь, а вытянутые четыре пальца совпадают с направлением тока в проводнике, тогда отогнутый в плоскости ладони большой палец указывает направление вектора силы Ампера  $\vec{F}_A$ . Сила Ампера прямо пропорциональна силе тока в проводнике, длине проводника и увеличивается с усилением магнитного поля.

### Электромагнитная индукция

Электромагнитной индукцией Фарадей назвал явление возникновения электрического тока в катушке при изменении внешнего магнитного поля внутри катушки.

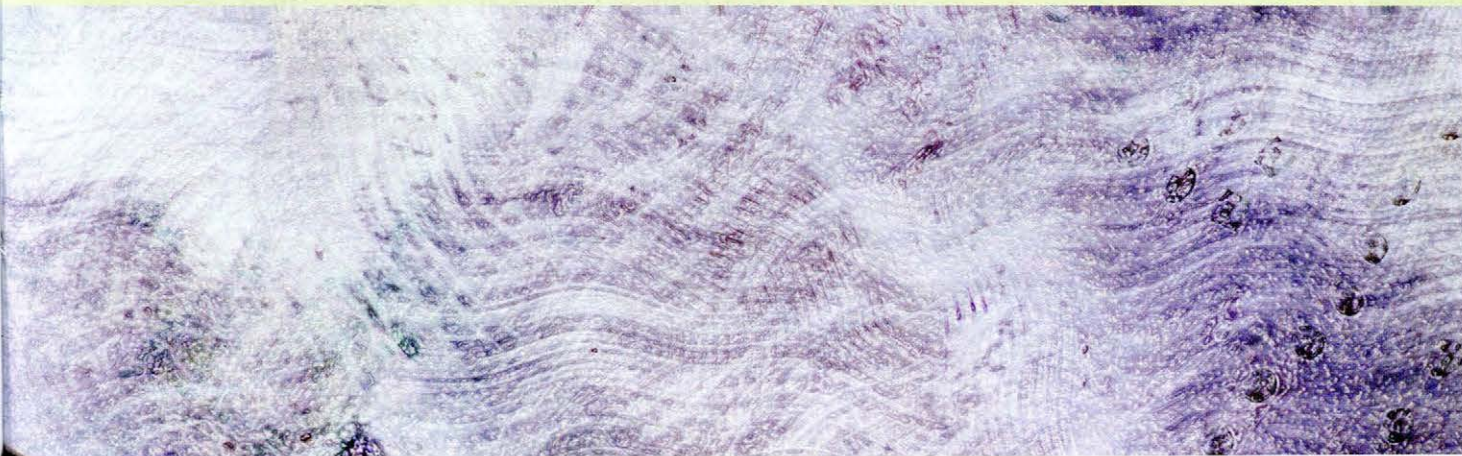
### Правило Ленца

Индукционный ток всегда имеет такое направление, что его магнитное поле препятствует тем действиям, которые вызывают появление индукционного тока.



# Электромагнитные колебания и волны

25	Переменный ток	112
26	Производство и передача электроэнергии	116
27	Электромагнитные колебания	120
28	Электромагнитные волны и их свойства	124
29	Принципы радиосвязи и телевидения	128





## §25. Переменный ток

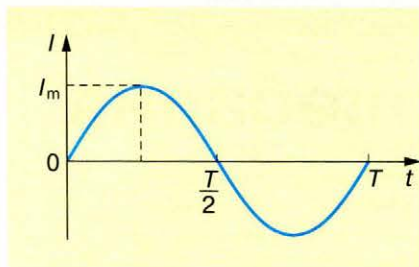


Рис. 25.1

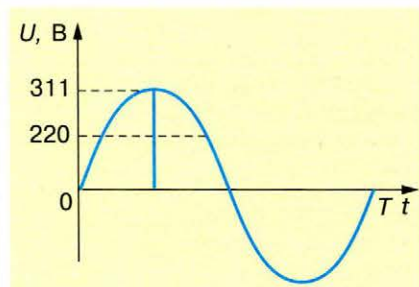


Рис. 25.2

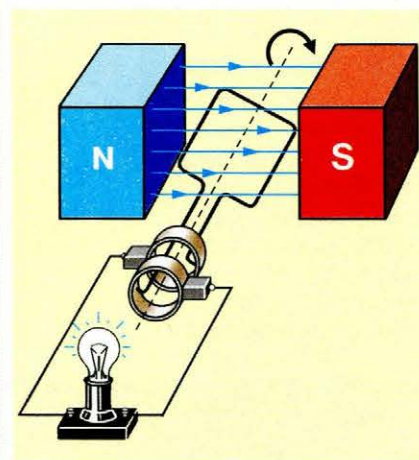


Рис. 25.3

В конце XIX в. электричество начинает применяться в практической жизни людей для освещения, электродвигатели приводят в действие различные машины и станки. Широкому применению электричества мешала трудность передачи постоянного тока на большие расстояния. Эти трудности были преодолены после изобретения генератора переменного тока.

**Переменным током** называется электрический ток, изменяющийся во времени по модулю и направлению. Изменения силы тока за один период колебаний  $T$  изображены графиком на рисунке 25.1. На графике значения силы тока представляются положительными числами при одном направлении тока и отрицательными при противоположном направлении. Никакого физического различия между положительными и отрицательными значениями силы тока нет. В электрической сети в наших домах, на заводах и фабриках частота переменного тока равна 50 Гц, период изменений силы тока равен  $1/50$  доле секунды. При такой частоте изменения силы тока не приводят к заметным глазу человека миганиям электрических ламп.

Модуль максимального значения силы тока  $I_m$  за период называется **амплитудой колебаний силы тока**, модуль максимального значения напряжения  $U_m$  за период называется **амплитудой колебаний напряжения**.

Большинство бытовых электрических приборов и машин рассчитано на подключение к сети переменного напряжения 220 В. На таких приборах обычно ставятся знаки: 220 В,  $\sim$  50 Гц или 220 В,  $\sim$  50 Нз. Это означает рекомендацию на подключение к сети переменного тока напряжением 220 В частотой 50 Гц.

Уточним смысл слов «переменное напряжение 220 В». Амплитуда  $U_m$  колебаний напряжения в большинстве сетей переменного тока равна 311 В. Число 220 В получается делением числа 311 В на квадратный корень из 2 ( $\sqrt{2}$ ) (рис. 25.2). Число 220 В вместо числа 311 В используется для характеристики переменного напряжения потому, что средняя за период колебания мощность  $N_{\text{ср}}$  выделения энергии на участке цепи с амплитудой колебания напряжения  $U_m$  и амплитудой колебания силы тока  $I_m$  равна:

$$N_{\text{ср}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m}{\sqrt{2}}.$$

Значения переменного напряжения и силы тока, получаемые делением амплитудных значений на квадратный корень из 2, называются **действующими значениями** переменного напряжения и силы тока. Когда говорят о переменном напряжении в сети 220 В, то имеют в виду действующее значение переменного напряжения.

**Генератор переменного тока.** Принцип получения переменного тока следующий. При вращении проволочной рамки в магнитном поле индукционный электрический ток в рамке изменяет своё направление столько раз за одну секунду, сколько оборотов делает рамка за одну секунду. С такой же частотой изменяется полярность напряжения между концами рамки (рис. 25.3).

Если концы рамки соединяются не с полукольцами, как в электрогенераторе постоянного тока, а с кольцами, то на щётки подаётся переменное напряжение.



Переменный ток в электрических сетях создаётся машинным генератором переменного тока. Основными частями этого генератора являются неподвижный статор и вращающийся внутри его ротор (рис. 25.4). Статор имеет стальной сердечник 1 и обмотку 2 из медного провода. Ротор также имеет обмотку 3 и стальной сердечник 4.

В генераторах переменного тока большой мощности ротор является электромагнитом, обмотка его питается постоянным током. Постоянный ток подводится к обмотке через контакты 8 и 9 и две щётки 6 на два контактных кольца 5. Для получения переменного тока ротор приводится во вращение с постоянной скоростью. Создаваемое электромагнитом магнитное поле вращается с частотой вращения ротора.

Это изменяющееся магнитное поле пронизывает сердечник статора. В результате изменений магнитного поля создаётся переменный индукционный ток в обмотке статора. Между концами обмотки статора возникает переменное напряжение. При подключении нагрузки к концам обмотки статора через клеммы 7 и 10 в цепи протекает переменный ток.

Переменный электрический ток, создаваемый электрогенератором, совершает работу в электрической цепи. Для совершения этой работы генератор потребляет энергию от других источников энергии. Потребление энергии генератором происходит в процессе вращения ротора, так как возникающий индукционный ток по правилу Ленца создаёт магнитное поле, которое своим действием препятствует действию, создающему этот ток. Можно получить переменный ток, используя статор в качестве неподвижного электромагнита. Переменное напряжение в этом случае возникает между концами обмотки вращающегося ротора.

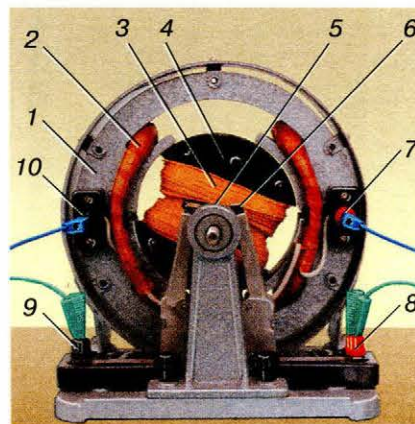


Рис. 25.4

**Вопросы**

1. Что такое переменный ток?
2. Каков принцип действия машинного генератора переменного тока?
3. Почему используется большая частота изменений силы тока в электрических сетях?
4. Что называется амплитудным значением напряжения в сети переменного тока?
5. Что называется действующим значением напряжения в сети переменного тока?

**Экспериментальное задание 25.1**

**Работаем самостоятельно**

**Получение переменного тока при вращении катушки в магнитном поле**

**Оборудование:** катушка из медного провода, миллиамперметр, соединительные провода, два постоянных магнита.

**Используя предложенное оборудование, получите переменный ток при вращении катушки в магнитном поле.**

*Порядок выполнения задания*

1. Соедините концы обмотки катушки с клеммами миллиамперметра. Положите на стол два постоянных магнита противоположными полюсами друг к другу на расстоянии диаметра катушки (рис. 25.5).

2. Вращением провода заставьте катушку вращаться вокруг вертикальной оси в магнитном поле постоянных магнитов. Наблюдайте за показаниями миллиамперметра.

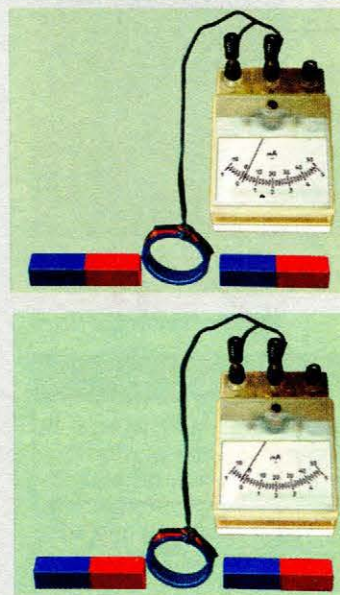


Рис. 25.5





Михаил Осипович  
Доливо-Добровольский



Рис. 25.6

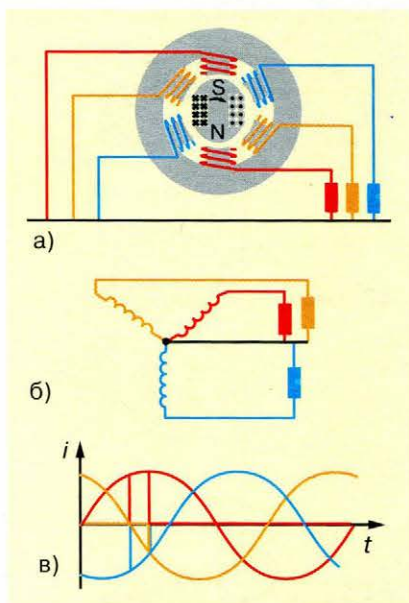


Рис. 25.7

**Генератор трёхфазного тока.** В настоящее время на электростанциях работают в основном трёхфазные генераторы переменного тока. Применение трёхфазных генераторов и трёхфазной системы электропередачи даёт значительную экономию электроэнергии.

Трёхфазную систему переменных токов впервые предложил использовать русский электротехник Михаил Осипович Доливо-Добровольский в 1888 г. Он же первым сконструировал и построил трёхфазный генератор, трёхфазный асинхронный электродвигатель и трёхфазную линию электропередачи.

В генераторе трёхфазного тока электромагнит является ротором. В статоре расположены три независимые электрические обмотки, сдвинутые в пространстве одна относительно другой на угол  $120^\circ$  (рис. 25.6).

При вращении ротора в каждой из трёх обмоток возникает переменный индукционный ток с частотой, равной частоте вращения электромагнита. Для осуществления электропередачи от трёхфазного генератора нужны три пары проводов. Но если начала каждой из трёх обмоток соединить вместе и заменить три провода от них одним общим проводом, как показано на схемах а) и б) рисунка 25.7, то при подключении нагрузки к каждой обмотке между её концом и общим проводом по этому общему проводу будут протекать одновременно токи от трёх обмоток.

Колебания силы тока в каждой следующей обмотке генератора происходят с отставанием на  $1/3$  периода от колебаний в предыдущей обмотке, поэтому в общем проводе в любой момент времени один из трёх токов имеет направление, противоположное одному или двум другим. Графики зависимости силы тока от времени в каждой из трёх обмоток генератора представлены на рисунке 25.7, в. При равных значениях силы тока в обмотках сумма трёх токов в общем проводе в любой момент времени оказывается равной нулю. В этом можно убедиться, складывая положительные и отрицательные значения силы тока в трёх обмотках в любой момент времени. В результате сложения токов, текущих в противоположных направлениях, суммарная сила тока оказывается равной нулю и общий провод становится ненужным.

Для трёхфазной линии электропередачи требуется не 6, а только 3 провода. Это почти вдвое сокращает расходы на строительство линии электропередачи и потери энергии в ней. На практике сила тока в трёх проводах от разных фаз не совсем одинакова и тонкий четвёртый общий провод может быть нужным.

На тепловых электростанциях для получения переменного тока частотой 50 Гц роторы электрогенераторов вращаются со скоростью 50 оборотов в секунду. На гидроэлектростанциях гидравлические турбины и генераторы имеют такие большие размеры и обладают такой большой массой, что привести их во вращение с частотой 50 оборотов в секунду потоком воды невозможно. Поэтому ротор генератора изготавливается не с одной парой магнитных полюсов, а с значительно большим числом пар полюсов в роторе и таким же числом обмоток в ста-



торе (рис. 25.8). При одном обороте ротора с  $n$  пар полюсов в каждой обмотке направление тока изменяется  $n$  раз и для получения переменного тока с частотой 50 Гц ротор должен вращаться со скоростью  $50/n$  оборотов в секунду.

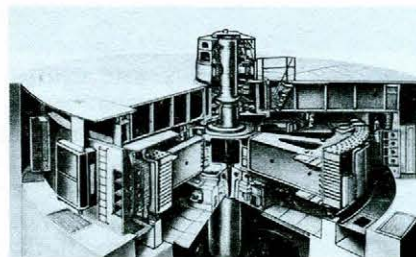


Рис. 25.8

**Асинхронный трёхфазный двигатель.** В трёхфазной системе переменного тока возможно использование простых и надёжных асинхронных электродвигателей. Статор асинхронного электродвигателя такой же, как статор трёхфазного генератора. Три обмотки статора подключают к трёхфазной сети. Каждая обмотка создаёт переменное магнитное поле, изменяющееся с частотой 50 Гц. Силовые линии этих полей направлены под углом  $120^\circ$  друг к другу, а изменения полей происходят не одновременно. В результате сложения магнитных полей трёх обмоток внутри статора возникает такое магнитное поле, какое создал бы магнит, вращающийся со скоростью 50 оборотов в секунду.

При помещении во вращающееся магнитное поле квадратной рамки из проводника изменяющееся магнитное поле создаёт в ней индукционный ток. На этот ток со стороны вращающегося магнитного поля действуют силы Ампера и поворачивают рамку в направлении вращения поля. С приближением скорости вращения рамки к скорости вращения магнитного поля изменения магнитного поля в рамке уменьшаются, уменьшается и сила Ампера. Но ротор двигателя приводит в действие какие-то механизмы и эта работа тормозит его вращательное движение. В результате ротор вращается с такой скоростью, при которой момент сил Ампера, действующих на проводники ротора асинхронного двигателя, оказывается равным моменту внешних сил, тормозящих вращение ротора. Так что ротор вращается всегда медленнее, чем магнитное поле. Двигатель, работающий по такому принципу, называется **асинхронным**, что значит «не синхронный», «не одновременный».

Ротор асинхронного двигателя устроен очень просто. В стальном цилиндре параллельно его оси сделаны прорезы и в них вложены отрезки медного или алюминиевого провода. Концы этих проводов соединены с обеих сторон кольцами проводника (рис. 25.9). Такая конструкция рамок ротора называется «беличьим колесом». Вращающееся магнитное поле статора наводит индукционные токи в перемычках «беличьего колеса» и вращает ротор двигателя.

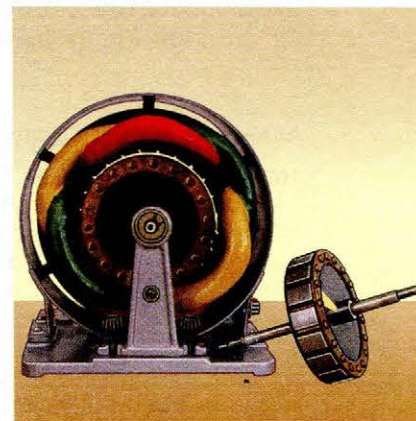


Рис. 25.9

**Задача 25.1.** Ротор Красноярской ГЭС диаметром 16 м делает 93,75 оборота в минуту и создаёт переменный ток частотой 50 Гц. С какой скоростью движется поверхность ротора относительно обмотки в статоре? Сколько пар полюсов электромагнитов у ротора генератора?

**? Вопросы**

1. Как устроен трёхфазный генератор переменного тока?
2. Какие преимущества даёт использование трёхфазной системы переменного тока?
3. Каков принцип действия трёхфазного асинхронного двигателя?



## §26. Производство и передача электроэнергии

**Производство электроэнергии.** Основными производителями электрической энергии являются тепловые электрические станции (ТЭС) и гидравлические электрические станции (ГЭС).

На крупных тепловых электростанциях при сжигании каменного угля, мазута или газа освобождается химическая энергия топлива (рис. 26.1). Более 90% выделяемой топливом энергии расходуется в паровом котле на нагревание воды и превращение воды в пар. Нагретый до высокой температуры пар выпускается при высоком давлении и направляется на лопасти ротора паровой турбины. Под действием быстро движущегося пара турбина вращается со скоростью 50 оборотов в секунду. Укреплённый на одной оси с турбиной ротор электрогенератора создаёт в обмотках статора переменный индукционный ток. Общий КПД превращения химической энергии топлива в электроэнергию на ТЭС составляет около 40%.

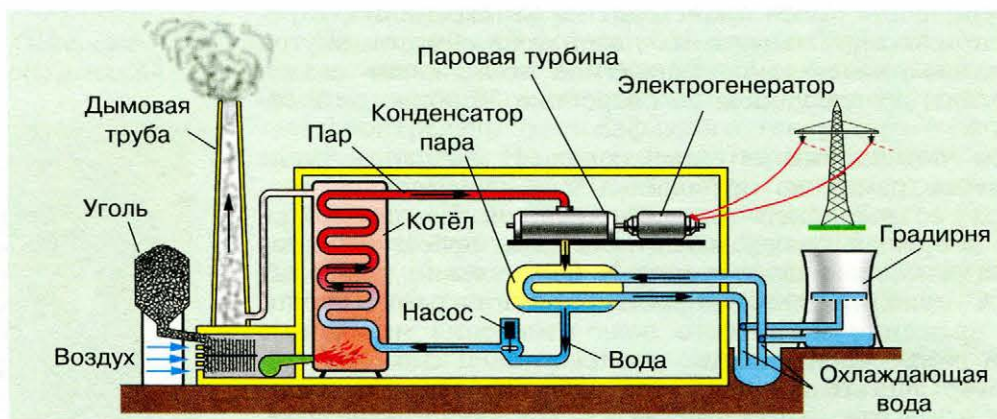


Рис. 26.1

На гидравлических электрических станциях источником энергии является кинетическая энергия движущейся воды.

Для преобразования механической энергии текущей воды в электрическую энергию на реке строится высокая плотина. Плотина имеет двойное назначение. Во-первых, она создаёт разность уровней воды. Чем больше разность уровней воды до и после плотины, тем больше кинетическая энергия падающей воды. Во-вторых, поток воды в реке сильно изменяется в течение года. Весной воды в реке много, а осенью и зимой мало. Для обеспечения потребности в энергии в любое время года, вода накапливается в водохранилище перед плотинной в период паводка и постепенно расходуется в период уменьшения потока воды в реке.

Движущаяся вода давит на лопасти гидротурбины 1 и приводит её во вращение. На одной оси с турбиной установлен ротор электрогенератора 2 (рис. 26.2). Гидротурбина и электрогенератор преобразуют кинетическую энергию воды в электрическую энергию.

**Передача электроэнергии на большие расстояния.** Одним из преимуществ электрической энергии является возможность её передачи на большие расстояния с малыми затратами. От места с запасами горючего не нужно строить железную дорогу и отправлять ежедневно сотни вагонов. Достаточно построить мощную тепловую электростанцию, преобразовать химическую энергию горючего в электрическую энергию и по проводам передавать её. Кинетическую энергию движущейся воды в реке невозможно переправить на расстояние никаким транспортом. Но эту энергию можно преобразовать в электрическую энергию и затем отправить по проводам линий электропередачи в любое место на Земле.



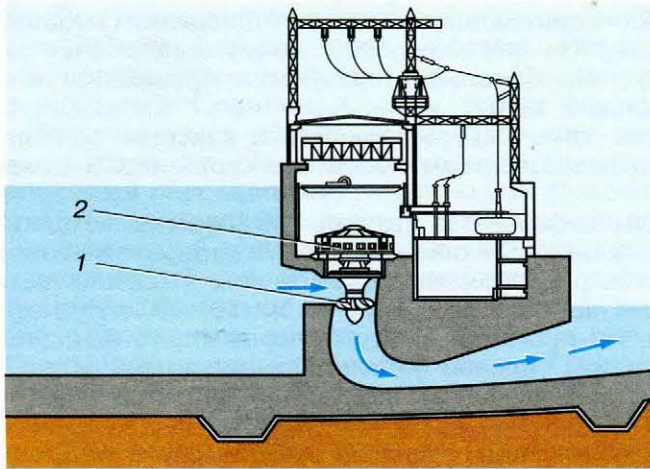


Рис. 26.2

? Вопросы

1. Как производится электроэнергия на тепловой электростанции?
2. Как производится электроэнергия на гидравлической электростанции?
3. Зачем строятся плотины для работы ГЭС?
4. Почему многие виды энергии не используются непосредственно, а сначала преобразуются в электрическую энергию?
5. Почему передача электроэнергии по проводам на большие расстояния осуществляется с помощью линий электропередачи под напряжением в сотни тысяч вольт?
6. Как работает трансформатор?

При передаче электрической энергии по проводам от электростанции к потребителю часть энергии теряется на нагревание проводов линий электропередачи. Мощность  $N$ , расходуемая в проводах линий электропередачи, пропорциональна квадрату силы тока  $I$  и электрическому сопротивлению  $R$  проводов:

$$N = I^2 R.$$

Для уменьшения потерь энергии на нагревание проводов линий электропередачи нужно уменьшить силу тока в проводах. Чтобы передать потребителям ту же самую мощность при уменьшении в  $n$  раз силы тока в линии электропередачи, нужно во столько же раз увеличить напряжение между проводами линии:

$$N = IU = \frac{I}{n} nU = IU = N.$$

Повышение напряжения для уменьшения потерь электроэнергии при передаче на большие расстояния осуществляется с помощью трансформаторов.

**Трансформатор.** Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции. Самый простой трансформатор состоит из двух катушек изолированного провода и замкнутого стального сердечника, проходящего сквозь обе катушки. Катушки изолированы друг от друга и от сердечника (рис. 26.3). Переменный ток в первой катушке создаёт в стальном сердечнике переменное магнитное поле. Это поле создаёт индукционный ток во второй катушке. Если число витков во второй катушке в  $n$  раз больше, чем в первой, то напряжение между концами второй катушки оказывается в  $n$  раз больше, чем между концами первой катушки.

Во сколько раз увеличивается напряжение на вторичной обмотке трансформатора, примерно во столько же раз уменьшается в ней сила тока при работе нагруженного трансформатора. В результате мощность тока в первичной и вторичной обмотках трансформатора почти одинакова, поэтому КПД трансформатора близок к единице.

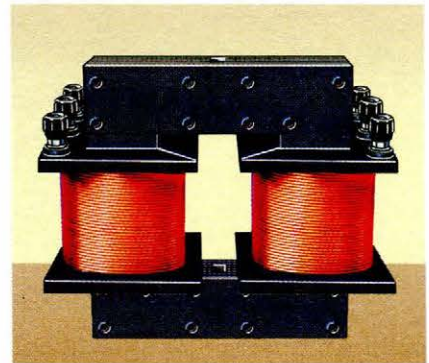


Рис. 26.3

**Задача 26.1.** Мощность гидроагрегата Красноярской ГЭС 508 млн Вт. Сколько кубометров воды должно проходить через турбину гидрогенератора за 1 с, если разность уровней воды перед плотиной и за плотиной 120 м и КПД преобразования механической энергии в электрическую равен 90%?



**Проблема обеспечения человечества энергией.** Во всём мире человечество потребляет в год примерно 400 квинтиллионов джоулей энергии. (1 квинтиллион равен 1 миллиарду миллиардов.) Из них около 90% получается за счёт сжигания каменного угля, нефти и газа. На одного жителя Земли приходится в среднем потребление энергии мощностью 2 кВт.

Использование ископаемого химического горючего в качестве основного источника энергии ставит перед человечеством несколько серьёзных и неотложных проблем.

Во-первых, каменный уголь, нефть и газ являются невозобновляемыми источниками энергии, их запасы невелики. По оценкам учёных, при современном уровне добычи и потребления достоверно известных запасов угля на Земле хватит примерно на 200 лет (а если не будет нефти и газа, то на 80–90 лет), нефти — на 40 лет, газа — на 75 лет. Если эти прогнозы окажутся верными, то нынешнему поколению людей нужно будет найти способы удовлетворения потребностей в энергии без использования нефти, а следующему поколению придётся искать замену газу.

Во-вторых, сжигание невозобновляемых запасов органического горючего неразумно, так как уголь, нефть и газ являются ценным сырьём для изготовления пластмасс, строительных материалов, для получения удобрений, искусственных тканей, лекарств.

В-третьих, продукты сгорания каменного угля и нефтепродуктов загрязняют атмосферу Земли, оказывают отрицательное воздействие на растения и весь животный мир.



Рис. 26.4

**Альтернативные источники энергии.** Перечисленные причины заставляют учёных и инженеров искать замену (альтернативу) используемым сегодня источникам энергии. Новые источники энергии в первую очередь должны быть возобновляемыми, неиссякаемыми и не загрязняющими окружающую среду.

Одним из перспективных возобновляемых источников энергии является биотопливо — топливо из биологического сырья, получаемое в результате переработки стеблей растений, семян и различного типа органических отходов (рис. 26.4). Для двигателей внутреннего сгорания как жидкое биотопливо применяются этанол, метанол, биодизель, а как газообразное — биогаз и водород.

По оценкам во всём мире из сельскохозяйственного оборота выведено около 400 млн га земли. Выращивание на этих землях сырья для производства биотоплива позволит увеличить долю биотоплива до 8% в мировом энергетическом балансе. На транспорте доля биотоплива может составить от 10 до 25%.

В настоящее время биотопливо занимает незначительную долю энергетического рынка. В развитых странах уровень потребления альтернативного автомобильного горючего составляет всего 4–5%. Однако, по прогнозным оценкам, к 2030 г. биотопливо может занять от 10 до 30% совокупного энергетического потребления.

В настоящее время возобновляемые источники энергии дают примерно 6% от общего потребления энергии. Среди этих источников главное место занимает энергия, получаемая на ГЭС путём преобразования энергии текущей воды.

Во многих странах строится всё больше ветровых электростанций (рис. 26.5).

Однако энергия рек и ветров не может заменить остальные источники энергии. Нужно вспомнить об основ-

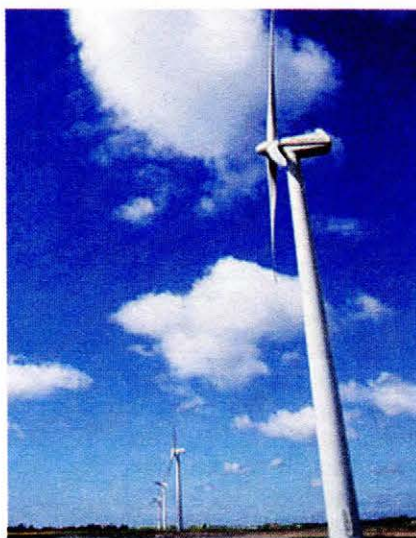


Рис. 26.5



ном источнике почти всех видов энергии на Земле — о Солнце. Все запасы органического горючего на Земле создавались 200–300 млн лет назад из остатков растений, использовавших энергию солнечного света. Энергия рек и ветров порождается Солнцем. Солнце сейчас светит так же, как 300 миллионов лет назад, и будет ещё светить много миллиардов лет. За одну секунду на поверхность Земли солнечный свет приносит энергию 200 квадриллионов джоулей (1 квадриллион равен 1 миллиону миллиардов). За полчаса от Солнца на Землю приходит столько энергии, сколько всё человечество расходует за год, а за трое суток приходит больше энергии, чем имеется во всех достоверно разведанных запасах угля, нефти и газа. Так что проблемы недостатка источников энергии в природе не существует, есть проблема способа использования неисчерпаемой энергии солнечного света, не приносящей никакого вреда жизни на Земле.

Самый простой способ использования солнечной энергии — это преобразование энергии света в электрическую энергию с помощью полупроводниковых фотоэлементов. Для солнечных электростанций могут быть использованы пустыни. Количество солнечной энергии, падающей на поверхность пустыни Сахары за год, более чем в 100 раз превышает количество энергии, потребляемой всем человечеством. Поэтому при КПД солнечных элементов 10% достаточно покрыть ими менее 10% поверхности пустыни для обеспечения всех потребностей в энергии.

На рисунке 26.6 показаны батареи солнечной электростанции мощностью 4 МВт в Калифорнии. В Португалии заработала одна из крупнейших в мире солнечных электростанций из 52 000 солнечных батарей общей мощностью 11 МВт.

Солнечные батареи устанавливают на крышах загородных домов. В светлую часть суток солнечная батарея вырабатывает энергию. Часть этой энергии расходуется, а избыток используется для зарядки аккумуляторной батареи. В тёмное время расходуется энергия, запасённая в аккумуляторе (рис. 26.7).

Гонимый автомобиль на солнечных батареях развивает скорость свыше 100 км/ч. За пять дней такой автомобиль, построенный студентами, пересёк Австралию (рис. 26.8). Несколько фирм готовят серийный выпуск электромобилей на солнечных батареях (рис. 26.9).



Рис. 26.6



Рис. 26.7



Рис. 26.8



Рис. 26.9

**? Вопросы**

1. Почему ведётся поиск альтернативных источников энергии?
2. Каким требованиям должны удовлетворять альтернативные источники энергии?
3. Какие примеры использования альтернативных источников энергии вы знаете?
4. Какие виды альтернативных источников энергии вы считаете наиболее перспективными?
5. Какие ещё варианты решения глобальной проблемы «энергетического голода» в ближайшем будущем вам представляются возможными?



## §27. Электромагнитные колебания

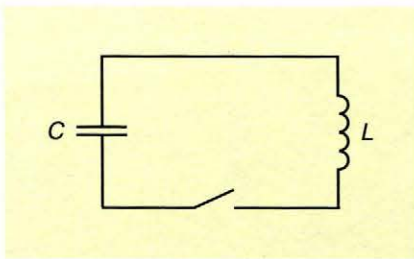


Рис. 27.1

**Колебательный контур.** Переменный электрический ток может быть получен как с помощью машинных генераторов, так и в очень простой электрической цепи, состоящей из катушки и конденсатора, называемой **колебательным контуром** (рис. 27.1).

В момент подключения катушки к заряженному конденсатору в ней возникает электрический ток (рис. 27.2, а). При возрастании тока в катушке в ней возникает ток самоиндукции противоположного направления, поэтому сила тока в катушке возрастает постепенно. Она достигает максимального значения в тот момент, когда конденсатор полностью разряжается (рис. 27.2, б). После разрядки конденсатора ток самоиндукции в катушке направлен так же, как и до момента начала убывания тока. Этот ток заряжает конденсатор, но знаки зарядов на его обкладках при этом оказываются противоположными первоначальному знакам (рис. 27.2, в). Когда ток самоиндукции становится равным нулю, конденсатор начинает разряжаться, создавая в катушке ток противоположного направления (рис. 27.2, г). Процессы зарядки и разрядки конденсатора периодически повторяются.

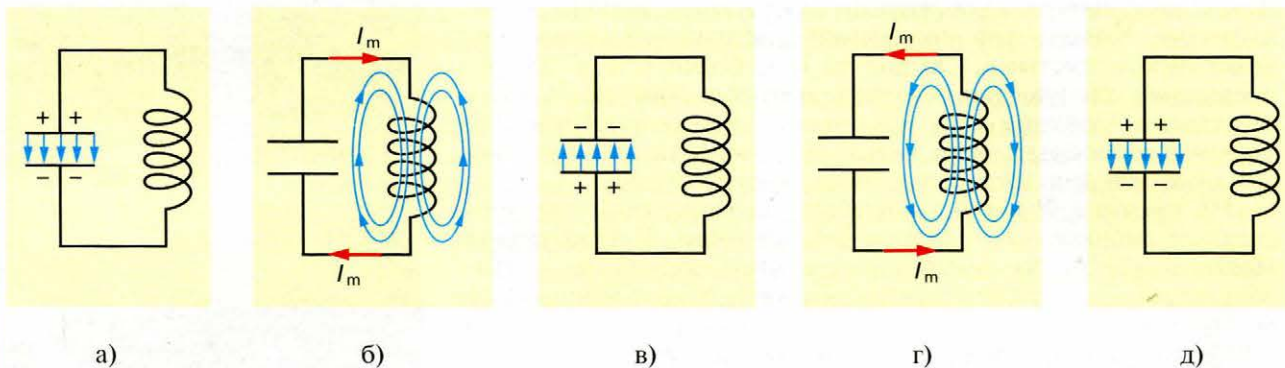


Рис. 27.2

Изменения силы тока в катушке и напряжения на конденсаторе колебательного контура, совершающиеся без потребления энергии от внешних источников, называются **свободными электромагнитными колебаниями**.

При свободных электромагнитных колебаниях в контуре энергия электрического поля конденсатора и энергия магнитного поля катушки периодически превращаются одна в другую. Сумма энергий электрического поля конденсатора и магнитного поля катушки остаётся неизменной.

Сила тока  $i_L$  в катушке колебательного контура и напряжение  $u_C$  на конденсаторе изменяются со временем по такому же закону, по какому изменяется напряжение на концах рамки, вращающейся в магнитном поле. Такие колебания называются **гармоническими колебаниями**. Изменения силы тока в контуре всё время отстают от изменений напряжения на конденсаторе на четверть периода колебаний (рис. 27.3).

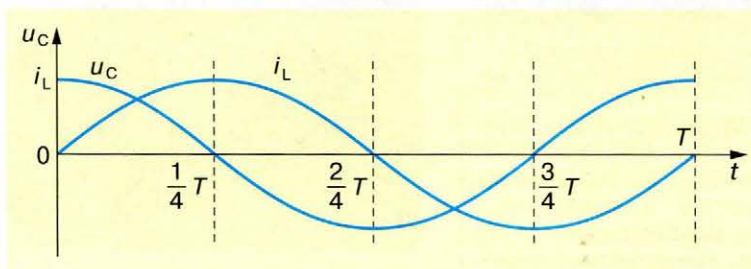


Рис. 27.3

Период  $T$  гармонических колебаний увеличивается с возрастанием индуктивности  $L$  катушки и электрической ёмкости  $C$  конденсатора.



**Затухающие электрические колебания.** При возникновении колебаний в электрическом контуре происходит нагревание проводников и диэлектрика, энергия электрического и магнитного полей постепенно превращается во внутреннюю энергию теплового движения атомов вещества. Поэтому амплитуды колебаний силы тока в катушке и напряжения на конденсаторе со временем уменьшаются, и через некоторое время свободные колебания в контуре прекращаются. Такие свободные электромагнитные колебания в контуре называются **затухающими**.

Изменения силы тока в колебательном контуре со временем при затухающих колебаниях можно наблюдать в опыте с катушкой и заряженным конденсатором. Конденсатор сначала заряжается от источника постоянного тока, а затем ключом К подключается к катушке с железным сердечником (рис. 27.4).

Для обнаружения затухающих колебаний силы тока в катушке на том же сердечнике имеется вторая катушка с меньшим числом витков, в которой переменный ток первой катушки возбуждает индукционный ток в трансформаторе. Концы второй катушки подключены к демонстрационному гальванометру Г. После подключения катушки к заряженному конденсатору стрелка гальванометра несколько раз отклоняется сначала в одну, потом в другую сторону, обнаруживая возникновение затухающих электромагнитных колебаний в электрическом контуре (рис. 27.5).

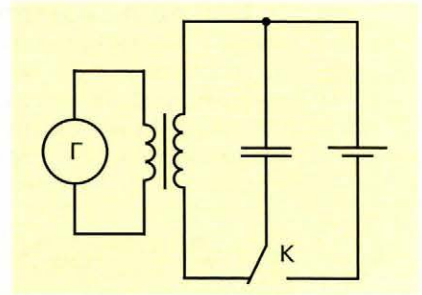


Рис. 27.4

**? Вопросы**

1. Что называется электрическим колебательным контуром?
2. Как происходят свободные электромагнитные колебания в контуре?
3. Почему затухают свободные колебания в электрическом контуре?
4. Каков принцип действия автоколебательного генератора?

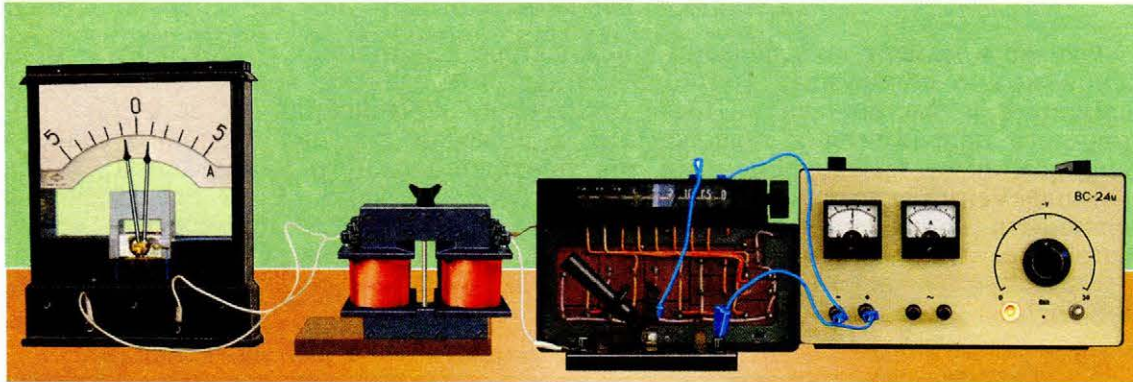


Рис. 27.5

**Автоколебательный генератор.** Для поддержания незатухающих электромагнитных колебаний необходимо пополнять запасы энергии в контуре путём периодических подключений конденсатора контура к источнику постоянного тока (в моменты совпадения знаков зарядов на его обкладках со знаками полюсов подключаемого источника тока). Быстродействующим «ключом», способным сотни тысяч или миллионы раз в секунду подключать конденсатор к источнику тока и отключать его, может служить транзистор (рис. 27.6). Управляющий сигнал на базу транзистора подаётся от колебательного контура через катушку и конденсатор. Это устройство «самоуправления» называется обратной связью. Генератор с обратной связью, способный поддерживать электрические колебания с постоянной амплитудой за счёт автоматического пополнения энергии от внутреннего источника, называется **автоколебательным генератором**.

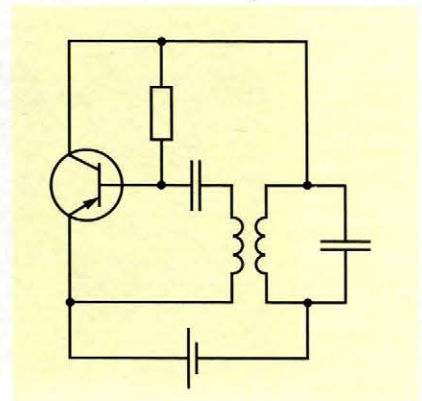


Рис. 27.6



**Резистор, катушка и конденсатор в цепи переменного тока.** Закономерности прохождения переменного тока через конденсатор и катушку принципиально отличаются от закономерностей прохождения через них постоянного тока.

При последовательном подключении конденсатора и электрической лампы к источнику постоянного напряжения лампа не светится (рис. 27.7). Постоянный ток не проходит через конденсатор, так как электрическое сопротивление диэлектрика между его обкладками очень велико.

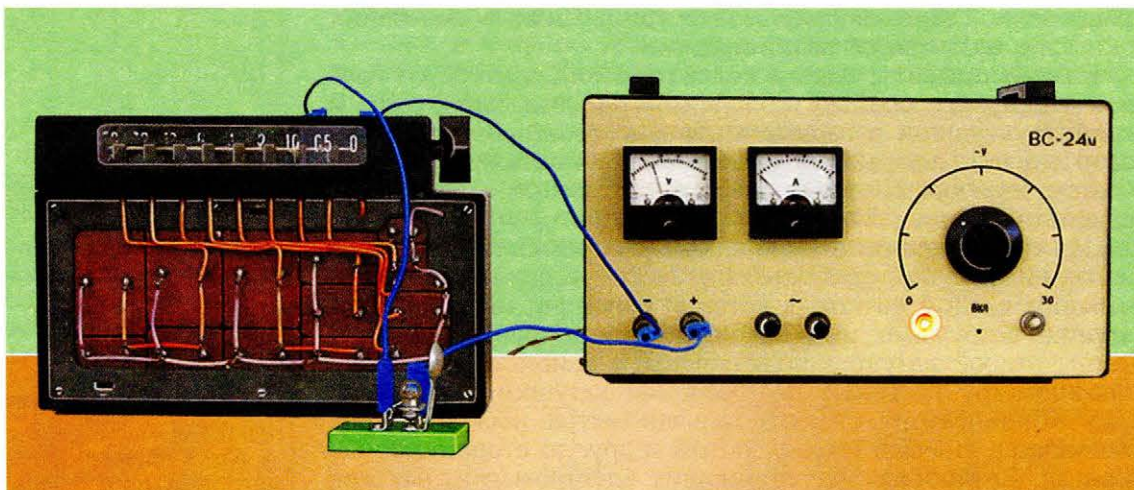


Рис. 27.7

Однако в момент подключения конденсатора к источнику постоянного напряжения можно обнаружить кратковременный ток зарядки конденсатора, лампа вспыхивает и быстро гаснет. После отключения конденсатора от источника постоянного напряжения и подключения к полюсам противоположного знака в цепи возникает кратковременный ток противоположного направления, лампа кратковременно вспыхивает, конденсатор перезаряжается. Если переключение полярности напряжения происходит 50 раз в секунду, то промежутки между вспышками и погасаниями лампы так малы, что глаз человека не успевает заметить изменений яркости света (рис. 27.8). Так через конденсатор проходит переменный ток.

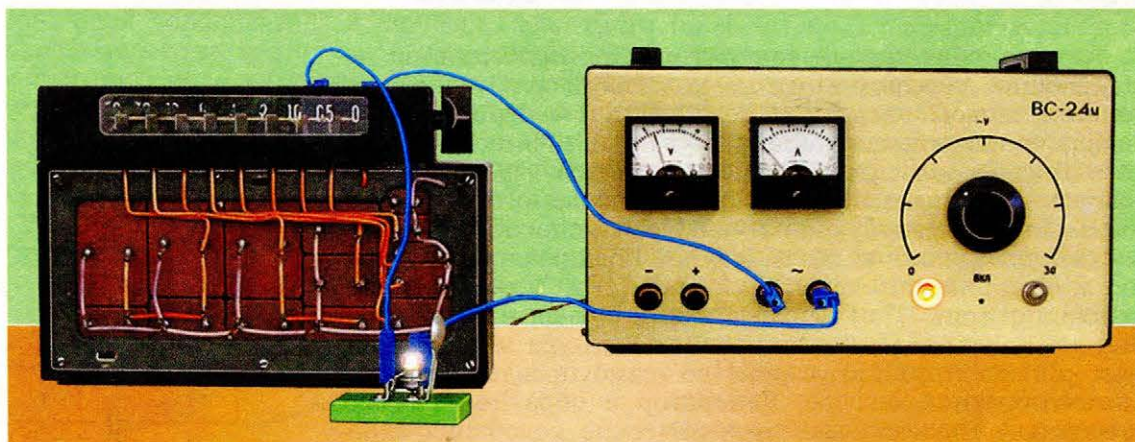


Рис. 27.8



Переменный электрический ток не проходит сквозь диэлектрик, происходят только периодические процессы зарядки и разрядки конденсатора. Это обеспечивает протекание переменного тока через остальные элементы электрической цепи, включённые последовательно с конденсатором. Чем выше частота переменного напряжения, тем большее число раз перезаряжается конденсатор. Поэтому при одной и той же амплитуде переменного напряжения ток через конденсатор возрастает прямо пропорционально частоте колебаний.

При одной и той же амплитуде переменного напряжения ток через катушку убывает с возрастанием частоты колебаний. Это объясняется возрастанием влияния токов самоиндукции с увеличением частоты переменного тока.

Электрическое сопротивление прямого проводника очень мало зависит от частоты переменного тока при частотах до десятков тысяч герц.

### Резонанс в электрической цепи переменного тока.

В цепи, состоящей из последовательно соединённых резистора, катушки и конденсатора (рис. 27.9), при постоянной амплитуде колебаний напряжения амплитуда колебаний силы тока изменяется при изменении частоты  $\nu$  электрических колебаний. Амплитуда колебаний силы тока в цепи сначала возрастает с увеличением частоты, достигает максимального значения, а затем убывает (рис. 27.10). Такой вид зависимости амплитуды колебаний силы тока от частоты объясняется тем, что колебания напряжения на конденсаторе отстают от колебаний силы тока на четверть периода, а колебания напряжения на катушке опережают колебания силы тока на четверть периода. При последовательном включении катушки и конденсатора колебания силы тока в них происходят одновременно, поэтому напряжение на катушке всё время противоположно по знаку напряжению на конденсаторе. Частота, при которой амплитуда колебаний силы тока в последовательной цепи переменного тока достигает максимального значения при постоянной амплитуде колебаний напряжения, называется **резонансной частотой**.

Резонансная частота вынужденных электромагнитных колебаний совпадает с частотой свободных электромагнитных колебаний в контуре. При резонансе в последовательной цепи напряжения на катушке и конденсаторе в любой момент времени одинаковы по модулю и противоположны по знаку. Сумма напряжений на катушке и конденсаторе оказывается равной нулю, полное напряжение на трёх элементах цепи оказывается равным напряжению на резисторе. В результате значение силы тока в электрической цепи, состоящей из последовательно включённых резистора, конденсатора и катушки, при резонансе такое, как при включении только одного резистора:

$$I_m = U/R.$$

На явлении электрического резонанса основаны радиосвязь, телевидение и мобильная телефонная связь. При настройке колебательного контура приёмного устройства в резонанс с частотой передатчика в приёмном устройстве получается сигнал максимальной амплитуды.

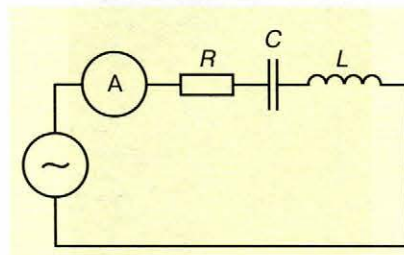


Рис. 27.9

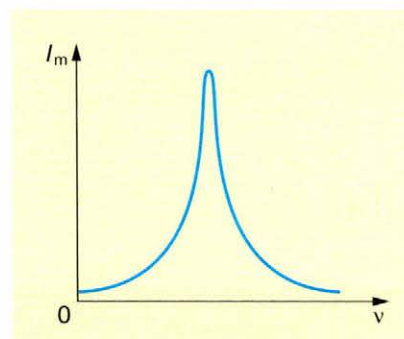
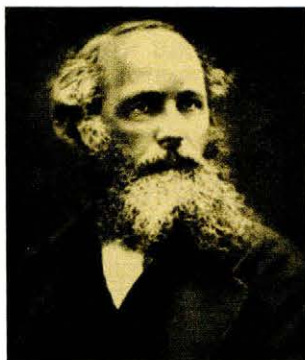


Рис. 27.10

### ? Вопросы

1. Как переменный ток проходит через конденсатор?
2. Зависит ли амплитуда колебаний силы тока, проходящего через конденсатор, от частоты приложенного переменного напряжения?
3. Как изменяется амплитуда колебаний силы тока, проходящего через катушку, при увеличении частоты колебаний приложенного переменного напряжения?
4. Чем объясняется такая зависимость?
5. Что такое электрический резонанс?
6. Чем объясняется явление электрического резонанса?
7. Где применяется явление электрического резонанса?





Джеймс Клерк Максвелл

**Гипотеза Максвелла.** На основе представлений Майкла Фарадея об электрических и магнитных полях английский физик Джеймс Клерк Максвелл создал теорию электромагнетизма. По представлениям Фарадея, любые изменения магнитного поля порождают вихревое электрическое поле. Например, при движении магнита по направлению чёрной стрелки (рис. 28.1) вокруг изменяющегося магнитного поля, обозначенного силовыми линиями синего цвета, возникает вихревое электрическое поле, обозначенное силовой линией красного цвета.

Максвелл в 1864 г. предположил, что и любое изменение электрического поля сопровождается возникновением вихревого магнитного поля. Силовые линии этого поля замкнуты, они расположены вокруг силовых линий переменного электрического поля точно так же, как вокруг проводников с электрическим током. Это значит, что при прохождении переменного тока между пластинами плоского конденсатора вокруг изменяющегося электрического поля (силовые линии красного цвета) должно возникать вихревое магнитное поле (замкнутые силовые линии синего цвета) (рис. 28.2).

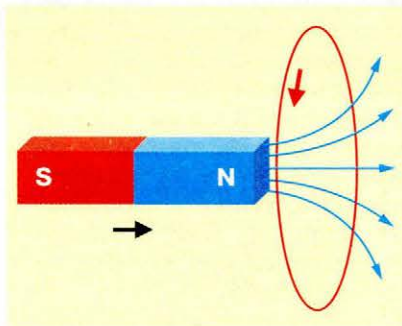


Рис. 28.1

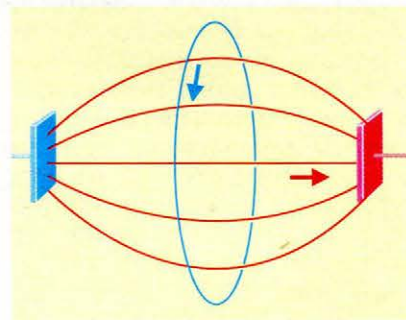


Рис. 28.2



### Прочитайте

Громов С. В. Максвелл Дж. К. Энциклопедия элементарной физики. — М.: Просвещение, 2007. — С. 168—170.

Согласно гипотезе Максвелла процесс взаимного порождения изменяющимся электрическим полем магнитного поля и изменяющимся магнитным полем электрического поля может неограниченно распространяться, захватывая всё новые и новые области пространства (рис. 28.3).

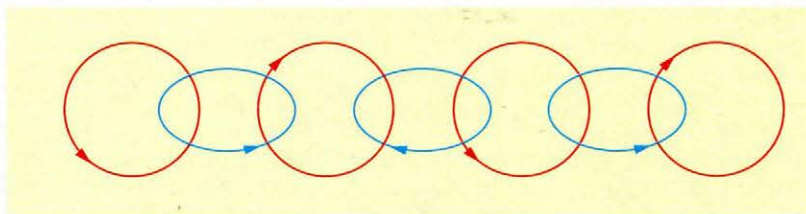


Рис. 28.3



### Найдите

<http://class-fizika.narod.ru/port7.htm> (Этюды об учёных. Дж. К. Максвелл.)

Распространяющиеся в пространстве переменные электрическое и магнитное поля, порождающие взаимно друг друга, называются электромагнитной волной.



**Скорость распространения электромагнитных волн.** Максвелл на основе своей теории математически доказал, что в вакууме скорость  $c$  электромагнитной волны должна быть равна:

$$c = 299\,792\,458 \text{ м/с} \approx 300\,000 \text{ км/с.}$$

Для подтверждения гипотезы Максвелла о существовании электромагнитного поля необходимо было экспериментальное открытие электромагнитных волн.

**Открытие электромагнитных волн.** Электромагнитные волны были открыты немецким физиком Генрихом Герцем в 1887 г. В своих опытах Герц использовал два металлических стержня с шарами на концах, в которых при электрическом разряде возникали такие электромагнитные колебания, как в электрическом контуре. Герц обнаружил, что при подаче высокого напряжения между шарами 1 происходил электрический разряд и одновременно на некотором расстоянии от них возникала искра между шарами 2 на концах проволочной рамки (рис. 28.4). Это доказывало, что при электрических колебаниях в электрическом контуре в пространстве возникает вихревое переменное электромагнитное поле. Это поле создаёт электрический ток в витке проволоки.

Измерив частоту  $\nu$  гармонических колебаний в контуре и длину  $\lambda$  электромагнитной волны, Герц определил скорость электромагнитной волны:

$$v = \lambda \nu.$$

Значение скорости электромагнитной волны, полученной в эксперименте Герца, совпало со значением скорости электромагнитной волны по гипотезе Максвелла. Так представления Фарадея о существовании электрических и магнитных полей как физической реальности получили экспериментальное подтверждение.

Силовые линии электрического и магнитного полей в электромагнитной волне перпендикулярны друг другу и лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны (см. рис. 28.4).

**Свет — электромагнитная волна.** Вычисленная на основании гипотезы Максвелла скорость электромагнитной волны совпала с наблюдаемой в опытах скоростью света. Это совпадение позволило предположить, что свет является одним из видов электромагнитных волн.



Генрих Герц

**Прочитайте**

Неудавшееся опровержение// Энциклопедия для детей. Физика. — М.: Аванта+, 2001. — Т. 16. — Ч. 2. — С. 54—55.

**Вопросы**

1. Какую гипотезу высказал Максвелл при создании теории электромагнетизма?
2. Какой эксперимент послужил доказательством правильности теории близкодействия?
3. Как Герц измерил скорость электромагнитной волны?
4. Какой факт является доказательством того, что свет — электромагнитная волна?

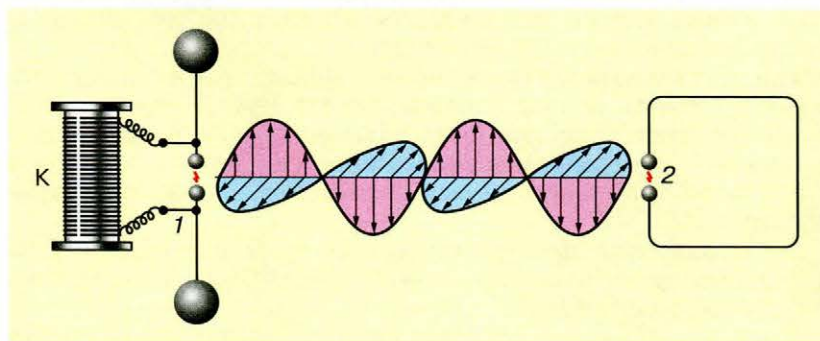


Рис. 28.4



### Виды и свойства электромагнитных излучений

**Радиоволны.** Электромагнитные волны с длиной волны примерно от одного миллиметра до нескольких километров называются **радиоволнами**. Радиоволны излучаются антеннами радио- и телепередатчиков, радиолокаторов, мобильными телефонами, грозowymi разрядами, звёздами и веществом в межзвёздном пространстве.

**Инфракрасное излучение.** Электромагнитные волны с длиной волны примерно от 1 мм до 0,8 мкм называются **инфракрасным излучением**. Любые тела при нагревании вследствие теплового движения заряженных частиц внутри их испускают электромагнитное излучение. При температуре от  $-263$  до  $\sim 3000$  °С основная часть электромагнитного излучения относится к области инфракрасного излучения.

Органы чувств человека воспринимают инфракрасное излучение как тепло, идущее от горячих предметов. Инфракрасное излучение применяется в технике для прогрева и сушки материалов и изделий.

**Видимый свет.** При температуре от  $\sim 3000$  до  $\sim 10\,000$  °С, какую имеют поверхности Солнца и звёзд, в составе излучений любых тел имеются электромагнитные волны с длиной волны примерно от 0,8 до 0,4 мкм. Это излучение видит глаз человека, поэтому его называют **видимым светом**.

**Ультрафиолетовое излучение.** При температуре вещества выше  $\sim 10\,000$  °С значительная часть излучения приходится на **ультрафиолетовое излучение**. Ультрафиолетовым излучением называются электромагнитные волны с длиной волны от 0,4 до 0,01 мкм. Оно обладает большой биологической активностью. Под действием ультрафиолетового излучения погибают болезнетворные бактерии и вирусы. Это его свойство используется в медицине для обработки инструментов и материалов.

Из-за биологической активности ультрафиолетовое излучение может быть опасным для человека. Поэтому излишнее солнечное облучение кожи вредно для здоровья человека из-за наличия ультрафиолетового излучения в составе солнечного света.

**Рентгеновские лучи.** Электромагнитные излучения с длиной волны менее 0,01 мкм называют **рентгеновским излучением** или **рентгеновскими лучами**. Это излучение возникает при торможении быстрых электронов в веществе или при переходах электронов внутри атомов с одной орбиты на другую.

Рентгеновские лучи при прохождении через вещество обладают большой проникающей способностью. Это их свойство используется в медицине для получения снимков костного скелета человека (рис. 28.5).

**Гамма-излучение.** Электромагнитные излучения с длиной волны менее 0,01 мкм, испускаемые атомными ядрами или элементарными частицами при их превращениях, называют **гамма-излучением** или **гамма-лучами**. Рентгеновское и гамма-излучения обладают сильным биологическим действием и при больших дозах могут принести серьёзный вред живому организму. Их угнетающее действие на живые клетки используется в медицине для подавления развития злокачественных опухолей.

**Свойства электромагнитных волн.** Исследования показали, что электромагнитные волны отражаются от любых проводящих тел. Переменное электрическое поле падающей электромагнитной волны возбуждает вынужденные колебания свободных зарядов в проводнике, колебания электрических зарядов порождают отражённую волну.

Свойство **отражения** электромагнитных волн используется на практике для определения местоположения кораблей и самолётов, ракет и космических кораблей.

Устройства, посылающие радиоволны в заданном направлении и принимающие отражённый сигнал, называются **радиолокаторами**. С помощью радиолокатора расстояние  $l$  до самолёта опреде-



Рис. 28.5



ляют путём измерения интервала времени  $t$  между моментами отправления электромагнитной волны и возвращения отражённой волны. Искомое расстояние  $l$  равно:  $l = c \frac{t}{2}$ , где  $c$  — скорость распространения радиоволн. Вид



антенны радиолокатора и схема использования радиолокатора в военных целях представлены на рисунке 28.6.

При переходе электромагнитной волны из одного диэлектрика в другой может изменяться направление её распространения. Это явление называется **преломлением волн**. Преломление происходит из-за изменения скорости распространения волн при переходе из одного диэлектрика в другой.

У края препятствия электромагнитные волны могут отклоняться от прямолинейного пути распространения. Это явление называется **дифракцией волн**.

Если на пути электромагнитной волны находится экран с двумя отверстиями, то в различных точках за экраном в результате сложения колебаний от двух источников амплитуда колебаний может иметь различное значение в зависимости от разности расстояний до двух источников. Это явление называется **интерференцией волн**.

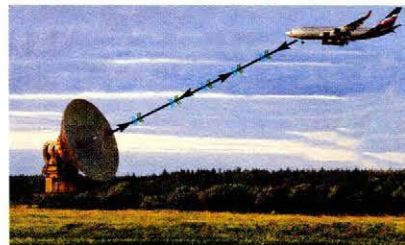


Рис. 28.6

### Экспериментальное задание 28.1

#### Работаем в паре

#### Исследование свойств электромагнитных волн

**Оборудование:** два мобильных телефона, пластмассовая или стеклянная коробка с крышкой, металлическая фольга.

**Исследуйте способность электромагнитных волн проникать сквозь преграды из диэлектрика и металла.**

#### Порядок выполнения задания

1. Проверьте способность мобильного телефона принимать электромагнитные волны от станции мобильной связи. Для этого позвоните на первый телефон со второго телефона.
2. Положите первый телефон в пластмассовую коробку с крышкой и снова позвоните на него со второго телефона (рис. 28.7). Сделайте вывод: способны ли электромагнитные волны проникать сквозь преграды из диэлектрика?
3. Заверните первый телефон в два слоя металлической фольги и снова позвоните на него со второго телефона. Сделайте вывод: способны ли электромагнитные волны проникать сквозь преграды из металла?



Рис. 28.7



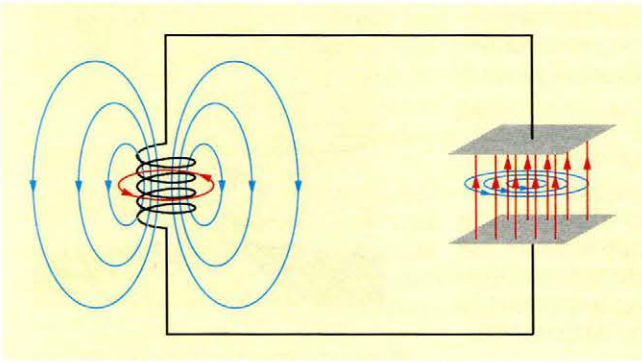


Рис. 29.1

**Излучение электромагнитных волн.** От обычного колебательного контура, состоящего из конденсатора и катушки, происходит очень слабое излучение электромагнитных волн. При изменениях электрического поля в конденсаторе (силовые линии красного цвета) порождаемое им вихревое магнитное поле (силовые линии голубого цвета) «привязано» к нему и не может выйти в окружающее пространство. К катушке «привязано» её магнитное поле и порождаемое им вихревое электрическое поле (рис. 29.1).

Для излучения электромагнитных волн нужна **антенна**. Антенна является колебательным контуром, состоящим из катушки и двух стержней, присоединённых к противоположным концам катушки (рис. 29.2). Эти стержни можно представить обкладками развёрнутого конденсатора. Колебательный контур антенны настраивается в резонанс с контуром генератора, и в нём возбуждаются вынужденные электрические колебания. Переменный ток в антенне передатчика можно представить как периодическое колебательное движение двух точечных электрических зарядов противоположного знака от концов антенны к её середине и обратно (рис. 29.2, а). При движении зарядов от концов антенны к её середине электрическое поле изменяется, изменения электрического поля порождают вихревое магнитное поле (рис. 29.2, б).



Александр Степанович Попов

В момент встречи зарядов в середине антенны концы силовых линий электрического поля смыкаются и формирование вихревого электрического поля, не связанного с электрическими зарядами, завершается (рис. 29.2, в). Изменяющиеся вихревые электрическое и магнитное поля, распространяющиеся в пространстве со скоростью света, называются **электромагнитными волнами**.

Открытие электромагнитных волн, распространяющихся со скоростью 300 000 км/с, сделало возможным изобретение радиосвязи.

**Изобретение радио.** В 1895 г. русский физик Александр Степанович Попов впервые продемонстрировал возможность использования электромагнитных волн

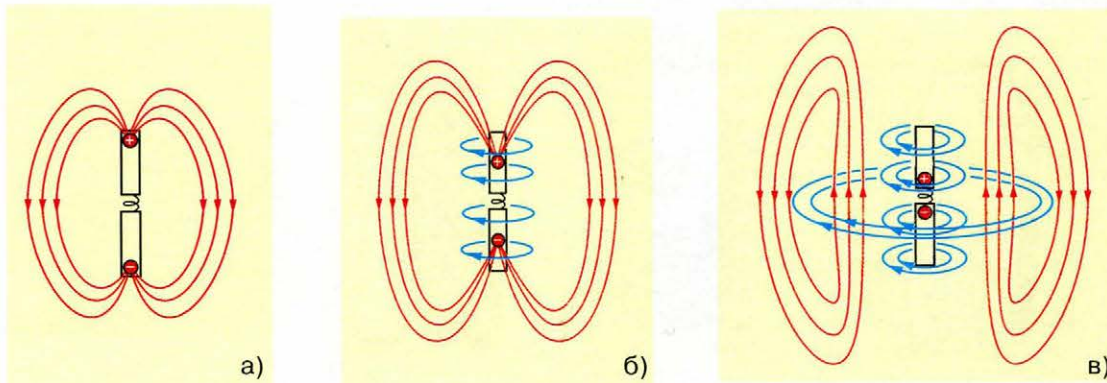


Рис. 29.2



для передачи информации без применения проводов. Этот способ получил название **радиосвязи**.

**Радиопередатчик.** Для осуществления радиосвязи необходимы радиопередатчик и радиоприёмник. Главной частью радиопередатчика является генератор электромагнитных колебаний высокой частоты — от сотен килогерц до сотен мегагерц. Для передачи звуковых сигналов с помощью радиоволн необходимо сначала преобразовать звуковые колебания в электрические. Такое преобразование осуществляется с помощью **микрофона**.

Электродинамический микрофон состоит из постоянного магнита *1*, катушки из тонкого провода *2* и тонкой упругой диафрагмы *3*. Катушка приклеена к диафрагме и находится в магнитном поле постоянного магнита (рис. 29.3).

Звуковые волны вызывают колебания диафрагмы микрофона, вместе с диафрагмой с той же частотой колеблется катушка. При колебаниях в магнитном поле в катушке возникает индукционный переменный ток с частотой звуковых колебаний (рис. 29.4, б).

Усиленный электрический сигнал от микрофона поступает на генератор радиопередатчика и превращает высокочастотные колебания постоянной амплитуды (рис. 29.4, а) в высокочастотные колебания, амплитуда которых изменяется со звуковой частотой (рис. 29.4, в). Такие колебания называются **амплитудно-модулированными**.

Колебательный контур генератора индуктивно связан с контуром передающей антенны. Антенна передатчика излучает в пространство модулированные электромагнитные волны высокой частоты.

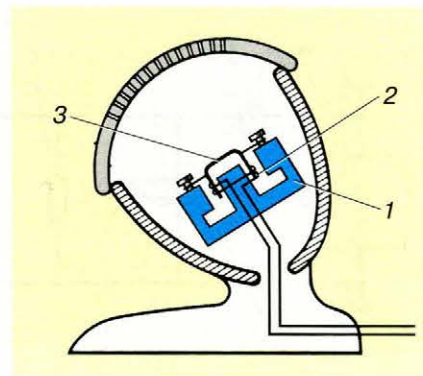


Рис. 29.3

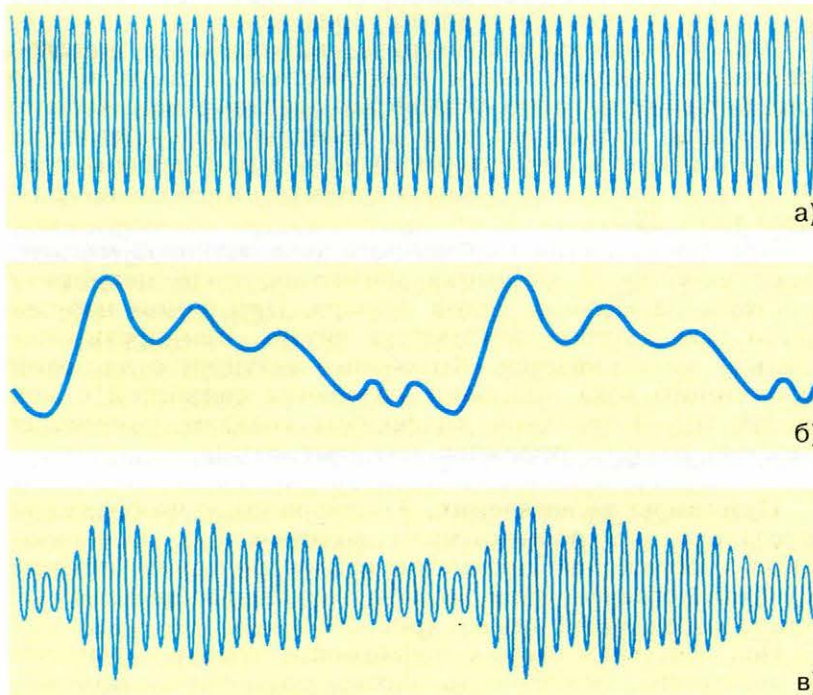


Рис. 29.4

**? Вопросы**

1. Почему для излучения электромагнитных волн нужна антенна?
2. Как звуковые колебания преобразуются в электрические колебания?
3. Что такое модуляция?



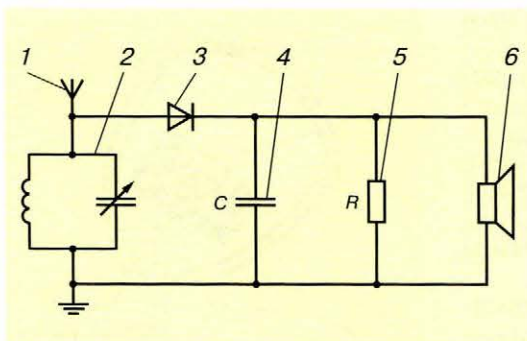


Рис. 29.5

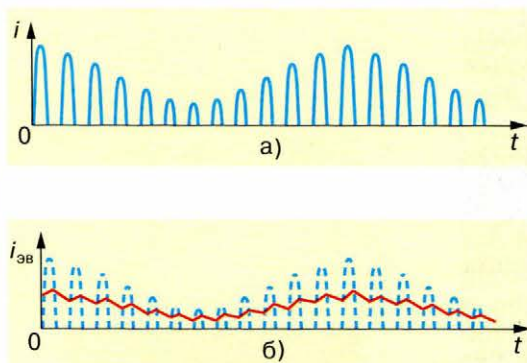


Рис. 29.6

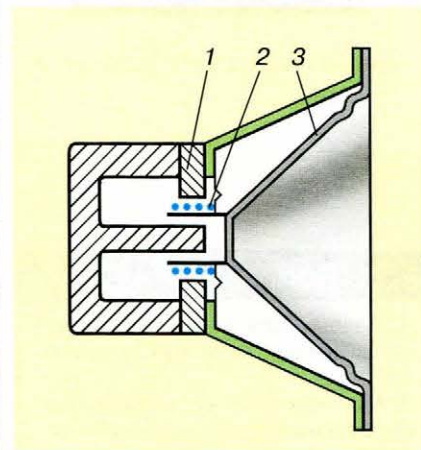


Рис. 29.7

**Радиоприём.** Схема простейшего детекторного приёмника представлена на рисунке 29.5. В антенне 1 приёмника электромагнитные волны от всевозможных источников возбуждают вынужденные электромагнитные колебания. Изменением ёмкости конденсатора в колебательном контуре 2 можно настроить приёмник на нужную волну. При совпадении собственной частоты контура с частотой электромагнитной волны возникает электрический резонанс и амплитуда колебаний силы тока в контуре становится максимальной.

Диод 3 пропускает ток только в одном направлении, поэтому в цепи диода электрический ток протекает в виде импульсов тока одинаковой полярности, но разной амплитуды. Процесс превращения высокочастотного переменного тока в последовательность импульсов тока одинаковой полярности называется **детектированием**, а диод в этом случае служит **детектором**.

Амплитуда импульсов тока после детектора изменяется со звуковой частотой модулирующего сигнала микрофона (рис. 29.6, а).

Для превращения импульсов тока в переменный ток звуковой частоты используются конденсатор 4 и резистор 5. Выбираются такие значения электрической ёмкости конденсатора и электрического сопротивления резистора, при которых конденсатор заряжается каждым импульсом тока, но не успевает полностью разрядиться через резистор  $R$  за половину периода высокочастотных колебаний и напряжение на конденсаторе изменяется со звуковой частотой (рис. 29.6, б).

Для преобразования электрических колебаний звуковой частоты в звуковые волны используется динамик 6. Его устройство аналогично устройству электродинамического микрофона, только катушка 2 изготавливается из более толстого провода, рассчитанного на большие значения силы тока, и диафрагма 3 имеет существенно большие размеры (рис. 29.7).

При пропускании переменного тока звуковой частоты через катушку 2 динамика магнитное поле магнита 1 действует на катушку силой Ампера. При одном направлении тока катушка втягивается внутрь, при противоположном выталкивается. Колебания катушки с частотой переменного тока вызывают колебания связанной с ней диафрагмы. Колебания диафрагмы создают изменения давления воздуха, порождая звуковые волны.

**Принципы телевидения.** Телевизионные изображения передаются электромагнитными волнами. Для преобразования изображений предметов в электрические сигналы объектив телевизионной камеры создаёт изображение на экране передающей трубки (рис. 29.8).

Под действием света с поверхности экрана вырываются электроны, поверхность экрана приобретает положительный заряд. Заряды разных участков экрана определяют картину светового изображения.



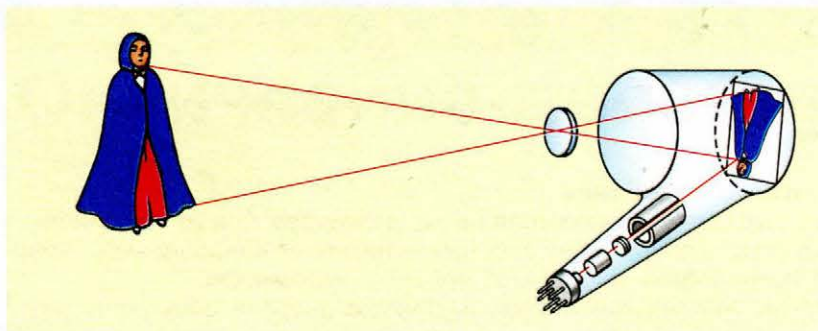


Рис. 29.8

Электронный луч пробегает по экрану передающей трубки 625 раз за  $1/25$  секунды, спускаясь с каждой строкой всё ниже по кадру изображения. При перемещении луча по экрану передающей трубки сила тока в цепи экрана изменяется в соответствии с накопленным на каждом элементе экрана положительным зарядом. Эти изменения тока используются для модуляции сигнала, посылаемого телевизионным передатчиком.

**Телевизионный приёмник.** В телевизионном приёмнике при поступлении сигнала от передатчика электронный луч под действием управляющих магнитных полей начинает движение по первой из 625 строк телевизионного кадра. Интенсивность электронного луча, а следовательно, и яркость точек на экране телевизора в процессе перемещения луча вдоль строки регулируются сигналом, полученным от телевизионного передатчика. Так строка за строкой строится всё изображение кадра.

**Цветное телевидение.** Для получения цветного телевизионного изображения используются три передающие трубки с красным, зелёным и синим светофильтрами.

В кинескопе цветного телевизора имеется три электронно-лучевые пушки 1 (рис. 29.9). Одновременное движение трёх электронных лучей по строкам кадра создаётся действием магнитных полей от катушек 2. Каждый из трёх электронных лучей 3 создаёт на экране 4 своё изображение — красное, зелёное, синее. Эти изображения получают отдельно потому, что каждый из трёх лучей 1 (рис. 29.10) проходит через маленькие отверстия в специальном экране 2 и попадает на экране 3 в только для них предназначенные ячейки, покрытые разными кристаллами, светящимися под ударами электронов соответственно красным, зелёным и синим цветом. Эти ячейки можно видеть на экране работающего телевизора с помощью увеличительной линзы (рис. 29.11).

На экране цветного телевизора имеется по 500 000 таких ячеек для каждого из трёх цветов. Смесь трёх цветов в разных пропорциях воспроизводит для глаза человека все оттенки наблюдаемых цветов.

Телевизионные передачи осуществляются на частотах от 50 до 230 МГц.

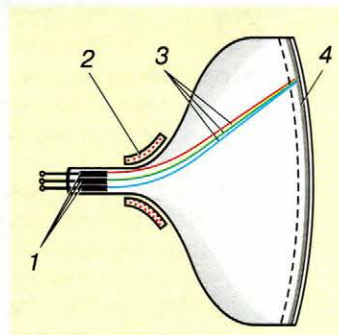


Рис. 29.9

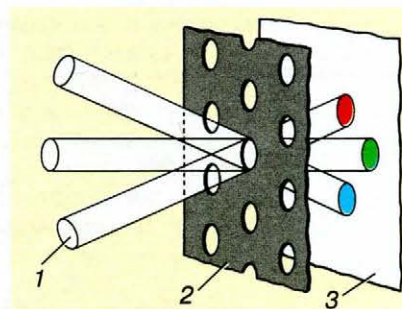


Рис. 29.10

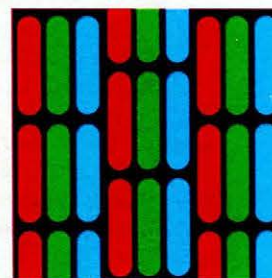


Рис. 29.11

### ? Вопросы

1. Для чего радиоприёмнику нужна антенна?
2. Как приёмник настраивается на нужную волну?
3. Для чего радиоприёмнику нужен детектор?
4. Как колебания переменного тока преобразуются в звуковые колебания?
5. Каков принцип действия телевизионного передатчика?
6. Каков принцип действия телевизионного приёмника?
7. Как получается цветное изображение на экране телевизора?



## ! Основные понятия

### Переменный ток

Переменным током называется электрический ток, изменяющийся во времени по модулю и направлению.

### Свободные электромагнитные колебания

Изменения силы тока в катушке и напряжения на конденсаторе при их параллельном соединении называются свободными электромагнитными колебаниями, если они совершаются без потребления энергии от внешних источников.

При свободных электромагнитных колебаниях в контуре энергия электрического поля конденсатора и энергия магнитного поля катушки периодически превращаются одна в другую. Сумма энергий электрического поля конденсатора и магнитного поля катушки остаётся неизменной.

### Резонанс в электрической цепи переменного тока

При постоянной амплитуде колебаний напряжения на соединённых последовательно резисторе, катушке и конденсаторе амплитуда колебаний силы тока зависит от частоты электрических колебаний. Амплитуда колебаний силы тока сначала возрастает с увеличением частоты, достигает максимального значения при некоторой частоте  $\nu_0$  и затем убывает. Частота  $\nu_0$ , при которой амплитуда колебаний силы тока достигает максимального значения, называется резонансной частотой. Явление увеличения силы тока в цепи до максимального значения при некотором значении частоты колебаний напряжения называется электрическим резонансом.

### Электромагнитные волны

Любые изменения магнитного поля порождают вихревое электрическое поле. Любое изменение электрического поля сопровождается возникновением вихревого магнитного поля. Процесс взаимного порождения изменяющимся электрическим полем магнитного поля и изменяющимся магнитным полем электрического поля может неограниченно распространяться в пространстве. Этот процесс называется электромагнитной волной.

### Свойства электромагнитных волн

Электромагнитные волны отражаются от любых проводящих тел. При переходе электромагнитной волны из одного диэлектрика в другой может изменяться направление её распространения. Это явление называется преломлением волн.

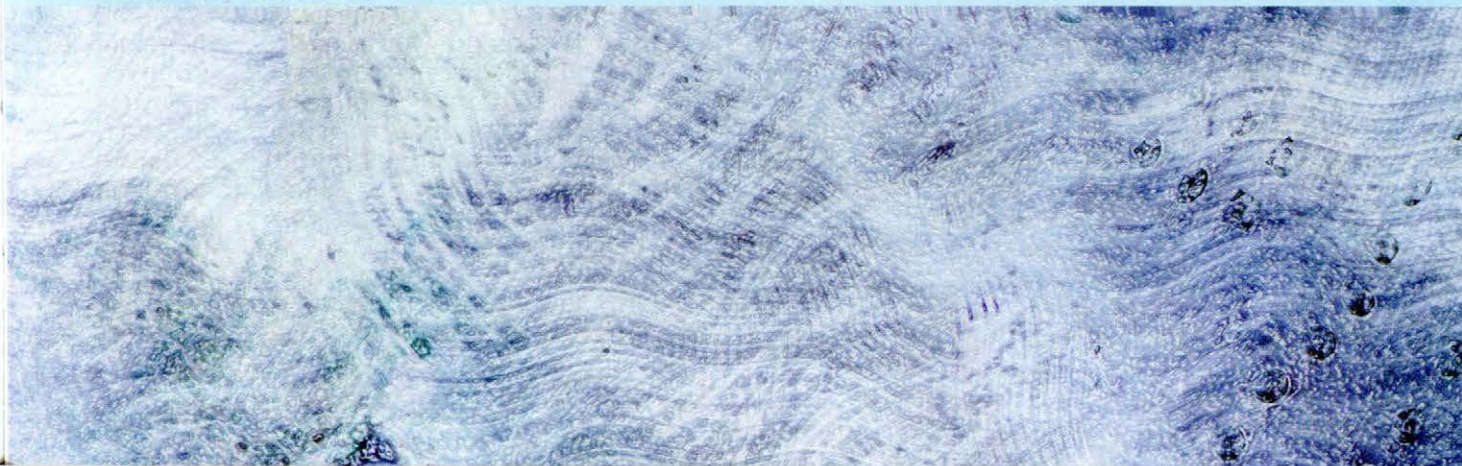
### Распределение видов электромагнитных излучений по длинам волн

Радиоволны	Инфракрасное излучение	Видимый свет	Ультрафиолетовое излучение	Рентгеновское и гамма-излучение
> 1 км — 1 мм	1 мм — 0,8 мкм	0,8 мкм — 0,4 мкм	0,4 мкм — 0,01 мкм	< 0,01 мкм



# Оптические явления

<b>30</b>	Свойства света	134
<b>31</b>	Отражение света	138
<b>32</b>	Преломление света	142
<b>33</b>	Линзы	146
<b>34</b>	Оптические приборы	150
<b>35</b>	Дисперсия света	154





**Действия света.** Благодаря способности глаза чувствовать действие света мы видим тела, излучающие свет, — Солнце, звёзды, пламя костра, нить электрической лампы, и тела, отражающие свет, — небо и землю, море и облака, деревья и дома, своё отражение в зеркале и других людей. Действие света мы ощущаем не только глазами, но и кожей, чувствуя тепло от солнечных лучей.

Под действием света Солнца происходит испарение воды с поверхности морей и океанов и приходит в действие вся «машина погоды» на Земле, создающая облака, дожди, реки, ветры, морские течения.

Собирая энергию солнечного света, растут зелёные растения и существует всё живое на Земле.

**Прямолинейное распространение света.** С древних времён люди понимали важную роль света в своей жизни и пытались разгадать его природу. Эта задача оказалась очень трудной, так как свойства света существенно отличаются от свойств обычных предметов, окружающих человека. «Кусочек света» нельзя взять в руку, как камень, взвесить на весах, измерить его длину или толщину.

Какими же свойствами обладает свет? Первое замечательное свойство света — прямолинейное распространение. Поставив на пути солнечного света экран с вертикальной щелью, за ним увидим свет только вдоль прямой, соединяющей лампы и щель. Это доказывает, что свет распространяется прямолинейно.

**Солнечные и лунные затмения.** Свойством прямолинейности распространения света объясняется образование теней от непрозрачных предметов при их освещении. Когда Луна проходит между Солнцем и Землёй, на поверхность Земли падает тень от Луны. На рисунке 30.1 представлена фотография тени от Луны на земной поверхности при наблюдении с космического корабля.

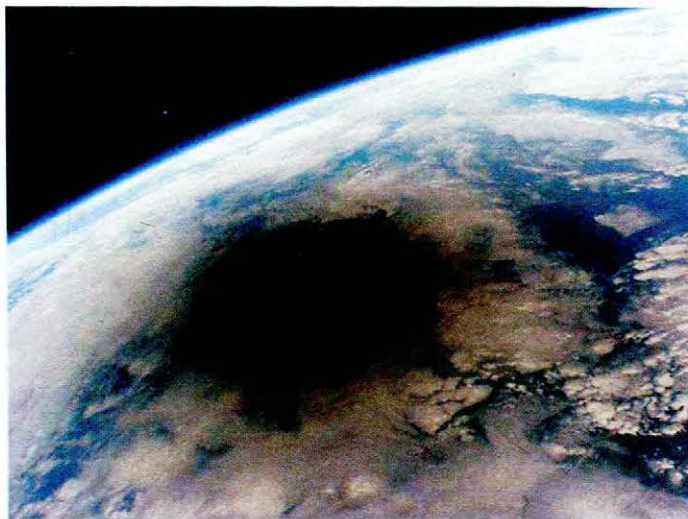


Рис. 30.1

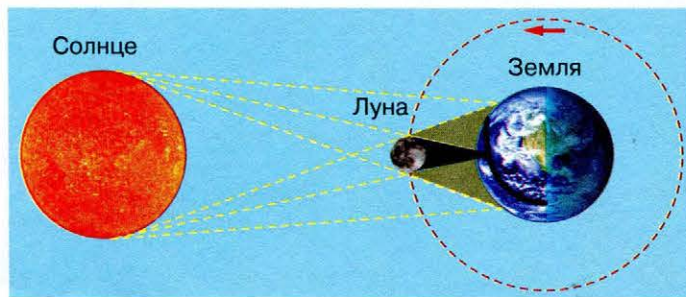


Рис. 30.2

В области лунной тени можно наблюдать полное солнечное затмение. Луна движется вокруг Земли со скоростью около 1 км/с, примерно с такой же скоростью движется тень от Луны по Земле, образуя полосу затмения длиной в несколько тысяч километров (рис. 30.2).

В тех местах на поверхности Земли, в которых Луна закрывает только часть диска Солнца, наблюдается частное затмение Солнца.

Когда Земля находится между Солнцем и Луной, на поверхность Луны падает тень от Земли и наблюдается лунное затмение (рис. 30.3).

**Корпускулярные и волновые свойства света.** Свойство прямолинейности распространения света объяснимо, если рассматривать свет как поток частиц. На латыни маленькая частица вещества называлась **корпускулой**. Поэтому свойства света, сходные со свойствами частиц вещества, называют **корпускулярными свойствами**. Однако в отличие от потоков обычных частиц пучки света при пересечении не оказывают друг на друга никакого влияния. Опыт показывает, что два световых пучка разного цвета проходят через одну точку простран-



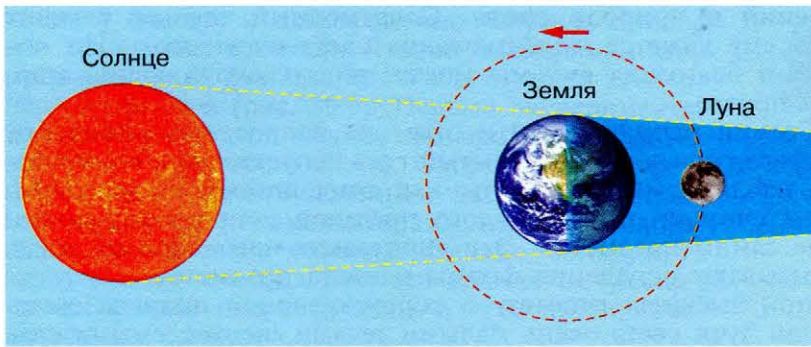


Рис. 30.3

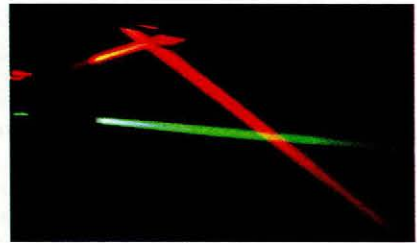


Рис. 30.4

ства не смешиваясь, не изменяются направление распространения и интенсивность каждого из световых пучков (рис. 30.4). Этим процесс распространения света похож на процесс распространения волн на поверхности воды или звуковых волн в воздухе. Точно так же звуковые волны от разных источников проходят через одну точку не влияя друг на друга. Экспериментальное открытие электромагнитных волн Генрихом Герцем и установление совпадения их скорости со скоростью света явились доказательством волновой природы света. Свет стал рассматриваться в физике как один из видов электромагнитных волн с очень короткой длиной волны.

**Световые лучи.** Световым лучом называется прямая линия, указывающая направление распространения световой волны. Когда с помощью экрана выделяется узкий пучок света от источника, то направление распространения света в таком пучке практически совпадает с направлением луча света.

**@ Найдите**  
[http://class-fizika.narod.ru/8\\_class.htm](http://class-fizika.narod.ru/8_class.htm) (Оптические явления.)

**? Вопросы**

1. Как связаны между собой явление образования тени за непрозрачными предметами и свойство прямолинейного распространения света?
2. Как связано явление солнечных затмений со свойством прямолинейного распространения света?

**Экспериментальное задание 30.1**

**Работаем самостоятельно**

**Изучение явления распространения света**

*Оборудование:* источник света, экран с щелью, карандаш, линейка.

**Поставьте на пути света от источника экран с щелью и наблюдайте, как распространяется свет за экраном.**

*Порядок выполнения задания*

1. Поставьте на пути света от источника экран с вертикальной щелью на лист белой бумаги и наблюдайте полоску света за экраном.

2. Отметьте карандашом на бумаге точку А около лампы, точку В у щели и точки В и Г на луче света за экраном (рис. 30.5). Уберите экран и с помощью линейки проведите прямую через точки А и В. Затем проведите прямую через точки В и Г. Убедитесь, что прямая ВГ является продолжением прямой АВ. Сделайте вывод.

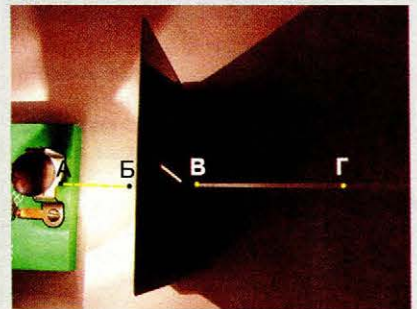


Рис. 30.5



**Развитие представлений о природе света.** Современный человек слышит слово «свет» с детства, и ему кажется существование света очевидным. Но понять, что существует свет и благодаря ему мы можем видеть окружающий мир, человеку было совсем не просто.

Философы Древней Греции пытались найти ответ на вопрос, как мы видим предметы вокруг нас. Пифагор считал, что открытый глаз испускает особые «флюиды» и ошупывает ими наблюдаемые предметы как тончайшими щупальцами. Древнегреческие атомисты считали, что с каждого предмета непрерывно срываются оболочки, подобные самим предметам. Эти «призраки» или «образы» предметов, попадая в глаз, вызывают ощущения формы и цвета предметов.

В 1672 г. Исаак Ньютон высказал гипотезу о корпускулярной природе света. Он писал: «Не являются ли лучи света очень малыми телами, испускаемыми светящимися веществами? Ибо такие тела будут проходить через однородные среды без загибания в тень соответственно природе лучей света. Они могут иметь также различные свойства и способны сохранять эти свойства неизменными при прохождении через различные среды, в чём заключается другое условие лучей света».

Английский учёный Роберт Гук и голландский учёный Христиан Гюйгенс выступили против корпускулярной теории света и выдвинули гипотезу о волновой природе света. Согласно представлениям Гука, «...свет — колебательное или дрожательное движение в среде... происходящее из подобного же движения в светящемся теле, подобно звуку... И как в звуке пропорциональные колебания производят различные гармоники, так и в свете различные странные и приятные цвета создаются при смешении пропорциональных движений. Первые воспринимаются ухом, а вторые — глазом». Гюйгенс писал: «Если принять во внимание... что лучи света проходят один через другой, не мешая друг другу, то станет совершенно понятным, что когда мы видим светящийся предмет, то это не может происходить вследствие переноса световой материи, доходящей до нас от этого предмета наподобие пули или стрелы, пересекающих воздух... Несомненно, что и свет доходит от светящегося тела до нас каким-нибудь движением, сообщённым веществу, находящемуся между ними и нами... движение, сообщённое веществу, постепенно распространяется так же, как и при звуке, сферическими поверхностями и волнами...»

**Скорость света.** Важнейшую роль в выяснении природы света сыграло опытное определение скорости его распространения. Первая попытка экспериментально определить скорость света была предпринята итальянским учёным Галилео Галилеем. В его опыте два экспериментатора с фонарями ночью отходили друг от друга на большое расстояние  $l$ . Первый экспериментатор открывал

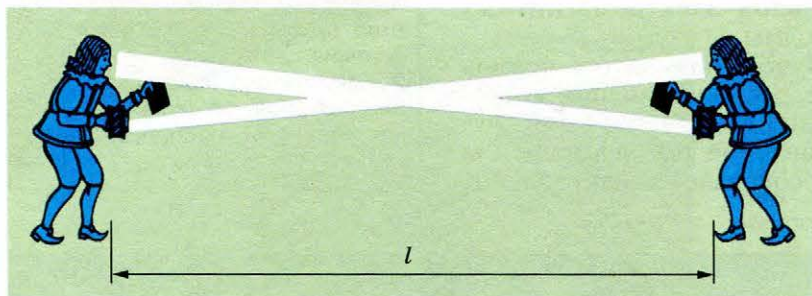


Рис. 30.6

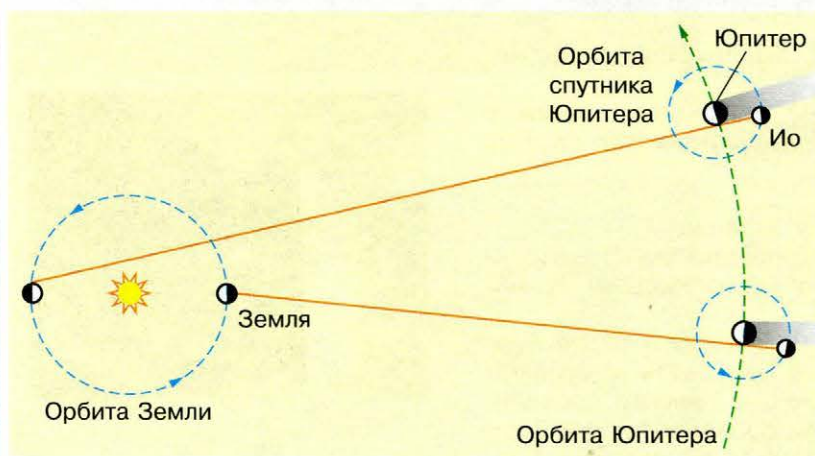


Рис. 30.7



крышку фонаря и одновременно запуская прибор для измерения времени. Второй экспериментатор открывал свой фонарь, как только видел свет от первого фонаря (рис. 30.6). Первый экспериментатор, увидев свет от второго фонаря, останавливал прибор, измеряющий время. Скорость света предполагалось получить делением двойного расстояния между экспериментаторами на время запаздывания светового сигнала. Однако обнаружить запаздывание сигнала в таких опытах не удалось из-за большой скорости света и неточности измерительных приборов.

Впервые экспериментально измерил скорость света датский астроном Олаф Рёмер в 1675 г. Он обнаружил, что спутник Ио совершает один оборот вокруг планеты Юпитер за 42,5 ч. Но этот период, определяемый как время между двумя последовательными затмениями Ио, не остаётся точно постоянным. При удалении Земли от Юпитера каждое следующее затмение Ио наступает немного позднее ожидаемого момента времени. Общее запаздывание начала затмения при удалении Земли от Юпитера на диаметр земной орбиты позднее ожидаемого момента времени оказалось равным 22 мин (рис. 30.7).

Рёмер предположил, что это запаздывание возникает вследствие того, что свет проходит увеличившееся расстояние между Юпитером и Землёй за большее время. Разделив длину  $l$  диаметра земной орбиты, равную 300 000 000 км, на время  $t$  запаздывания, он получил скорость света:

$$c = \frac{l}{t} = \frac{300\,000\,000 \text{ км}}{22 \cdot 60 \text{ с}} \approx 227\,000 \text{ км/с.}$$

Этот результат из-за неточности измерения времени и диаметра земной орбиты существенно отличался от действительного значения 300 000 км/с.

**Камера-обскура.** Ещё древнегреческому философу Аристотелю в IV в. до н. э. было известно, что лучи света, проникающие в тёмную комнату через небольшое отверстие, создают на стене изображения предметов, расположенных перед отверстием. Это свойство тёмной комнаты (в пер. с лат. «камера-обскура») объясняется свойством прямолинейности распространения света. До изобретения фотографии художники применяли камеру-обскуру для облегчения своей работы (рис. 30.8).

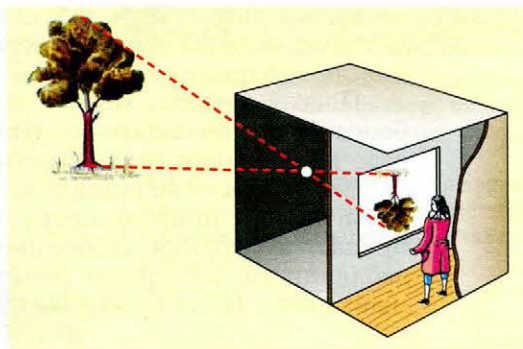


Рис. 30.8

### Домашнее экспериментальное задание 30.2

#### Работаем самостоятельно

#### Изготовление камеры-обскуры

Если в вашей комнате на окнах есть плотные тёмные шторы, попробуйте использовать свою комнату как камеру-обскуру. Для этого в солнечный день плотно зашторьте окно и оставьте между шторами маленькое отверстие. Изображения предметов за окном должны появиться на стене напротив окна.

Можно изготовить небольшую камеру-обскуру из картонной коробки, укрепив внутри лист тонкой полупрозрачной бумаги напротив отверстия в стенке коробки. При наблюдении изображения используйте кусок тёмной ткани для защиты от постороннего света.

Изготовленный прибор продемонстрируйте в классе с объяснением принципа его действия.

#### ? Вопросы

1. Какие гипотезы о зрении человека высказали древнегреческие философы?
2. Какую гипотезу о природе света высказал Ньютон?
3. Какие доводы есть в пользу корпускулярной гипотезы о природе света?
4. Какие доводы есть в пользу волновой гипотезы о природе света?
5. Как была измерена скорость света?
6. Объясните принцип действия камеры-обскуры.



## §31. Отражение света

**Отражение света.** Металлические тела хорошо отражают свет и непрозрачны для света. От тел из диэлектриков свет отражается слабее. Прозрачны для света такие диэлектрики, как вода и стекло, кристаллы поваренной соли, сахара, алмаза.

Плавая в море, можно хорошо видеть предметы сквозь слои воды толщиной более 10 м, но сквозь самую тонкую металлическую фольгу конфетной обёртки свет не проходит, а полностью отражается от неё.

Способность металлических тел отражать свет подтверждает гипотезу об электромагнитной природе света. В металлических телах электромагнитная волна возбуждает колебания свободных электронов и передаёт им всю свою энергию. Колеблющиеся электроны излучают электромагнитные волны и образуют отражённый свет. В диэлектриках электроны прочно связаны со своими атомами, амплитуды их вынужденных колебаний под действием электромагнитных волн значительно меньше, поэтому и отражают свет они слабее.

**Плоское зеркало.** Явление отражения света используется в зеркалах. На поверхность стекла наносится тонкий слой металла. Эта металлическая плёнка и является зеркалом, отражающим свет. Если на плоское зеркало падает узкий пучок света, то отражённый свет имеет вид узкой светлой полоски. Угол  $\alpha$  между падающим на зеркало пучком света и перпендикуляром к плоскости зеркала называется **углом падения** (рис. 31.1). Угол  $\gamma$  между отражённым пучком света и перпендикуляром к поверхности зеркала называется **углом отражения**.

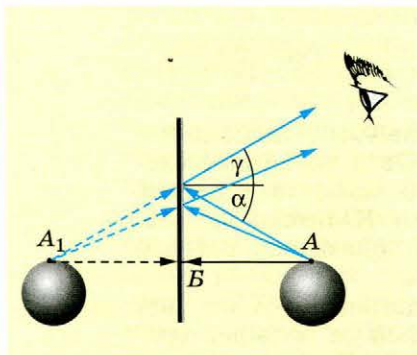


Рис. 31.1

При отражении света угол отражения равен углу падения, при этом луч падающий, луч отражённый и перпендикуляр, опущенный в точку падения, лежат в одной плоскости.

### ? Вопросы

1. Почему свет лучше отражается от металлических тел, чем от тел из диэлектриков?
2. Какой угол называется углом падения света на поверхность тела?
3. Какой угол называется углом отражения света от поверхности тела?
4. Сформулируйте закон отражения света.

Этот факт называется **законом отражения света**.

Лучи света, исходящие из одной точки  $A$  тела, после отражения от плоского зеркала расходятся. Поэтому с помощью плоского зеркала нельзя получить изображение на экране. Расходящиеся лучи при попадании в глаз человека кажутся исходящими из точки  $A_1$  за зеркалом, которая воспринимается как изображение точки  $A$ . Изображение точки  $A$  находится на прямой  $AB$ , перпендикулярной к плоскости зеркала. Расстояние  $A_1B$  от изображения до зеркала равно расстоянию  $AB$  от предмета до зеркала. Изображение в плоском зеркале называется **мнимым**.

### Экспериментальное задание 31.1

#### Работаем в паре

#### Исследование зависимости угла отражения света от угла падения



Рис. 31.2

**Оборудование:** источник света, экран с щелью, плоское зеркало, транспортир.

**Исследуйте связь между углом падения и углом отражения света от плоского зеркала.**

#### Порядок выполнения задания

1. Поставьте плоское зеркало вертикально на линию, проходящую через деления  $90^\circ$ — $90^\circ$  транспортира. Включите источник света и направьте узкий пучок света от экрана с щелью так, чтобы он падал на зеркало в центре круга транспортира (рис. 31.2).



2. Измерьте транспортиром угол падения  $\alpha$  и угол отражения  $\gamma$  пучков света.

3. Вращением транспорта вместе с зеркалом 2 раза измените угол падения пучка света на зеркало и измерьте углы падения и отражения.

Сравните полученные значения углов падения и отражения и сделайте вывод.

4. Результаты измерений запишите в таблицу.

Таблица 31.1

Номер опыта	$\alpha$	$\gamma$
1		
2		
3		

### ? Вопросы

1. Почему изображения предметов в плоском зеркале видны глазом, но их не удаётся получить на экране?

2. Как удаётся видеть в плоском зеркале изображения предметов, размеры которых больше размеров зеркала?

## Экспериментальное задание 31.2

### Работаем в паре

#### Изучение свойств изображения в плоском зеркале

**Оборудование:** стеклянная пластина, две гири, лист белой бумаги, карандаш, линейка.

**Поставьте гирю перед стеклянной пластиной и определите положение изображения гири, даваемого стеклянной пластиной как плоским зеркалом.**

#### Содержание работы

Для определения положения изображения предмета, даваемого плоским зеркалом, удобно использовать в качестве зеркала прозрачную стеклянную пластину. Если поставить предмет перед стеклянной пластиной, то мы увидим его изображение находящимся где-то за пластиной. Для того чтобы определить положение изображения предмета в пространстве, необходимо взять второй точно такой же предмет. Наблюдая второй предмет через стекло и одновременно изображение первого предмета, нужно перемещать второй предмет за пластиной до точного совпадения с изображением первого предмета. Положение изображения определяется положением второго предмета.

#### Порядок выполнения задания

1. Поставьте на лист белой бумаги гирю и стеклянную пластину. Наблюдайте изображение гири в стеклянной пластине (рис. 31.3).

2. Возьмите вторую такую же гирю. Перемещая её за стеклянной пластиной, добейтесь полного совмещения с изображением первой гири (рис. 31.4).

3. Проведите на листе бумаги прямую, отмечающую положение плоскости стеклянной пластины. Отметьте на листе положение первой гири и положение её изображения по положению второй гири.

4. Измерьте расстояние от первой гири до плоскости стекла и от её изображения до плоскости стекла по положению второй гири. Сравните результаты измерений.



Рис. 31.3



Рис. 31.4



**Сферические зеркала.** Зеркала с отражающей свет поверхностью в форме части сферы называются **сферическими зеркалами**. Сферическое зеркало, отражающее свет внутрь сферы, называется **вогнутым** зеркалом, зеркало, отражающее свет наружу сферы, называется **выпуклым** зеркалом. Прямая, проходящая через центр  $O$  сферической поверхности и среднюю точку  $A$  сферической поверхности, называется **главной оптической осью** (рис. 31.5).

Первой особенностью вогнутого сферического зеркала является его способность собирать узкий пучок параллельных падающих на него лучей в одну точку. Узкий пучок световых лучей, падающих на сферическое зеркало параллельно главной оптической оси, после отражения проходит через точку  $F$ , называемую **главным фокусом** зеркала (см. рис. 31.5). Расстояние  $f$  от центра зеркала до главного фокуса называется **фокусным расстоянием**. Фокусное расстояние сферического зеркала равно половине радиуса сферической поверхности.

При помещении точечного источника света в главный фокус сферического зеркала отражённый свет выходит пучком, параллельным главной оптической оси (рис. 31.6). Это свойство вогнутого сферического зеркала используется в электрических фонарях, автомобильных фарах, прожекторах для концентрации света от источника в нужном направлении.

Второй особенностью вогнутого сферического зеркала является его способность собирать в одну точку все лучи, исходящие из одной точки. Для определения положения изображения светящейся точки достаточно найти точку пересечения двух любых отражённых лучей. Удобными для этой цели являются три луча: луч 1, проходящий через центр  $O$  сферической поверхности, падающий перпендикулярно на сферическую поверхность и отражающийся в противоположном направлении (рис. 31.7); луч 2, проходящий через главный фокус  $F$  и отражающийся параллельно главной оптической оси; луч 3, падающий параллельно главной оптической оси и проходящий через главный фокус  $F$  после отражения.

Собирая лучи света, идущие от каждой точки предмета, в новую точку, вогнутое зеркало создаёт действительное изображение предмета. Способность вогнутого зеркала давать действительные изображения предметов используется в телескопах для получения изображений небесных тел. Диаметр зеркала самого большого зеркального телескопа больше 10 м.

Выпуклое сферическое зеркало не собирает лучи, исходящие из одной точки  $A$ , а рассеивает их (рис. 31.8). Но при попадании в глаз эти лучи кажутся исходящими из одной точки  $B$  за зеркалом. Выпуклые зеркала дают уменьшенное мнимое изображение предмета. Они применяются на автомобилях в качестве зеркал бокового и заднего вида.

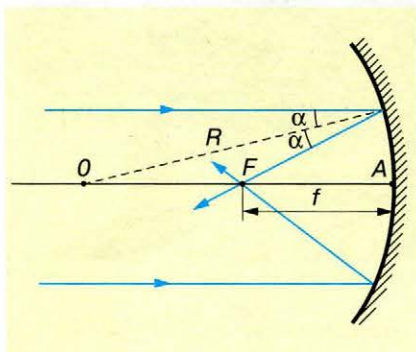


Рис. 31.5

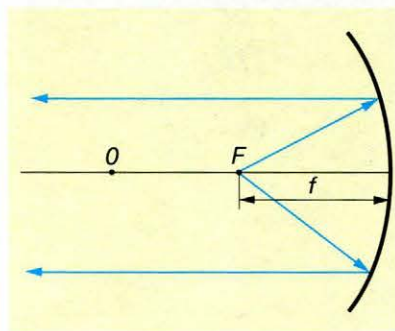


Рис. 31.6

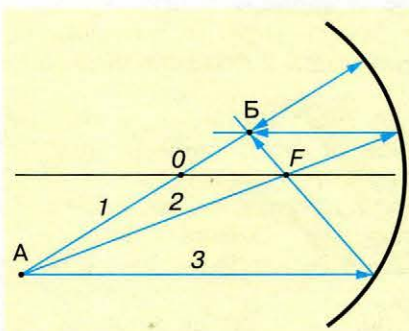


Рис. 31.7

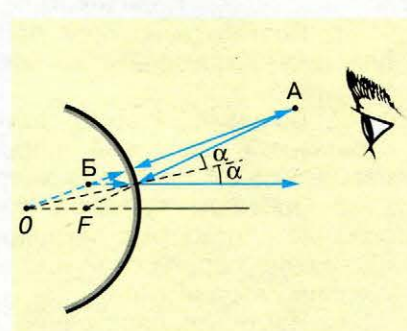


Рис. 31.8



Экспериментальное задание 31.3

Работаем самостоятельно

Получение изображений с помощью вогнутого сферического зеркала

**Оборудование:** вогнутое зеркало, лист с разметкой, экран, электрическая лампа, источник электрического тока.

**Исследуйте, какие изображения даёт вогнутое зеркало при разных расстояниях от зеркала до предмета.**

Порядок выполнения задания

1. Положите на стол лист с разметкой напротив окна. Поставьте у края листа вогнутое зеркало, против зеркала экран. Перемещая экран, получите на нём изображение окна (рис. 31.9).

2. Измеряя расстояние от экрана до зеркала, определите фокусное расстояние  $f$  вогнутого зеркала.

3. Поместите зеркало на краю листа, а лампу на расстоянии  $d$  больше двух фокусных расстояний ( $2f < d$ ) от зеркала. Перемещая экран, получите на нём чёткое изображение лампы (рис. 31.10). Определите, какое это изображение, и отметьте свои выводы в таблице знаками «+» в соответствующих клетках.

4. Повторите опыт при расстоянии меньше двух фокусных, но больше фокусного ( $f < d < 2f$ ) (рис. 31.11).

5. Повторите опыт при расстоянии меньше фокусного ( $d < f$ ). Если получить изображение на экране не удастся, посмотрите на зеркало, поместив глаз в то место, в котором наблюдается светлый круг на экране (рис. 31.12). Определите, какое это изображение, и отметьте свои выводы в таблице знаками «+» в соответствующих клетках.



Рис. 31.9

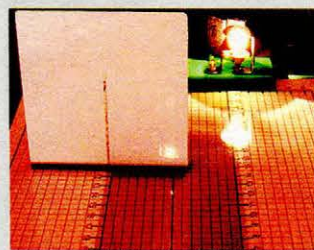


Рис. 31.10

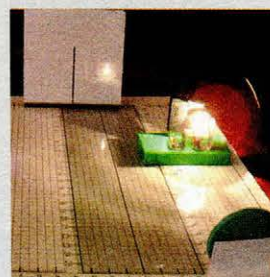


Рис. 31.11



Рис. 31.12

Таблица 31.3

Изображение	Расстояние $d$ от лампы до зеркала		
	$2f < d$	$f < d < 2f$	$d < f$
Увеличенное			
Уменьшенное			
Равное			
Прямое			
Перевернутое			
Действительное			
Мнимое			

? Вопросы

1. Какие сферические зеркала называются вогнутыми зеркалами и какие — выпуклыми?
2. Какими особенностями обладают вогнутые сферические зеркала?
3. Где применяются сферические зеркала?



## §32. Преломление света

**Явление преломления света.** Свет распространяется прямолинейно в любой прозрачной среде, если эта среда однородна. Среда называется **однородной**, если в любой точке все её физические параметры одинаковы.

При падении на границу двух сред свет частично отражается, частично переходит во вторую среду. При переходе может происходить изменение направления распространения света.

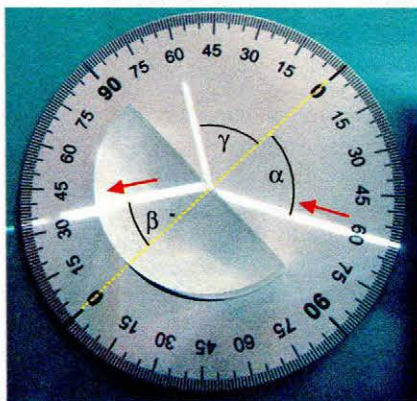


Рис. 32.1

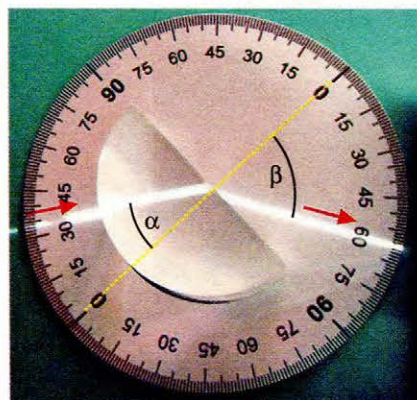


Рис. 32.2

### ? Вопросы

1. Что называется преломлением света?
2. Какой угол называется углом преломления света?
3. Почему при переходе из одной среды в другую свет изменяет направление своего распространения?
4. Сформулируйте закон преломления света.
5. Что называется относительным показателем преломления?
6. Чему равен относительный показатель преломления?

Явление изменения направления распространения света при переходе из одной среды в другую называется преломлением света.

Угол  $\alpha$  между падающим пучком света и перпендикуляром к границе раздела двух сред называется **углом падения**. Угол  $\beta$  между преломлённым пучком света и перпендикуляром к границе раздела двух сред называется **углом преломления**.

На рисунке 32.1 представлена фотография пучка света, падающего из воздуха на стекло под углом падения  $\alpha$ . Отражённый свет идёт под углом  $\gamma$  к перпендикуляру на границе раздела, преломлённый пучок идёт под углом  $\beta$  к перпендикуляру на границе раздела. На фотографии видно, что угол отражения  $\gamma$  равен углу падения  $\alpha$ , но угол преломления  $\beta$  значительно меньше угла падения  $\alpha$ . Если при переходе света из вещества  $A$  в вещество  $B$  угол преломления меньше угла падения, вещество  $B$  называют **оптически более плотным**, чем вещество  $A$ .

При переходе света из стекла в воздух угол преломления оказывается больше угла падения (рис. 32.2).

**Обратимость световых лучей.** Опыт показывает, что в любых средах пучок света, направленный из среды  $B$  в среду  $A$ , идёт по тому же пути, по какому он шёл из среды  $A$  в среду  $B$  (сравните рис. 32.1 и 32.2). Это свойство называется свойством **обратимости** световых лучей.

**Закон преломления света.** При одинаковом угле падения  $\alpha$  пучка света на границу раздела двух сред угол преломления  $\beta$  может иметь разные значения при переходе света в разные вещества. Но связь между углом падения и углом преломления для любых пар веществ оказалась одинаковой. Это **закон преломления света**:

падающий луч, преломлённый луч и перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости; отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для этих двух сред:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n.$$

Постоянная величина  $n$  называется **относительным показателем преломления**. Исследования показали, что эта величина равна отношению скорости света  $v_1$  в первой среде к скорости света  $v_2$  во второй среде:  $n = \frac{v_1}{v_2}$ .

Отношение скорости света  $c$  в вакууме к скорости света  $v$  в веществе называется **абсолютным показателем преломления**:  $n = \frac{c}{v}$ .



Экспериментальное задание 32.1

Работаем в паре

Исследование зависимости угла преломления света от угла падения

Оборудование: источник света, стеклянный полуцилиндр, транспортир, экран с щелью.

Исследуйте зависимость угла преломления света от угла падения.

Порядок выполнения задания

1. Поставьте на транспортир стеклянный полуцилиндр точно по линиям, изображающим его контур. Направьте на плоскую поверхность полуцилиндра узкий пучок света от источника точно в середину диаметра, отмеченную поперечной чертой. Наблюдайте явление отражения и преломления света на границе воздух — стекло (рис. 32.3).

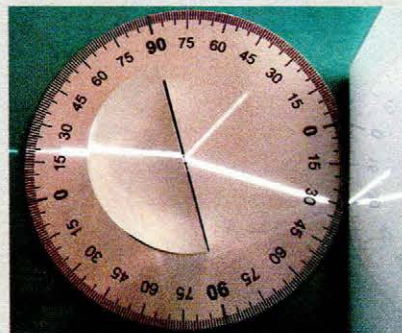


Рис. 32.3

2. Вращая транспортир вместе со стеклянным полуцилиндром, установите угол падения  $\alpha$  пучка света равным  $15^\circ$ . Следите за тем, чтобы пучок света падал точно в середину диаметра полуцилиндра, так как только при этом условии можно правильно измерить углы падения и преломления с использованием шкалы транспортира.

3. Измерьте угол преломления  $\beta$  света при угле падения  $15^\circ$ . Результат измерения запишите в таблицу.

4. Установите угол падения  $\alpha$  пучка света равным  $30^\circ$  и измерьте угол преломления  $\beta$  света при угле падения  $30^\circ$ . Результат измерения запишите в таблицу. Прделайте такие же измерения при углах падения  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  и  $75^\circ$ .

5. Определите значения синусов всех заданных углов падения и синусов всех измеренных углов преломления. Запишите полученные значения в таблицу.

6. Вычислите отношение синуса угла падения к синусу угла преломления для каждого значения угла падения и запишите полученные значения в таблицу.

7. Сделайте вывод: остаётся ли неизменным отношение синуса угла падения к синусу угла преломления при различных значениях угла падения?

Таблица 32.1

$\alpha$	$\beta$	$\sin \alpha$	$\sin \beta$	$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$
$15^\circ$				
$30^\circ$				
$45^\circ$				
$60^\circ$				
$75^\circ$				

Сведения из математики

Синусом угла  $\alpha$  в прямоугольном треугольнике называется отношение длины катета  $a$ , противолежащего углу  $\alpha$ , к длине гипотенузы  $c$ :  $\sin \alpha = \frac{a}{c}$

Косинусом угла  $\alpha$  называется отношение длины катета  $b$ , прилежащего углу  $\alpha$ , к длине гипотенузы  $c$ :  $\cos \alpha = \frac{b}{c}$ . Тангенсом угла  $\alpha$  называется отношение длины катета  $a$  к длине катета  $b$ :  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b}$ .

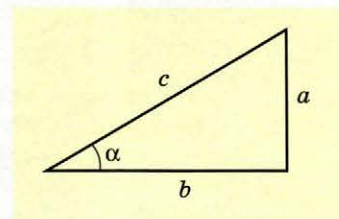


Рис. 32.4

Значения синуса, косинуса или тангенса данного угла можно найти с помощью микрокалькулятора или таблиц значений тригонометрических функций, которые легко найти в Интернете.



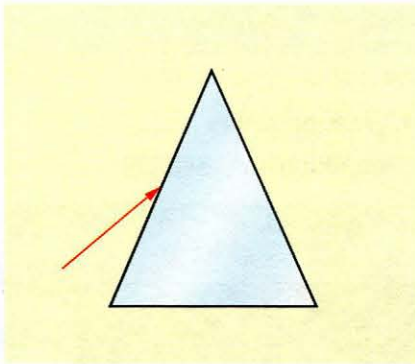


Рис. 32.5

**Задача 32.1.** Пучок света переходит из воздуха в стекло. Угол падения света на поверхность стекла равен  $30^\circ$ . Чему равен угол преломления? Относительный показатель преломления на границе воздух—стекло равен 1,5.

**Задача 32.2.** Пучок света падает на оконное стекло из воздуха на улице под углом падения  $60^\circ$ . Под каким углом преломления выходит этот пучок света из стекла в воздух в комнате?

**Задача 32.3.** На рисунке 32.5 показано падение луча света из воздуха на грань стеклянной призмы.

Какая из схем (рис. 32.6) в принципе правильно представляет направление луча света после преломления на границе воздух—стекло и после преломления на границе стекло—воздух?

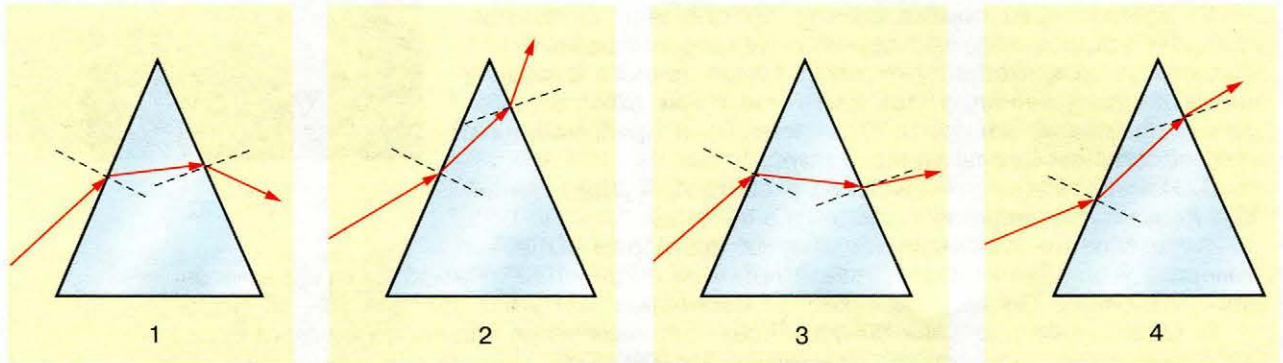


Рис. 32.6

### Пример решения задачи

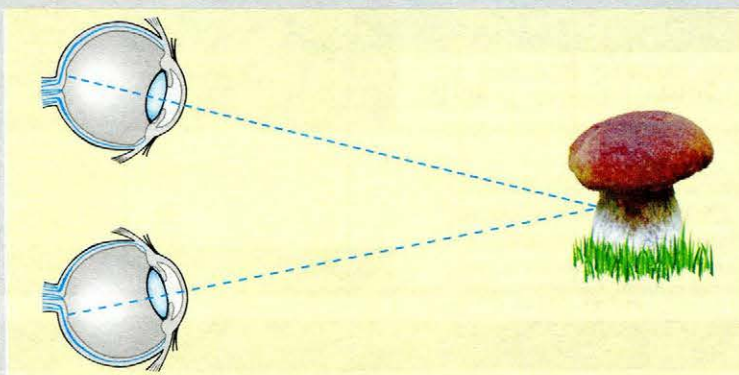


Рис. 32.7

**Задача.** Человек смотрит с лодки на дно моря. Какой кажется ему глубина моря при действительном расстоянии от поверхности воды до дна моря 6 м? Относительный показатель преломления на границе воздух—вода 1,33.

#### Решение

Человек оценивает расстояние до предмета на основании ощущений, возникающих у него при рассматривании этого предмета. Если предмет расположен далеко, оптические оси левого и правого глаза расположены параллельно. Чем

ближе предмет, тем больше угол между оптическими осями глаз (рис. 32.7).

Представим ход двух лучей, исходящих из одной точки  $A$  на дне моря и попадающих в глаз человека (рис. 32.8). Вертикальный луч  $AB$  не изменяет своего направления после прохождения границы раздела, все остальные лучи испытывают преломление. В результате преломлённые лучи, попадающие в левый и правый глаз человека, кажутся приходящими не из точки  $A$ , а из точки  $B$ . Глубина моря кажется равной длине отрезка  $BB'$  вместо действительного отрезка  $AB$ .



Длина отрезка  $AB$  известна по условию задачи, нужно найти длину отрезка  $BV$ . На рисунке 32.8 показаны угол падения  $\alpha$  и угол преломления  $\beta$  на границе вода—воздух и равные им углы  $\alpha$  и  $\beta$  в треугольнике  $ABV$  и  $\beta$  в треугольнике  $BVG$ . Выразим длину отрезка  $BV$  через длины отрезков  $AB$  и  $BV$ :  $BV = AB \cdot \operatorname{tg} \alpha$ ,  $BV = BV \cdot \operatorname{tg} \beta$ .

Из этих равенств следует:

$$BV = AB \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta}.$$

При наблюдении по вертикали вниз углы  $\alpha$  и  $\beta$  очень малы. При малых значениях углов их синусы приблизительно равны тангенсам углов. Поэтому выполняется приближительное равенство:

$$BV = AB \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta} \approx AB \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}.$$

Отношение  $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_1$  является показателем преломления на границе вода—воздух. Он равен обратному значению показателя преломления при переходе света из воздуха в воду:  $n_1 = \frac{1}{n}$ . Отсюда получаем  $BV = \frac{AB}{n} = \frac{6 \text{ м}}{1,33} \approx 4,5 \text{ м}$ .

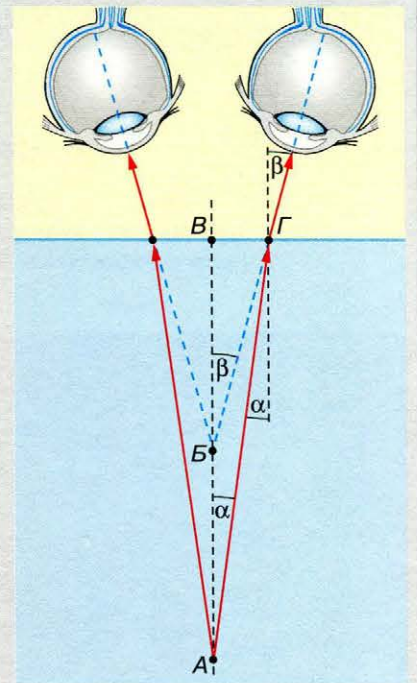


Рис. 32.8

**Задача 32.4.** Стоящий у края бассейна человек видит дно у противоположной стенки бассейна в направлении под углом  $\beta = 80^\circ$  к вертикали (рис. 32.9). Какой кажется ему глубина бассейна  $h$  и чему равна действительная глубина бассейна  $H$ , если глаз наблюдателя находится на высоте  $a = 1,65 \text{ м}$  от уровня воды в бассейне, а длина бассейна  $l = 12 \text{ м}$ ? Показатель преломления на границе воздух—вода 1,33.

**Полное отражение.** При переходе из оптически более плотной среды в оптически менее плотную среду угол преломления  $\beta$  больше угла падения  $\alpha$ . Падающий луч на границе раздела двух сред разделяется на два луча: преломлённый и отражённый (рис. 32.10). По мере увеличения угла падения интенсивность преломлённого луча уменьшается, а интенсивность отражённого луча увеличивается. Значение угла падения  $\alpha_0$ , при котором угол преломления  $\beta$  достигает значения  $90^\circ$ , называется **предельным углом полного отражения**. При значении угла  $\alpha$  больше предельного происходит полное отражение света от границы раздела двух сред, интенсивность преломлённого луча становится равной нулю (рис. 32.11).

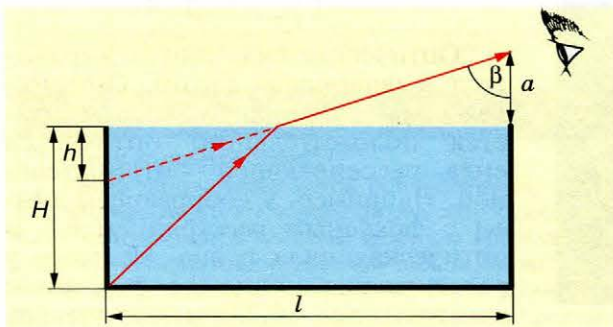


Рис. 32.9



Рис. 32.10

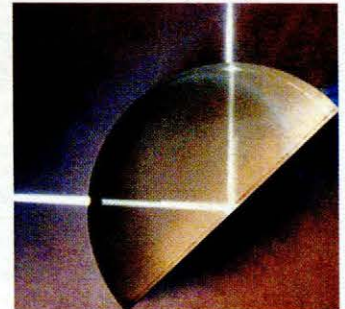


Рис. 32.11



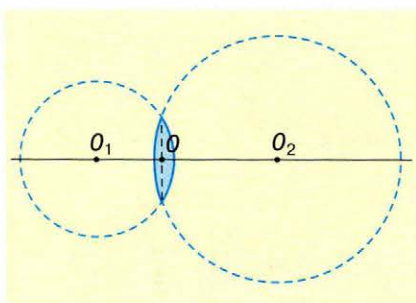


Рис. 33.1

**Собирающая линза.** Линзой называется оптический прибор из прозрачного вещества, ограниченный двумя сферическими поверхностями. Прямая  $O_1O_2$ , проходящая через центры этих сферических поверхностей, называется **главной оптической осью** (рис. 33.1). Точка  $O$  пересечения главной оптической оси с плоскостью, проходящей через края линзы, называется **оптическим центром** линзы.

Линза, утолщающаяся от краёв к центру, называется **собирающей** линзой. Такая линза собирает в одну точку  $F$  все пучки света, параллельные главной оптической оси (рис. 33.2). Точка  $F$  называется **главным фокусом** линзы. Расстояние  $F$  от оптического центра линзы до её главного фокуса называется **фокусным расстоянием** линзы.

**Рассеивающая линза.** Линза, утончающаяся от краёв к центру, называется **рассеивающей** линзой. Такая линза рассеивает пучки света, параллельные главной оптической оси. Пучок света, проходящий через оптический центр линзы, не изменяет направления распространения, а остальные пучки отклоняются от центра в разные стороны, не пересекаясь друг с другом.

Если вдоль преломлённых рассеивающей линзой пучков света провести прямые в направлении, противоположном направлению их распространения, то все эти прямые пересекутся в одной точке на главной оптической оси. Эта точка называется **главным фокусом** рассеивающей линзы (рис. 33.3).

Так как в действительности световые пучки не пересекаются в этой точке, фокус рассеивающей линзы называется **мнимым фокусом**. Расстояние  $F$  от оптического центра рассеивающей линзы до её главного фокуса называется **фокусным расстоянием** линзы. Фокусное расстояние рассеивающей линзы считается отрицательным.

#### Оптическая сила линзы.

Величина, обратная фокусному расстоянию  $F$  линзы, называется **оптической силой**  $D$ :

$$D = \frac{1}{F}.$$

Оптическая сила линзы выражается в **диоптриях** (дптр). Оптическая сила собирающей линзы считается положительной, оптическая сила рассеивающей — отрицательной. Например, у собирающей линзы с фокусным расстоянием 0,5 м оптическая сила равна +2 дптр, у рассеивающей линзы с фокусным расстоянием -0,25 м оптическая сила равна -4 дптр.

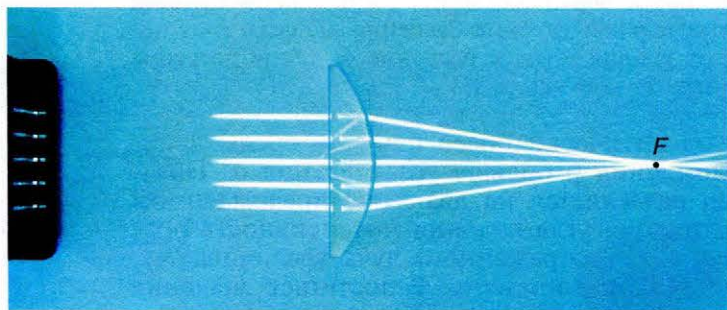


Рис. 33.2

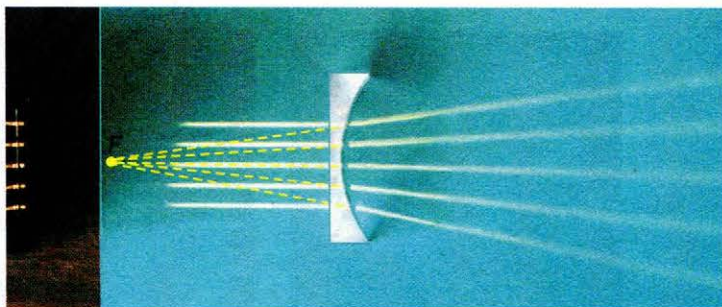


Рис. 33.3



Экспериментальное задание 33.1

Работаем в группе

**Определение фокусного расстояния собирающей линзы и её оптической силы**

*Оборудование:* две собирающие линзы, экран, лист с разметкой.

**Получите с помощью собирающей линзы изображение далеко расположенного предмета. Определите фокусное расстояние линзы и её оптическую силу.**

*Порядок выполнения задания*

Лучи света от каждой точки далеко расположенного предмета падают на линзу почти параллельно друг другу. Поэтому расстояние от линзы до изображения далеко расположенного предмета примерно равно фокусному расстоянию линзы.

1. Поставьте линзу ЛС-1 на край листа с разметкой. Перед линзой установите экран. Окно, линза и экран должны располагаться на одной прямой.

2. Перемещая экран относительно линзы, найдите такое положение, при котором на экране будет видно чёткое изображение окна (рис. 33.4).

Измерьте расстояние от линзы до изображения, примерно равное фокусному расстоянию  $F$  линзы. Запишите результат измерения в таблицу.

3. Вычислите оптическую силу  $D$  линзы и запишите результат вычисления в таблицу.

4. Повторите опыт и вычисления с линзой ЛС-2 (рис. 33.5). Запишите результаты измерений и вычислений в таблицу.

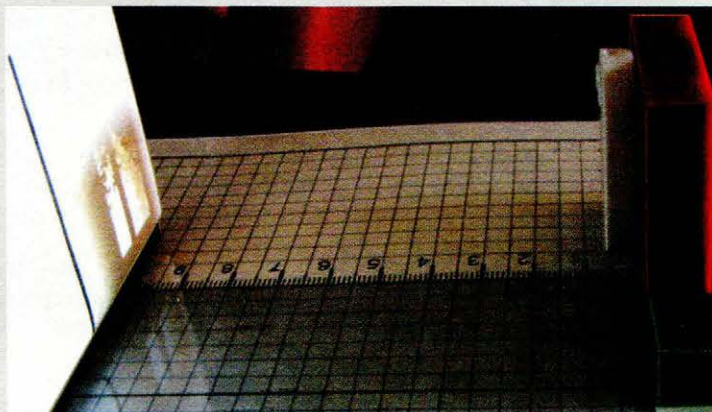


Рис. 33.4

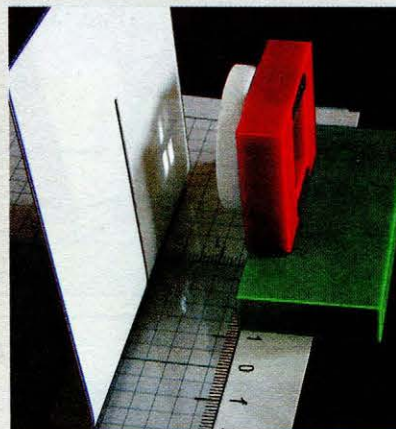


Рис. 33.5

Таблица 33.1

Линзы	$F$ , м	$D$ , дптр
ЛС-1		
ЛС-2		

? Вопросы

1. Что называется линзой?
2. Какие линзы называются собирающими, а какие — рассеивающими?
3. Что называется главной оптической осью линзы?
4. Что называется главным фокусом собирающей линзы и её фокусным расстоянием?
5. Что называется оптической силой линзы?
6. В каких единицах выражается оптическая сила линзы?
7. Чем отличается оптическая сила любой рассеивающей линзы от оптической силы любой собирающей линзы?



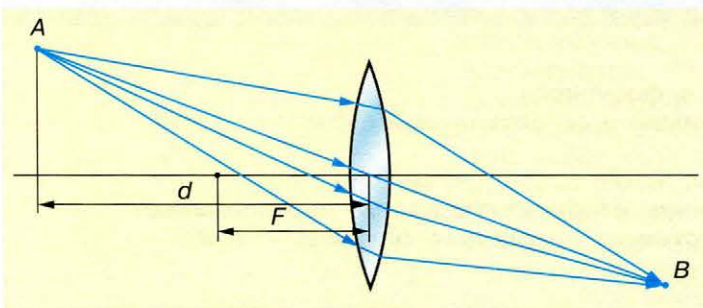


Рис. 33.6

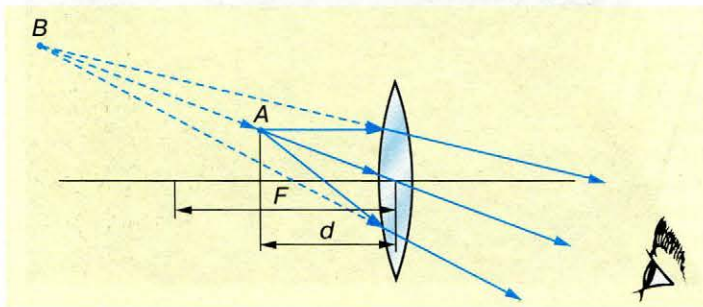


Рис. 33.7

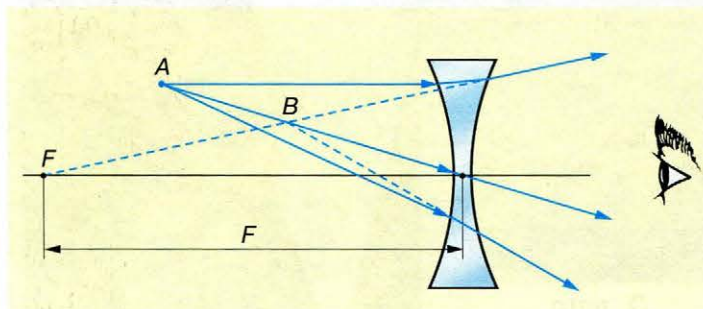


Рис. 33.8

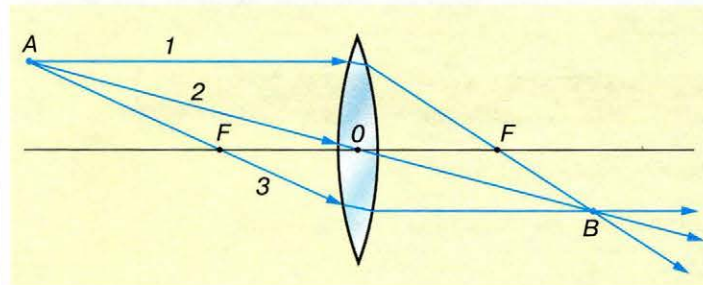


Рис. 33.9

**Действительное изображение точки.** Если точка  $A$ , испускающая свет, находится от собирающей линзы на расстоянии  $d$  больше фокусного расстояния  $F$ , то свет из этой точки, падающий на линзу по любым направлениям, собирается линзой в одну точку  $B$  (рис. 33.6). На экране в месте схождения света можно увидеть светлое пятно. Это — **действительное** изображение точки  $A$ .

**Мнимое изображение точки.** Если точка  $A$  находится от собирающей линзы ближе фокусного расстояния  $F$ , то исходящий из этой точки свет не собирается линзой в одну точку, а расходится так, что воспринимается глазом исходящим из одной точки  $B$  за линзой (рис. 33.7). Эту точку  $B$  называют **мнимым** изображением точки  $A$ . Рассеивающая линза при любом расстоянии от точки до линзы даёт мнимое изображение светящейся точки (рис. 33.8).

**Замечательные лучи для построения изображений, даваемых линзами.** Для нахождения положения изображения любой точки предмета перед собирающей линзой можно использовать любые два из трёх замечательных лучей (рис. 33.9).

**Луч 1**, параллельный главной оптической оси, после преломления в собирающей линзе проходит через главный фокус  $F$ .

Луч, параллельный главной оптической оси, в рассеивающей линзе отклоняется от главной оптической оси так, что его продолжение против направления распространения света проходит через главный фокус перед линзой (см. рис. 33.8).

**Луч 2**, идущий через оптический центр  $O$  линзы, проходит без изменения направления.

**Луч 3**, проходящий через главный фокус перед собирающей линзой, выходит из линзы параллельно главной оптической оси.

Все эти три луча, исходящие из одной точки предмета перед линзой, сходятся в одну точку действительного изображения после линзы (см. рис. 33.9) или кажутся исходящими из одной точки мнимого изображения перед линзой (см. рис. 33.7 и 33.8).



Экспериментальное задание 33.2

Работаем самостоятельно

**Определение фокусного расстояния и оптической силы рассеивающей линзы**

**Оборудование:** собирающая линза ЛС-2, рассеивающая линза РС, экран.

**Определите фокусное расстояние и оптическую силу рассеивающей линзы.**

Рассеивающая линза не даёт действительного изображения предмета. Для выполнения задания можно использовать тот факт, что оптическая сила двух соединённых линз равна сумме оптических сил линз. При сложении рассеивающей линзы с собирающей линзой, оптическая сила которой по модулю больше оптической силы рассеивающей линзы, можно получить систему с положительной оптической силой и измерить фокусное расстояние этой системы таким же методом, какой был использован в экспериментальном задании 33.1.

*Порядок выполнения задания*

1. Соедините вместе собирающую линзу ЛС-2 и рассеивающую линзу РС. Получите чёткое изображение окна на экране и измерьте фокусное расстояние системы, состоящей из двух линз (рис. 33.10).
2. Вычислите оптическую силу  $D_c$  системы.
3. Вычислите разность между оптической силой  $D$  системы, состоящей из двух линз, и оптической силой собирающей линзы. Эта разность равна оптической силе  $D_p$  рассеивающей линзы:

$$D_p = D - D_c.$$

4. По найденной оптической силе  $D_p$  рассеивающей линзы вычислите её фокусное расстояние. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу.

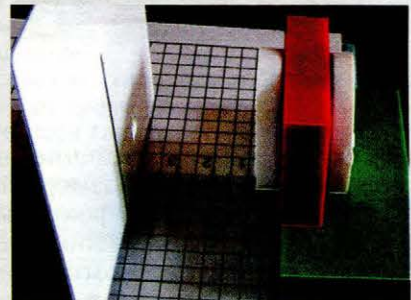


Рис. 33.10

Таблица 33.2		
Линзы	$F$ , м	$D$ , дптр
ЛС-2		
РС + ЛС-2		
РС		

**Задача 33.1.** На рисунке 33.11 показано расположение трёх точек  $S_1$ ,  $S_2$  и  $S_3$  перед собирающей линзой. Используя замечательные лучи, найдите геометрическим построением положение изображения каждой из этих точек.

**Задача 33.2.** На рисунке 33.12 показано расположение двух точек  $S_1$  и  $S_2$  перед рассеивающей линзой. Используя замечательные лучи, найдите геометрическим построением положение изображения каждой из этих точек.

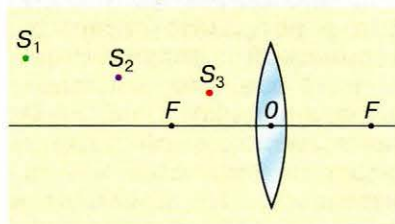


Рис. 33.11

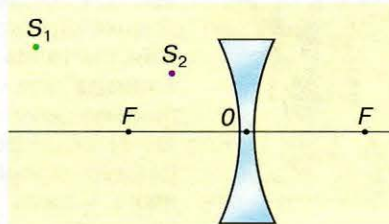


Рис. 33.12

**? Вопросы**

1. Как распространяется свет, исходящий из одной точки, после прохождения через собирающую линзу?
2. Как распространяется свет, исходящий из одной точки, после прохождения через рассеивающую линзу?
3. Какое изображение точки, даваемое линзой, называется действительным? мнимым?
4. Какие замечательные лучи можно использовать для нахождения положения изображения точки предмета перед линзой?



## §34. Оптические приборы

**Получение изображений предметов с помощью собирающей линзы.** Опыты с собирающей линзой показывают, что параллельные пучки света любых направлений линза собирает в точки на одной плоскости (рис. 34.1). Эта плоскость перпендикулярна главной оптической оси, пересекает её в главном фокусе и называется **фокальной плоскостью**.

Это свойство линзы даёт возможность получения чётких изображений плоских предметов на плоском экране. От любых удалённых предметов лучи света идут от разных точек почти параллельно. Поэтому изображения удалённых предметов линза даёт в фокальной плоскости.

При расстояниях больше двойного фокусного расстояния собирающая линза даёт уменьшенное действительное перевёрнутое изображение предмета (голубые стрелки и лучи на рис. 34.2).

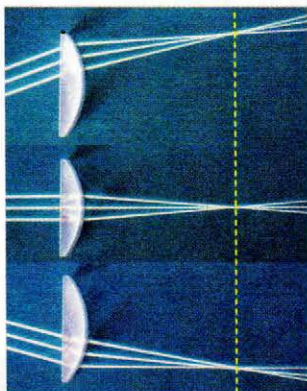


Рис. 34.1

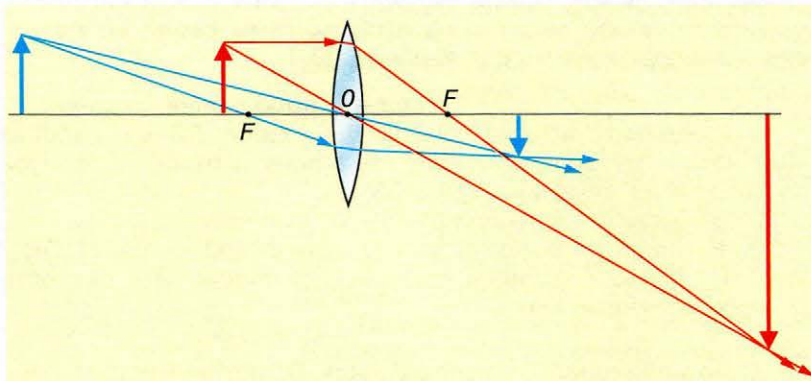


Рис. 34.2

С приближением предмета к линзе его изображение удаляется от фокальной плоскости, размеры изображения увеличиваются. При расстоянии до предмета, равном двум фокусным расстояниям, размеры изображения равны размерам предмета. При расположении предмета от линзы дальше фокусного расстояния, но ближе двойного фокусного расстояния собирающая линза даёт увеличенное действительное перевёрнутое изображение предмета (красные стрелки и лучи на рис. 34.2).

**Фотоаппарат.** Способность собирающей линзы давать уменьшенное действительное изображение удаленного предмета используется в фотоаппаратах. Объектив фотоаппарата строит уменьшенное изображение предмета на фотоплёнке, чувствительной к свету. В цифровом фотоаппарате свет преобразуется в электрические сигналы для создания изображения на экране фотоаппарата или компьютера.

**Глаз человека.** Глаз человека строит действительное перевёрнутое изображение предмета на чувствительной к действию света сетчатке глаза. Построение изображения происходит в результате преломления света на сферической поверхности роговицы глаза и в хрусталике, имеющем форму двояковыпуклой линзы (рис. 34.3).

Под действием специальной мышцы радиус сферических поверхностей хрусталика может изменяться. Это приводит к изменению фокусного расстояния глаза и позволяет человеку видеть отчетливо как далёкие, так и близкие предметы.

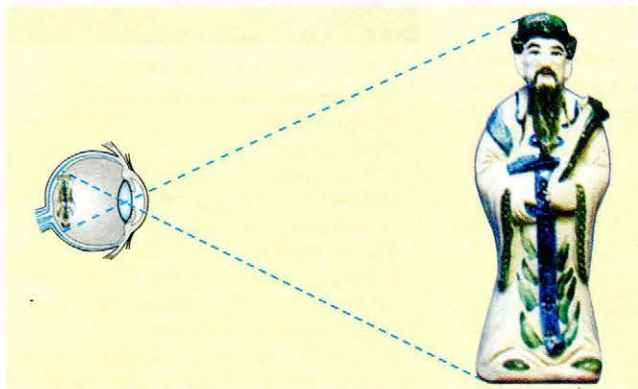


Рис. 34.3



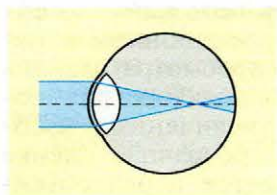


Рис. 34.4

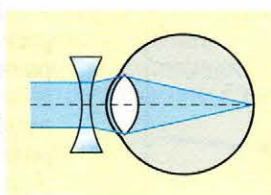


Рис. 34.5

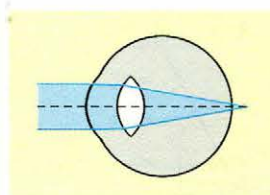


Рис. 34.6

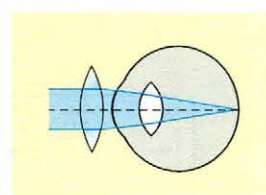


Рис. 34.7

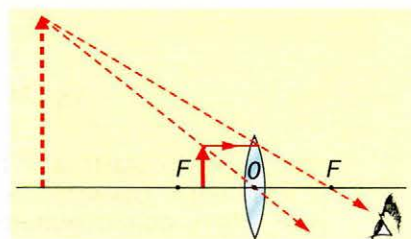


Рис. 34.8

**Очки.** У людей, страдающих близорукостью, фокусное расстояние глаза меньше диаметра глаза (рис. 34.4), на сетчатке получается размытое изображение далёкого предмета. Для устранения этого недостатка используют очки с рассеивающими линзами (рис. 34.5).

У людей, страдающих дальзорукостью, фокусное расстояние глаза больше диаметра глаза (рис. 34.6), изображение близкого предмета на сетчатке размытое. Для устранения этого недостатка используют очки с собирающими линзами (рис. 34.7).

**Лупа.** При расположении предмета ближе фокусного расстояния собирающая линза даёт мнимое увеличенное прямое изображение предмета (рис. 34.8). Короткофокусная линза, применяемая для получения увеличенных изображений мелких предметов, называется **лупой**.

**Задача 34.1.** Докажите, что отношение размеров изображения, даваемого линзой, к размерам предмета равно отношению расстояния от линзы до изображения к расстоянию от линзы до предмета.

**Задача 34.2.** Диаметр глаза человека 17 мм. Чему равна оптическая сила нормального глаза?

**?** Вопросы

1. Какое свойство собирающей линзы позволяет получать с её помощью плоские изображения предметов?
2. Как связаны размеры изображения с расстоянием от линзы до предмета?
3. Как устроен глаз человека?
4. Какими недостатками обладает глаз человека при близорукости и дальзорукости?
5. Как эти недостатки исправляются очками?
6. Какое изображение даёт лупа?

**Экспериментальное задание 34.1**

**Работаем самостоятельно**

**Получение увеличенных и уменьшенных изображений с помощью собирающей линзы**

**Оборудование:** электрическая лампа, источник тока, собирающая линза, экран, лист с разметкой.

**Получите с помощью собирающей линзы увеличенное и уменьшенное изображения предмета.**

*Порядок выполнения задания*

1. Установите линзу ЛС-1 на один край листа с разметкой, лампу на другой край листа. За линзой поместите экран. Перемещая экран, добейтесь получения на нём уменьшенного изображения лампы (рис. 34.9). Сравните расстояние от лампы до линзы с фокусным расстоянием линзы, найденным ранее.

2. Перемещая линзу от экрана к лампе, получите увеличенное изображение лампы на экране (рис. 34.10). Сравните расстояние от лампы до линзы с фокусным расстоянием линзы.



Рис. 34.9



Рис. 34.10



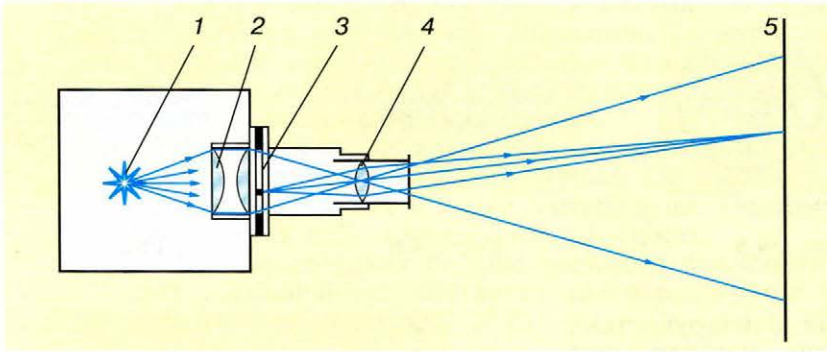


Рис. 34.11

ток света от лампы 1 проектора собирается в параллельный пучок света линзой 2 большого диаметра и направляется на плёнку. Эта линза называется конденсором. Нить осветительной лампы находится в главном фокусе конденсора. Увеличенное действительное изображение кадра плёнки получается на экране 5 (рис. 34.11).

**Микроскоп.** Для получения увеличенных изображений малых предметов используется микроскоп. Исследуемый предмет помещается перед короткофокусной линзой, называемой объективом, немного дальше его фокуса. Увеличенное действительное изображение рассматривается через линзу, называемую окуляром, как через лупу (рис. 34.12).

**Телескоп.** В телескопе линза большого диаметра, обращённая к небесному телу, называется объективом, линза малого диаметра, в которую смотрит наблюдатель, называется окуляром. Небесные тела находятся очень далеко от телескопа, поэтому их изображения получаются в фокальной плоскости объектива. Окуляр помещается на фокусном расстоянии от изображения, создаваемого объективом. Выходящие из окуляра параллельные пучки света фокусируются глазом, и на сетчатке получается действительное изображение объекта (рис. 34.13).

Для получения фотографий небесных тел фотоплёнка помещается в фокальной плоскости объектива телескопа.

Применение телескопа позволяет увидеть такие слабые объекты, которые не видны невооружённым глазом. Это делается возможным потому, что в глаз человека попадает во столько раз больше света, во сколько раз площадь объектива больше площади зрачка глаза. Кроме того, телескоп увеличивает угол, под которым виден далёкий объект, как бы приближая его к наблюдателю.

**Задача 34.3.** Докажите, что между расстоянием  $d$  от предмета до линзы, фокусным расстоянием  $F$  линзы и расстоянием  $f$  от линзы до изображения предмета существует связь, выраженная формулой

$$df = Ff + Fd. \quad (1)$$

Для получения этой формулы можете использовать схему (рис. 34.14). На этой схеме представлено

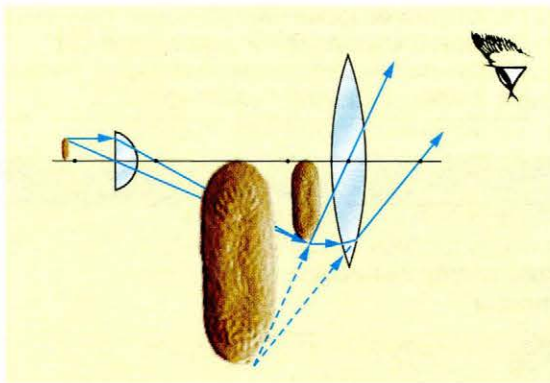


Рис. 34.12

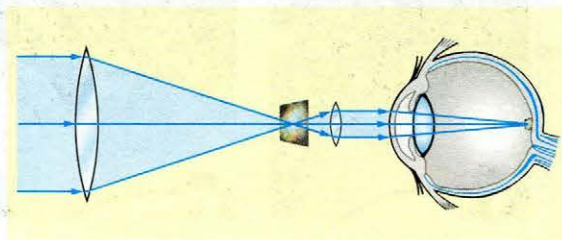


Рис. 34.13



ход лучей через собирающую линзу с фокусным расстоянием  $F$  при расположении предмета высотой  $a$  на расстоянии  $d$  от линзы с получением изображения высотой  $b$  на расстоянии  $f$  от линзы.

Получите из формулы (1) формулу

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d},$$

называемую формулой тонкой линзы.

Если при использовании этой формулы вычисленное значение расстояния  $f$  получается отрицательным, то это значит, что изображение мнимое. При использовании формулы линзы для рассеивающей линзы значение фокусного расстояния следует брать со знаком «минус».

**Задача 34.4.** На рисунке 34.15 представлена собирающая линза и указаны расположения её главных фокусов на её главной оптической оси. Определите, в каком месте находятся изображения точек  $A$  и  $B$ , расположенных на главной оптической оси линзы.

**Задача 34.5.** Глаз диаметром 16,95 мм имеет фокусное расстояние 16 мм. Какой оптической силы нужны очки для такого глаза?

**Задача 34.6.** Во сколько раз больше света от звезды попадает в глаз человека при наблюдении в телескоп диаметром 1 м, если диаметр зрачка глаза равен 2 мм?

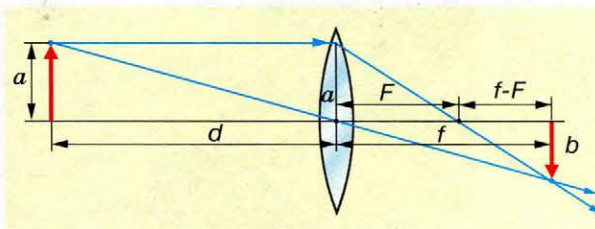


Рис. 34.14

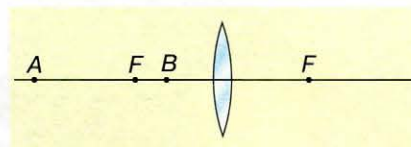


Рис. 34.15

### Экспериментальное задание 34.2

#### Работаем самостоятельно

#### Сборка и испытание модели микроскопа

**Оборудование:** собирающие линзы ЛС-1 и ЛС-2, цветная картинка.

**Соберите и испытайте модель микроскопа.**

#### Порядок выполнения задания

1. При выполнении экспериментального задания 33.1 вы измерили фокусные расстояния линз ЛС-1 и ЛС-2. Определите, какую из этих линз следует использовать в качестве объектива модели микроскопа, а какую — в качестве окуляра. Установите линзы так, чтобы их главные оптические оси совпадали. Расстояние между линзами должно быть немного больше удвоенной суммы фокусных расстояний объектива и окуляра.
2. Перед объективом модели микроскопа поставьте цветную картинку на расстоянии немного больше его фокусного расстояния. Перемещая картинку и окуляр, добейтесь получения чёткого увеличенного изображения картинку.

### Экспериментальное задание 34.3

#### Работаем самостоятельно

#### Сборка и испытание модели телескопа

**Оборудование:** собирающие линзы ЛС-1 и ЛС-2.

**Соберите и испытайте модель телескопа.**

#### Порядок выполнения задания

1. Определите, какую из линз следует использовать в качестве объектива модели телескопа, а какую — в качестве окуляра. Установите линзы так, чтобы их главные оптические оси совпадали. Расстояние между линзами должно быть равно сумме фокусных расстояний объектива и окуляра.
2. Направьте объектив модели телескопа на окно. Перемещением окуляра добейтесь получения чёткого увеличенного изображения далёкого предмета.



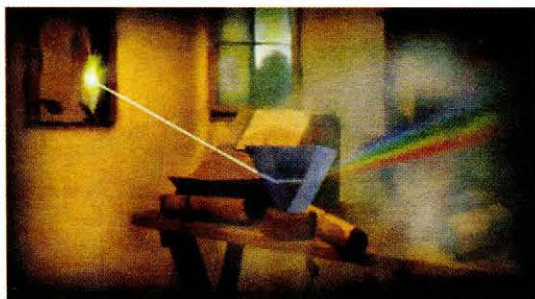


Рис. 35.1



Рис. 35.2

**Явление дисперсии света.** Явление дисперсии света впервые было изучено И. Ньютоном. Он поставил на пути солнечного света экран с щелью. Узкий пучок белого солнечного света за экраном Ньютон направил на грань стеклянной призмы. При прохождении пучка света через стеклянную призму произошло преломление света при переходе из воздуха в стекло и из стекла в воздух. В результате этих двух преломлений направление луча света на выходе из призмы сильно изменилось, луч отклонился к основанию призмы. Это было известное свойство света.

Но Ньютон обнаружил и совершенно новое явление: на выходе из призмы пучок белого света превратился в веер пучков света разного цвета — от красного до фиолетового, неразрывно следующих один за другим (рис. 35.1).

Явление разложения пучка белого света в набор пучков света разных цветов называется дисперсией света.

На экране, поставленном перпендикулярно выходящему из призмы пучку света, вместо узкой белой полосы наблюдалась широкая разноцветная полоса (рис. 35.2). Эту разноцветную полосу называют **сплошным спектром** белого света.

Попытки разложить с помощью призмы пучок света красного, синего или другого цвета на пучки света ещё какого-то другого цвета оказались безуспешными.

Исследования показали, что свет разного цвета имеет разную длину волны. Наибольшая (до 0,8 мкм) длина волны у красного света, наименьшая длина волны (до 0,4 мкм) у фиолетового света. В сплошном спектре имеются световые волны со всевозможными длинами волн — от 0,8 до 0,4 мкм. Условно сплошной спектр делят на семь основных цветов — красный, оранжевый, жёлтый, зелёный, голубой, синий, фиолетовый (**Каждый охотник желает знать, где сидит фазан**).

**Объяснение явления дисперсии света.** Зависимость угла отклонения света при прохождении через призму от цвета света показывает, что показатель преломления световых волн зависит от длины световой волны. Он увеличивается с уменьшением длины волны.

Абсолютный показатель преломления  $n$  вещества связан со скоростью  $v$  распространения электромагнитной волны в этом веществе:  $n = \frac{c}{v}$ . Поэтому из факта зависи-

мости показателя преломления световых волн от длины



волны следует вывод, что скорость  $v$  распространения света в веществе зависит от длины волны.

Явление дисперсии света является следствием зависимости скорости распространения света в веществе от длины волны.

**Что такое белый свет?** Разложение белого света в разноцветный спектр доказывает его сложный состав. Белого света нет в природе, он есть только в восприятии глаза и мозга человека. Одновременное действие на глаз света всех цветов — от красного до фиолетового — воспринимается человеком как действие белого света.

Как показали опыты, глаз человека воспринимает как белый свет не только одновременное действие света всех цветов — от красного до фиолетового, но и действие только некоторых комбинаций света трёх цветов. Эту особенность зрения человека можно обнаружить при проведении опыта. Поместим электрическую лампу в коробку с тремя окошками на три стороны, в которые вставлены стеклянные фильтры зелёного, синего и красного цвета. При включении лампы на столе видны полосы зелёного, синего и красного цвета (рис. 35.3).

Теперь у правого и левого окошек поставим плоские зеркала, отражающие полосы зелёного и красного света так, чтобы на экране пересеклись полосы света всех трёх цветов. В местах наложения света двух цветов глаз видит новые цвета, а место наложения света трёх цветов глаз видит освещённым белым светом (рис. 35.4).

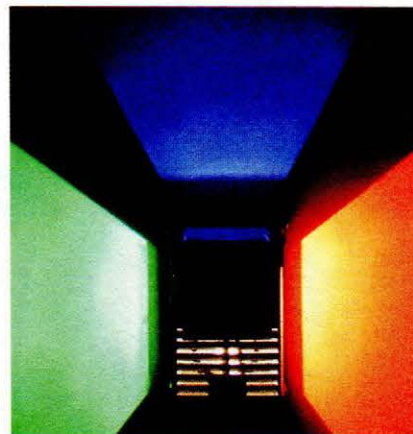


Рис. 35.3

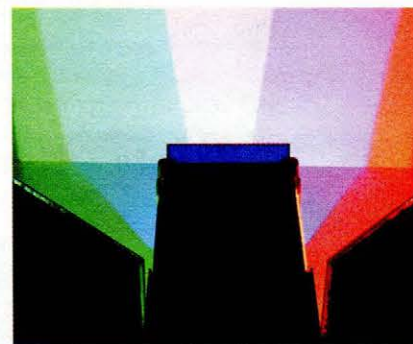


Рис. 35.4

### ? Вопросы

1. Что называется дисперсией белого света?
2. В каких опытах можно наблюдать явление дисперсии?
3. Чем объясняется явление дисперсии света?
4. Что такое белый свет?

## ● Экспериментальное задание 35.1

### Работаем в паре

#### Обнаружение явления дисперсии белого света

**Оборудование:** источник света, экран с щелью, стеклянная призма.

**Направьте на грань стеклянной призмы около пересечения с другой гранью узкий пучок белого света.**

#### Порядок выполнения задания

1. Изменяя угол падения пучка света на грань, добейтесь разложения белого света в сплошной спектр на выходе из второй грани (рис. 35.5).

2. Зарисуйте наблюдаемую картину дисперсии света. Определите порядок расположения цветов в сплошном спектре.

3. Попробуйте наблюдать явление дисперсии света в призме непосредственно глазом. Для этого приблизьте призму к глазу и посмотрите через неё на освещённую щель в экране.

По результатам вашего опыта определите, какого цвета свет испытывает наибольшее преломление в стекле.

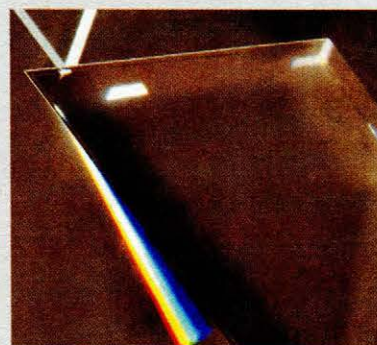


Рис. 35.5



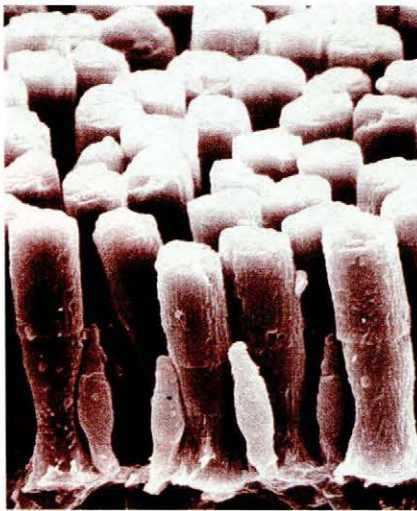


Рис. 35.6



Рис. 35.7

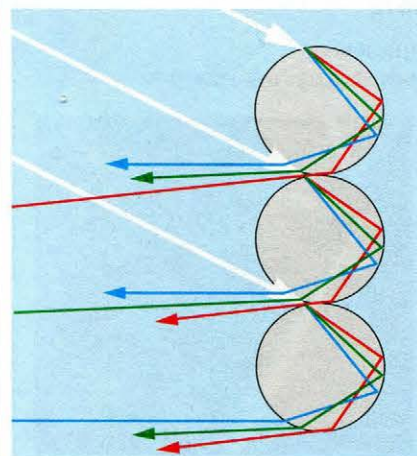


Рис. 35.8

**Цветовое зрение.** Свет воспринимается глазом с помощью специальных клеток, имеющих форму колбочек и палочек (рис. 35.6). В глазе человека более 100 млн палочек и около 6 млн колбочек. Палочки не способны различать цвет света, но чувствуют очень слабый свет. Цветовое зрение осуществляется с помощью колбочек. Есть три типа колбочек. Одни из них лучше реагируют на зелёный свет, другие — на красный, третьи — на синий. В зависимости от степени раздражения каждого из этих типов колбочек в мозге возникает впечатление о каком-то цвете или белом свете.

**Радуга.** На основе изучения явления дисперсии света Ньютон объяснил происхождение радуги. Она наблюдается во время падения капель дождя или мелких капель воды, возникающих вблизи водопада (рис. 35.7).

Радуга наблюдается при расположении Солнца за спиной наблюдателя. Объясняется происхождение радуги явлением дисперсии солнечного света в каплях воды. Если на поверхность капли воды падает белый свет от Солнца под углом падения, близким к  $90^\circ$ , то после преломления на границе раздела двух сред воздух—вода он благодаря дисперсии разлагается в спектр (рис. 35.8). Большая часть энергии света при следующей встрече с границей раздела двух сред вода—воздух отражается внутрь воды, небольшая часть света выходит в воздух. То же самое происходит и при втором отражении. Этот выходящий свет воспринимается глазом на фоне более тёмного неба как главная радуга. Из-за различия показателей преломления лучи красного света выходят под углом  $\sim 42^\circ$  к направлению падающих лучей, синие — под углом  $\sim 40^\circ$ . Каждая полоса главной радуги образует дугу окружности в местах пересечения «неба» с боковой поверхностью кругового конуса с вершиной в глазе наблюдателя.

Цветные полосы в главной радуге располагаются от синего цвета к красному в направлении от внутренних колец к внешним (рис. 35.9).

Свет разного цвета выходит из одной капли в разных направлениях. Свет красного цвета попадает в глаз чело-

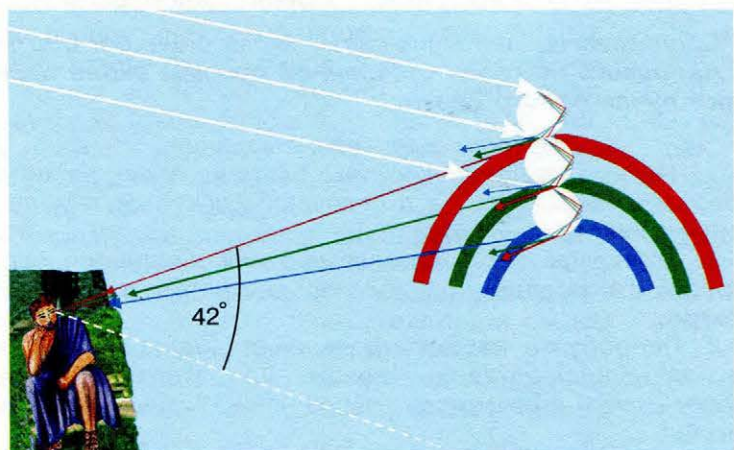


Рис. 35.9



века из высоко расположенных капель, свет зелёного цвета — из капель, расположенных ниже, свет фиолетового цвета — из капель, расположенных ниже всех остальных.

Выше главной радуги иногда наблюдается более слабая вторичная радуга под углом  $51^\circ$ .

## Домашнее экспериментальное задание 35.2

### Работаем самостоятельно

#### Наблюдение явления получения белого света при сложении семи цветов сплошного спектра

*Оборудование:* белая бумага, картон, клей, ножницы, прочная нить, цветные карандаши.

**Изготовьте картонный диск, раскрашенный в семь цветов сплошного спектра. Приведите диск в быстрое вращение и наблюдайте эффект изменения цвета диска. Объясните результат опыта.**

#### Порядок выполнения задания

1. Вырежьте из белой бумаги круг. Разделите его радиусами от центра на семь примерно равных частей. Закрасьте каждую часть одним из семи цветов спектра — красным, оранжевым, жёлтым, зелёным, голубым, синим, фиолетовым.

2. Наклейте раскрашенный диск на картон и обрежьте картон по краю диска. Сделайте в диске два отверстия на небольшом расстоянии от центра (как в пуговице). Проденьте нить через отверстия и свяжите её концы. Наденьте концы петель нити с двух сторон от диска на большие пальцы рук (рис. 35.10).

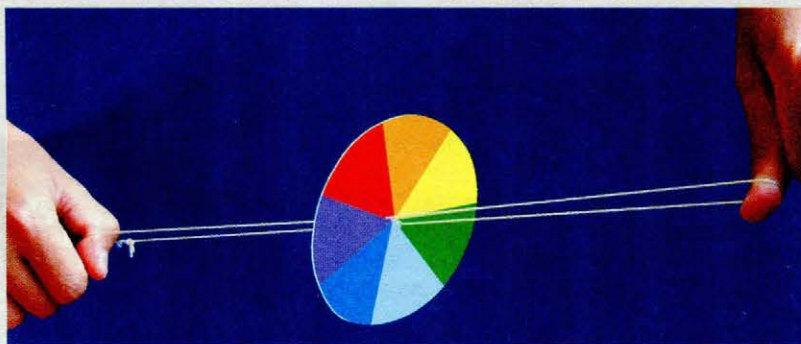


Рис. 35.10

3. Сделайте несколько оборотов диска при слабо натянутых нитях, затем периодическими растягиваниями нити приведите диск в быстрое вращение. Пронаблюдайте, как меняется цвет диска (рис. 35.11).

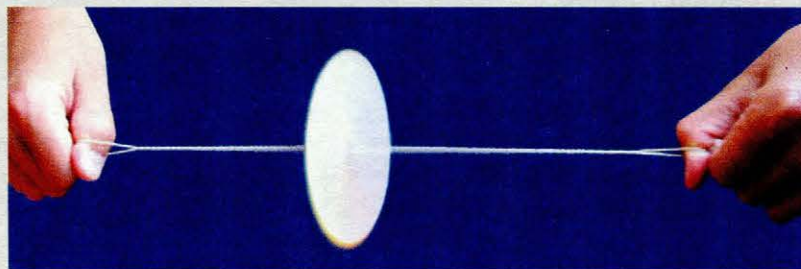


Рис. 35.11



## ! Основные понятия и законы

### Прямолинейное распространение света

Свойство прямолинейности распространения света обнаруживается в явлениях образования теней от непрозрачных предметов при их освещении.

### Корпускулярные и волновые свойства света

Свойство прямолинейности распространения делает свет похожим на поток частиц (корпускул). Свойства света, сходные со свойствами частиц вещества, называют корпускулярными свойствами.

Способность пучков света проходить друг через друга не смешиваясь, не изменяя направления распространения и интенсивность делает процесс распространения света похожим на процесс распространения волн на поверхности воды или звуковых волн в воздухе.

### Скорость света

Экспериментальное открытие электромагнитных волн Г. Герцем и установление совпадения их скорости со скоростью света явилось доказательством волновой природы света. Свет стал рассматриваться в физике как один из видов электромагнитных волн с очень короткой длиной волны. Скорость света равна примерно 300 000 км/с.

### Световые лучи

Световым лучом называется прямая линия, указывающая направление распространения световой волны. Направление распространения света узкого пучка света во многих опытах можно считать примерно совпадающим с лучом света.

### Отражение света

В металлических телах электромагнитная волна возбуждает колебания свободных электронов. Колебания электронов сопровождаются излучением электромагнитных волн. Так возникает отражённый свет. Явление отражения света от металлической плёнки используется в зеркалах.

В диэлектриках электроны прочно связаны со своими атомами, амплитуды их вынужденных колебаний под действием электромагнитных волн значительно меньше, поэтому и отражают свет они слабее.

### Закон отражения света

Угол  $\alpha$  между пучком света, падающим на поверхность тела, и перпендикуляром к поверхности называется углом падения. Угол  $\gamma$  между отражённым пучком света и перпендикуляром к поверхности называется углом отражения. При отражении света угол отражения равен углу падения. Этот факт называется законом отражения света.

### Явление преломления света

При падении на границу двух различных сред свет частично отражается, частично переходит во вторую среду. При переходе происходит изменение направления распространения света. Это явление называется преломлением света. Угол  $\alpha$  между падающим пучком света и перпендикуляром к границе раздела двух сред называется углом падения. Угол  $\beta$  между преломлённым пучком света и перпендикуляром к границе раздела двух сред называется углом преломления.

### Обратимость световых лучей

В любых средах пучок света из среды *Б* в среду *А* идёт по тому же пути, по какому он шёл из среды *А* в среду *Б*. Это свойство называется свойством обратимости световых лучей.

### Закон преломления света

Падающий луч, преломлённый луч и перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости; отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для этих

двух сред:  $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n.$



Постоянная величина  $n$  в законе преломления света называется относительным показателем преломления. Относительный показатель преломления равен отношению скоростей света  $v_1$  в первой среде и  $v_2$  во второй среде:  $n = \frac{v_1}{v_2}$ .

Отношение скорости света  $c$  в вакууме к скорости света  $v$  в веществе называется абсолютным показателем преломления:  $n = \frac{c}{v}$ .

### Линзы

Линзой называется оптический прибор из прозрачного вещества, ограниченный двумя сферическими поверхностями. Прямая  $O_1O_2$ , проходящая через центры этих сферических поверхностей, называется главной оптической осью. Точка  $O$  пересечения главной оптической оси с плоскостью, проходящей через края линзы, называется оптическим центром линзы.

Линза, утолщающаяся от краёв к центру, называется собирающей линзой. Такая линза собирает в одну точку  $F$  все пучки света, параллельные главной оптической оси. Точка называется главным фокусом линзы. Расстояние  $F$  от оптического центра линзы до её главного фокуса называется фокусным расстоянием линзы.

Линза, утончающаяся от краёв к центру, называется рассеивающей линзой. Такая линза рассеивает пучки света, параллельные главной оптической оси.

### Оптическая сила линзы

Величина, обратная фокусному расстоянию  $F$  линзы называется оптической силой  $D$ :  $D = \frac{1}{F}$ . Оптическая сила линзы выражается в диоптриях (дптр). Оптическая сила собирающей линзы считается положительной, рассеивающей — отрицательной.

### Получение изображений предметов с помощью собирающей линзы

Параллельные пучки света любых направлений собирающая линза собирает в точки на фокальной плоскости, перпендикулярной главной оптической оси и пересекающей её в главном фокусе. Изображения далёких предметов линза строит в фокальной плоскости.

При расстояниях больше двойного фокусного расстояния собирающая линза даёт уменьшенное действительное перевёрнутое изображение предмета, при расположении предмета от линзы дальше фокусного расстояния, но ближе двойного фокусного расстояния, собирающая линза даёт увеличенное действительное перевёрнутое изображение предмета. При расположении предмета ближе фокусного расстояния собирающая линза даёт мнимое увеличенное прямое изображение предмета.

### Очки

У людей, страдающих близорукостью, фокусное расстояние глаза меньше диаметра глаза. Для устранения этого недостатка используются очки с рассеивающими линзами. У людей, страдающих дальнозоркостью, фокусное расстояние глаза больше диаметра глаза. Для устранения этого недостатка используются очки с собирающими линзами.

### Дисперсия света

Узкий пучок белого света при прохождении через стеклянную призму превращается в веер пучков света разного цвета, от красного до фиолетового, неразрывно следующих один за другим. Получающуюся на экране разноцветную полосу называют сплошным спектром белого света. Явление разложения пучка белого света в набор пучков света разных цветов называется дисперсией света.

Свет разного цвета имеет разную длину волны. Наибольшая длина волны у красного света, наименьшая длина волны у фиолетового света.

Зависимость угла отклонения света при прохождении через призму от цвета света показывает, что показатель преломления световых волн зависит от длины световой волны. Он увеличивается с уменьшением длины волны. Белого света нет в природе. Одновременное действие на глаз света всех цветов от красного до фиолетового воспринимается человеком как действие белого света.



## Тест 4

Тест предназначен для самоконтроля результатов изучения тем  
**«Электромагнитные колебания и волны. Свойства света.  
 Отражение и преломление света. Линза. Фокусное расстояние линзы.  
 Глаз как оптическая система. Оптические приборы. Дисперсия света».**

Работу над заданиями теста следует проводить так же, как рекомендовано на с. 22 для теста 1.

1. Устройство какой электрической машины представлено на рисунке Т4.1?

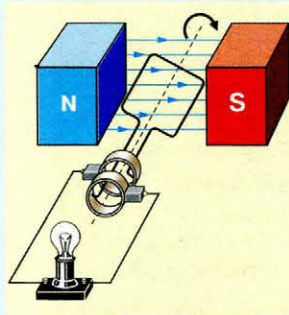


Рис. Т4.1

- 1) электродвигателя постоянного тока  
 2) электродвигателя переменного тока  
 3) электрогенератора постоянного тока  
 4) электрогенератора переменного тока
2. О существовании связи между электрическими и магнитными полями было высказано две гипотезы.  
 А. Любые изменения магнитного поля порождают вихревое электрическое поле.  
 Б. Любые изменения электрического поля порождают вихревое магнитное поле.  
 Кто высказал эти гипотезы?  
 1) обе гипотезы высказал Фарадей  
 2) гипотезу А — Фарадей, гипотезу Б — Максвелл  
 3) обе гипотезы высказал Максвелл  
 4) гипотезу Б — Фарадей, гипотезу А — Максвелл
3. Свойство прямолинейного распространения света обнаруживается при  
 1) образовании радуги после дождя  
 2) отражении света  
 3) преломлении света  
 4) образовании теней за непрозрачными предметами
4. Точечный источник света С находится перед плоским зеркалом З. В какой из точек на рисунке Т4.2 находится его изображение?

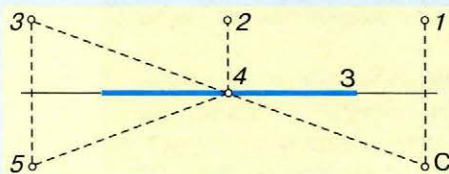


Рис. Т4.2

- 1) 1    2) 2    3) 3    4) 4    5) 5

5. Плоское зеркало создаёт изображение предмета  
 1) внутри стекла зеркала  
 2) за плоскостью зеркала  
 3) перед плоскостью зеркала  
 4) на поверхности зеркала
6. Пучок света 1 падает на границу раздела двух сред воздух—вода. Какой цифрой на рисунке Т4.3 обозначен преломлённый луч?

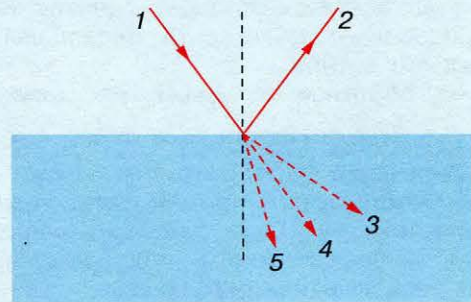


Рис. Т4.3

- 1) 2    2) 3    3) 4    4) 5
7. На рисунке Т4.4 представлена схема хода через линзу трёх лучей от источника света в точке 1. Что отмечено на схеме цифрами 2, 3, 4, 5?

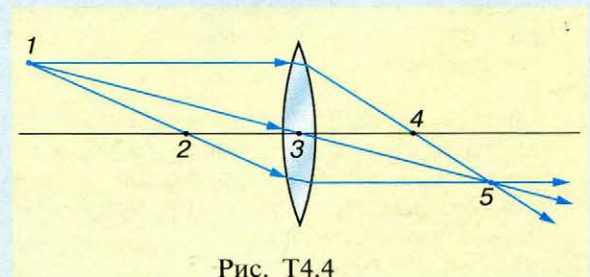


Рис. Т4.4

- 1) 2 и 3 — главные фокусы, 4 — оптический центр линзы, 5 — действительное изображение источника  
 2) 2 и 3 — главные фокусы, 4 — оптический центр линзы, 5 — мнимое изображение источника  
 3) 2 и 4 — главные фокусы, 3 — оптический центр линзы, 5 — действительное изображение источника  
 4) 2 и 4 — главные фокусы, 3 — оптический центр линзы, 5 — мнимое изображение источника



8. На рисунке Т4.5 представлена схема хода лучей при получении изображения предмета с помощью линзы. Эта схема соответствует случаю использования линзы в качестве

- 1) лупы
- 2) объектива фотоаппарата
- 3) очков близоручного человека
- 4) объектива проекционного аппарата

9. На рисунке Т4.5 представлена схема хода двух лучей через линзу от источника света в точке 3. Расстояние между какими точками на этой схеме является фокусным расстоянием линзы?

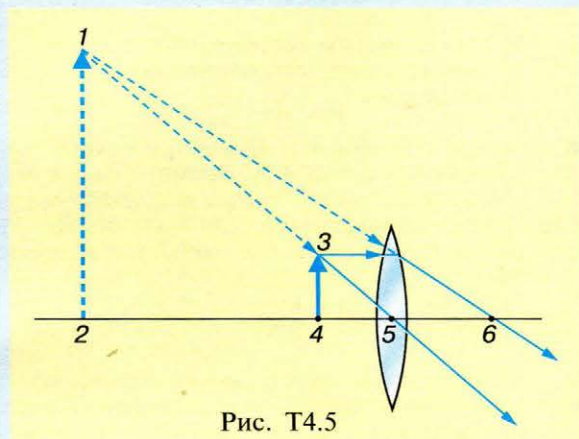


Рис. Т4.5

- 1) 3 и 5
- 2) 4 и 5
- 3) 4 и 6
- 4) 5 и 6

10. Какая из представленных на рисунке Т4.6 схем хода лучей соответствует случаю близоручного глаза человека без очков?

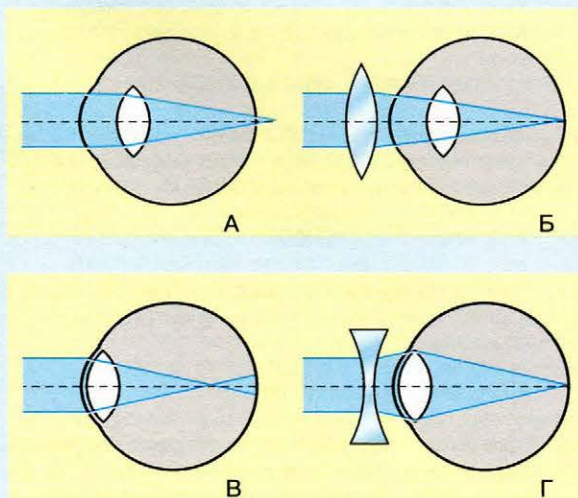


Рис. Т4.6

- 1) А
- 2) Б
- 3) В
- 4) Г

11. Если линза обладает оптической силой  $+0,5$  дптр, то это значит, что

- 1) она даёт увеличенное в 0,5 раза изображение
- 2) она даёт уменьшенное в 0,5 раза изображение
- 3) эта линза собирающая с фокусным расстоянием 2 м
- 4) эта линза собирающая с фокусным расстоянием 0,5 м
- 5) эта линза рассеивающая с фокусным расстоянием 0,5 м
- 6) эта линза рассеивающая с фокусным расстоянием 2 м

12. При прохождении через стеклянную призму пучок белого света превращается в разноцветный спектр потому, что

- 1) белый цвет является светом, состоящим из разных цветов. В результате различного преломления на границах между воздухом и стеклом он разделяется на составные цвета
- 2) проходя через стекло, белый свет окрашивается в разные цвета
- 3) стекло поглощает белый свет и затем излучает пучки света разных цветов
- 4) проходя через стекло призмы, частицы света расщепляются по-разному. Действие таких «осколков» белого света на глаз мы воспринимаем как свет разных цветов

13. На рисунке Т4.7 представлены три варианта направления пучка белого света на стеклянную призму для получения сплошного спектра. Какой из трёх вариантов позволит решить поставленную задачу наиболее успешно?

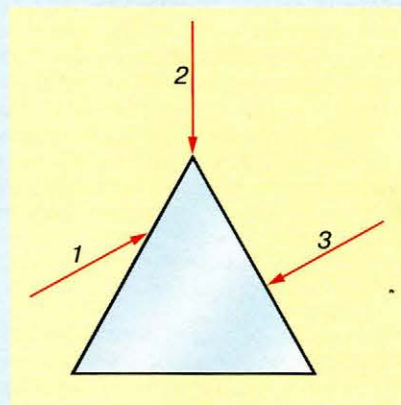


Рис. Т4.7

- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) все три одинаково

14. При падении узкого пучка света на зеркало угол отражения был равен  $30^\circ$ . При увеличении угла падения луча на зеркало на  $10^\circ$  угол его отражения стал равным

- 1)  $40^\circ$
- 2)  $30^\circ$
- 3)  $20^\circ$
- 4)  $10^\circ$





## Итоговый тест

- Явление электризации тел при соприкосновении объясняется переходом некоторого количества электрически заряженных частиц от атомов одного тела к атомам другого тела. Как называются эти частицы и каким электрическим зарядом они обладают?

  - 1) электроны, заряд отрицательный
  - 2) электроны, заряд положительный
  - 3) протоны, заряд отрицательный
  - 4) протоны, заряд положительный
- Как электрические силы действуют между двумя электронами, двумя протонами и между электроном и протоном?

  - 1) электрон с электроном, протон с протоном и электрон с протоном притягиваются
  - 2) электрон с электроном, протон с протоном и электрон с протоном отталкиваются
  - 3) электрон с электроном и протон с протоном отталкиваются, электрон с протоном притягиваются
  - 4) электрон с электроном и протон с протоном притягиваются, электрон с протоном отталкиваются
- Если с нейтрального тела снять электрический заряд  $+10$  Кл, затем передать ему заряд  $-20$  Кл, то согласно закону сохранения электрического заряда в результате тело будет обладать электрическим зарядом

  - 1)  $+10$  Кл
  - 2)  $-10$  Кл
  - 3)  $-20$  Кл
  - 4)  $-30$  Кл
- Электрический заряд создаёт вокруг себя электрическое поле. Обдумайте ответы на следующие вопросы о свойствах этого поля.

А. Действует ли электрическое поле одного заряда на другие электрические заряды?

Б. Действует ли электрическое поле одного заряда на электрическое поле другого заряда?

В. Ослабляется ли действие электрического поля с увеличением расстояния от заряда?

На какие из этих вопросов правильным является ответ «да»?

  - 1) А, Б и В
  - 2) А и Б
  - 3) А и В
  - 4) только А
- Если стержень заряженного электроскопа соединить металлической проволокой со стержнем такого же, но незаряженного электроскопа, то

  - 1) весь заряд перейдёт с первого на второй электроскоп
  - 2) заряд распределится поровну между электроскопами
  - 3) весь заряд останется на первом электроскопе
  - 4) оба электроскопа станут незаряженными
- Нижняя часть грозового облака имела отрицательный электрический заряд. Между облаком и Землёй произошёл разряд молнии. Удар молнии длился  $50$  мкс, сила тока была равна  $20$  кА. Какой электрический заряд получила Земля в результате этого удара молнии?

  - 1)  $-1$  Кл
  - 2)  $+1$  Кл
  - 3)  $0$
  - 4)  $-1000$  Кл
  - 5)  $+1000$  Кл
- Физическая величина, равная отношению работы  $A$  электрического поля при перемещении электрического заряда  $q$  из одной точки в другую к заряду  $q$ , называется

  - 1) силой тока
  - 2) электрическим напряжением
  - 3) электрическим сопротивлением
  - 4) мощностью
- Между точками А и Б электрического поля напряжение равно  $4$  В. Если при перемещении электрического заряда между этими точками силы электрического поля совершили работу  $8$  Дж, то этот электрический заряд равен

  - 1)  $32$  Кл
  - 2)  $16$  Кл
  - 3)  $2$  Кл
  - 4)  $0,5$  Кл
- Электрический ток в различных средах может производить тепловое, химическое, магнитное действие, световое излучение, излучение радиоволн. Какие из этих действий производит постоянный электрический ток в виде потока равномерно движущихся электронов в вакууме?

  - 1) все перечисленные действия
  - 2) магнитное действие, световое излучение и излучение радиоволн
  - 3) магнитное действие и световое излучение
  - 4) магнитное действие и излучение радиоволн
  - 5) только магнитное действие
- Участок электрической цепи, на котором при напряжении  $12$  В сила тока равна  $6$  мА, обладает электрическим сопротивлением

  - 1)  $0,5$  Ом
  - 2)  $2$  Ом
  - 3)  $72$  Ом
  - 4)  $2000$  Ом
- При напряжении на электрической лампе  $10$  В и силе тока  $2$  А мощность электрического тока равна

  - 1)  $40$  Вт
  - 2)  $20$  Вт
  - 3)  $5$  Вт
  - 4)  $0,2$  Вт
- При силе тока  $0,2$  А на электрическом нагревателе электрическим сопротивлением  $100$  Ом за  $2$  мин выделится количество теплоты, равное

  - 1)  $8$  Дж
  - 2)  $40$  Дж
  - 3)  $480$  Дж
  - 4)  $2400$  Дж



13. К каким точкам электрической цепи, представленной схемой на рисунке И1, нужно подключить амперметр и вольтметр для измерения силы тока в цепи и напряжения на электрической лампе?

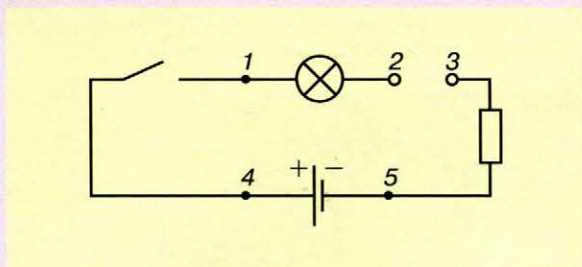


Рис. И1

- 1) вольтметр к точкам 1 и 2, амперметр к точкам 2 и 3
  - 2) вольтметр к точкам 2 и 3, амперметр к точкам 1 и 2
  - 3) вольтметр к точкам 4 и 5, амперметр к точкам 2 и 3
  - 4) вольтметр к точкам 3 и 5, амперметр к точкам 2 и 3
14. Каким основным свойством обладает полупроводниковый диод?
- 1) проводит только половину поступающего к нему электрического тока
  - 2) проводит половину поступающего к нему электрического тока в одну сторону, а половину тока в другую сторону
  - 3) обладает малым электрическим сопротивлением при одной полярности напряжения и большим при противоположной полярности, поэтому проводит ток в одном направлении
  - 4) способен усиливать электрический ток
15. Начиная с каких примерно значений силы тока электрический ток, проходящий через тело человека, может быть опасным для жизни?
- 1) со сколь угодно малого значения
  - 2) со значений примерно 20 мкА
  - 3) со значений примерно 20 мА
  - 4) со значений примерно 20 А
16. Чем отличается взаимодействие магнитной стрелки с железным стержнем от её взаимодействия с постоянным магнитом?
- 1) ничем не отличается, стрелка поворачивается одним из своих концов при приближении к железному стержню и при приближении к постоянному магниту
  - 2) отличается тем, что к железному стержню притягивается любой конец стрелки, к полюсу постоянного магнита один конец стрелки притягивается, а другой от него отталкивается

- 3) отличается тем, что к полюсу постоянного магнита притягивается любой конец стрелки, а к железному стержню один конец стрелки притягивается, а другой от него отталкивается
- 4) отличается тем, что к железному стержню один конец стрелки не притягивается, а к полюсу постоянного магнита один конец стрелки притягивается, а другой от него отталкивается

17. Явление влияния постоянного электрического тока в проводнике на магнитную стрелку, открытое Эрстедом, объясняется тем, что
- 1) проводник намагничивается током, намагниченный проводник влияет на магнитную стрелку
  - 2) электрический ток создаёт вокруг себя магнитное поле, это поле влияет на магнитную стрелку
  - 3) постоянный электрический ток создаёт электромагнитные волны, эти волны влияют на магнитную стрелку
  - 4) электрический ток изменяет магнитное поле Земли, и все магнитные стрелки поворачиваются
18. Изготовлен электромагнит с двумя одинаковыми катушками, надетыми на U-образный сердечник (рис. И2). В первом опыте токи в катушках имеют одинаковое направление, во втором имеют противоположное направление при той же силе тока. В каком опыте электромагнит способен поднять больший груз?
- 1) в первом
  - 2) во втором
  - 3) в первом и во втором способен поднять одинаковый груз

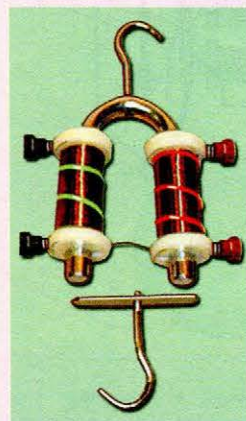


Рис. И2



19. Провод без тока расположен над компасом параллельно стрелке. При пропускании электрического тока через провод стрелка компаса повернулась и установилась так, как показано на рисунке И3. Определите направление электрического тока в проводнике.

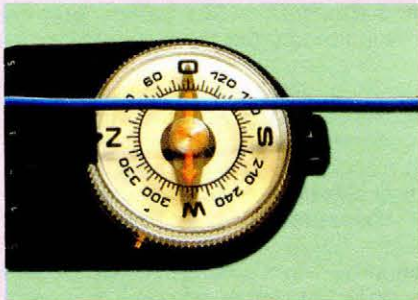


Рис. И3

- 1) слева направо
- 2) справа налево
- 3) стрелка одинаково поворачивается при том и другом направлении тока
- 4) ток в проводнике не влияет на стрелку

20. Какими цифрами на схеме электрического звонка (рис. И4) обозначены клеммы для подключения напряжения и место разрыва электрической цепи при включении электромагнита?

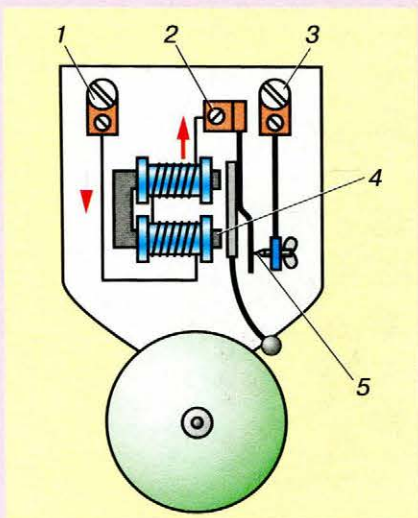


Рис. И4

- 1) напряжение к клеммам 1 и 3, место разрыва электрической цепи 4
- 2) напряжение к клеммам 1 и 3, место разрыва электрической цепи 5
- 3) напряжение к клеммам 1 и 2, место разрыва электрической цепи 4
- 4) напряжение к клеммам 1 и 2, место разрыва электрической цепи 5

21. На рисунке И5 представлена фотография экспериментальной установки для обнаружения действия магнитного поля на проводник с током. При включении тока проволоочная рамка отклонилась в направлении к наблюдателю. Какое направление имел ток в горизонтальном участке проводника? (Синим цветом окрашен северный полюс магнита.)

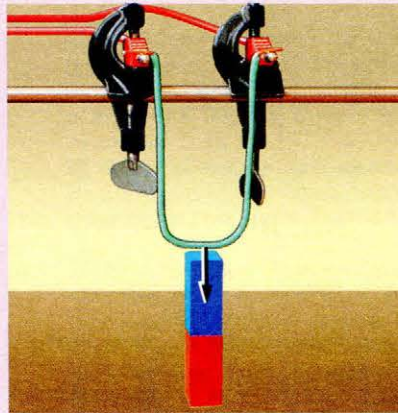


Рис. И5

- 1) ток имел направление слева направо
- 2) ток имел направление справа налево
- 3) отклонение проводника не зависит от направления тока в нём

22. Какие силы магнитного взаимодействия возникают при прохождении через два прямолинейных параллельных проводника электрических токов в одном направлении и в противоположных направлениях?

- 1) проводники притягиваются при любом направлении токов
- 2) проводники отталкиваются при любом направлении токов
- 3) проводники притягиваются при одинаковом направлении токов и отталкиваются при противоположном направлении токов
- 4) проводники отталкиваются при одинаковом направлении токов и притягиваются при противоположном направлении токов
- 5) магнитное взаимодействие электрических токов в прямолинейных параллельных проводниках отсутствует

23. Электромагнитной индукцией называется явление возникновения

- 1) электрического поля вокруг любого магнита
- 2) магнитного поля вокруг проводника с током
- 3) электрического тока в катушке при изменениях магнитного поля в ней
- 4) сил действия магнитного поля на проводник с током



24. Что происходит при вдвигании полюса постоянного магнита в алюминиевое кольцо, закреплённое на подвижном коромысле (рис. И6)?

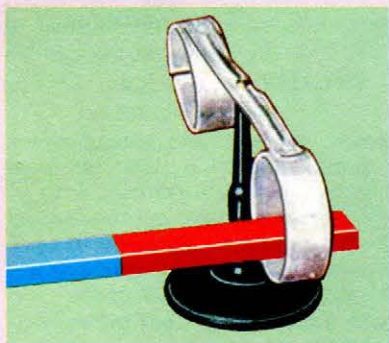


Рис. И6

- 1) кольцо отталкивается от магнита из-за возникновения в нём индукционного тока такого направления, что его магнитное поле препятствует действию, вызывающему индукционный ток
- 2) кольцо отталкивается от магнита из-за возникновения в нём индукционного тока такого направления, что его магнитное поле поддерживает действие, вызывающее индукционный ток
- 3) кольцо притягивается к магниту из-за возникновения в нём индукционного тока такого направления, что его магнитное поле препятствует действию, вызывающему индукционный ток
- 4) кольцо притягивается к магниту из-за возникновения в нём индукционного тока такого направления, что его магнитное поле поддерживает действие, вызывающее индукционный ток

25. С какой скоростью распространяются в вакууме радиоволны и свет?

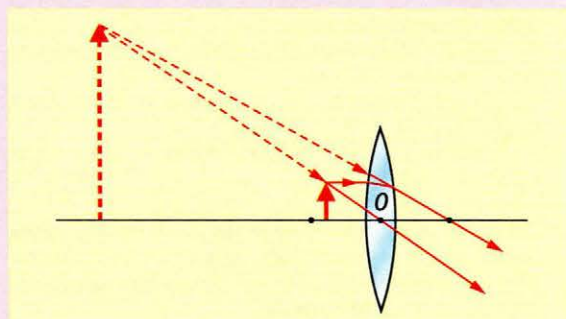
- 1) скорость радиоволн и света в вакууме бесконечно велика
- 2) скорость радиоволн и света в вакууме равна примерно 300 000 км/с
- 3) скорость света в вакууме равна примерно 300 000 км/с, радиоволны в вакууме распространяться не могут
- 4) скорость радиоволн в вакууме равна примерно 300 000 км/с, свет в вакууме распространяться не может

26. Пучок света падает на границу раздела двух сред воздух-вода (угол падения света в воздухе  $\alpha$ , угол отражения  $\gamma$ , угол преломления  $\beta$ ). Какие соотношения выполняются для этих углов?

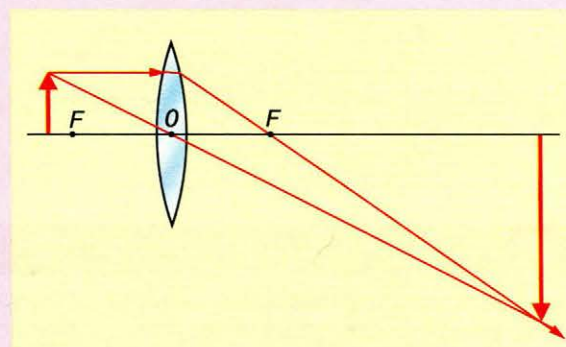
- 1)  $\alpha = \beta = \gamma$
- 2)  $\alpha = \beta > \gamma$
- 3)  $\alpha = \gamma < \beta$
- 4)  $\alpha = \gamma > \beta$
- 5)  $\alpha < \beta < \gamma$

27. На рисунке И7 представлены 4 схемы хода лучей при получении изображений предметов

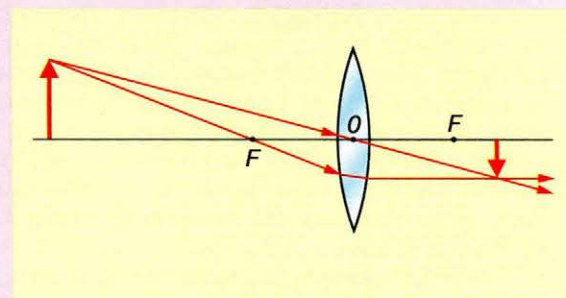
с помощью линзы. Какая из этих схем соответствует случаю использования линзы в качестве объектива фотоаппарата?



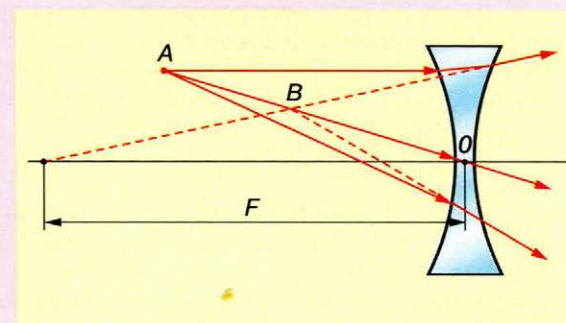
А



Б



В



Г

Рис. И7

- 1) А    2) Б    3) В    4) Г



28. Очки оптической силой  $-4$  дптр
- 1) дают увеличенное в 4 раза изображение
  - 2) дают уменьшенное в 4 раза изображение
  - 3) имеют собирающие линзы с фокусным расстоянием 4 м
  - 4) имеют собирающие линзы с фокусным расстоянием 0,25 м
  - 5) имеют рассеивающие линзы с фокусным расстоянием 4 м
  - 6) имеют рассеивающие линзы с фокусным расстоянием 0,25 м
29. Какая из представленных на рисунке И8 схем хода лучей в глазе человека соответствует случаю использования очков с оптической силой  $+2$  дптр для чтения?
- 1) А
  - 2) Б
  - 3) В
  - 4) Г

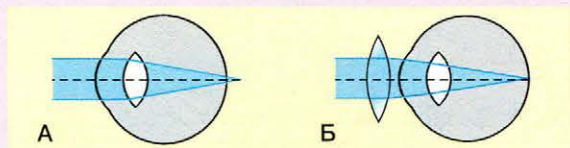


Рис. И8

30. При прохождении через каплю дождя пучок белого света превращается в разноцветный спектр и наблюдается радуга потому, что
- 1) белый свет является светом, состоящим из разных цветов. В результате различного преломления на границах между воздухом и водой он разделяется на составные цвета
  - 2) проходя через воду, белый свет окрашивается в разные цвета
  - 3) вода поглощает белый свет и затем излучает пучки света разных цветов
  - 4) проходя через каплю воды, частицы света расщепляются по-разному. Действие таких «осколков» белого света на глаз мы воспринимаем как свет разных цветов

### Вопросы и задачи

1. Какими электрическими зарядами обладают электрон и протон?
2. От нейтральной водяной капли оторвалась маленькая капля и унесла с собой один элементарный положительный электрический заряд  $+e$ . Затем к оставшейся части капли присоединилась капля с двумя элементарными отрицательными электрическими зарядами  $-2e$ . Чему равен общий электрический заряд капли?
3. На рисунке 1 представлено расположение трёх малых тел А, Б и В с одинаковыми по модулю электрическими зарядами, заряд тела В положительный. Каковы знаки электрических зарядов тел А и Б, если вектор равнодействующей сил, действующих на заряд А со стороны зарядов Б и В, имеет направление, представленное на рисунке 1?
4. При напряжении 10 В на резисторе электрическим сопротивлением 5 Ом сила тока в цепи 2 А. Чему равна мощность электрического тока на резисторе?
5. Чему равна работа электрического тока на участке цепи при напряжении 20 В и силе тока 2 А за 2 мин.
6. Как нужно включить в электрическую цепь амперметр и вольтметр для измерения силы тока в цепи и напряжения на лампе?
7. Чему равна стоимость электроэнергии, расходуемой электрическим утюгом мощностью 500 Вт за 20 мин непрерывной работы при тарифе электроэнергии 2 р/кВт·ч?
8. График зависимости силы тока от напряжения на концах проводника представлен на рисунке 2. Чему равно электрическое сопротивление проводника?
9. На рисунке 3 представлено расположение трёх пар магнитов. В каких из них наблюдается взаимное притяжение магнитов?
10. На рисунке 4 представлено устройство электрического звонка. Объясните принцип его действия.
11. На рисунке 5 представлено расположение прямолинейного проводника с током  $I$  в магнитном поле, направления тока и магнитных линий. Какая стрелка указывает направление силы, действующей со стороны магнитного поля на проводник с током?
12. На рисунке 6 представлены схемы устройства генераторов электрического тока. На схеме а) рамка вращается в магнитном поле, щётки прижимаются к двум контактным кольцам. На схеме б) магнит вращается внутри неподвижной рамки. Какая из схем представляет принцип действия генератора постоянного тока?



13. Точечный источник света  $C$  находится перед плоским зеркалом  $3$ . В какой из точек на рисунке 7 находится изображение источника света  $C$  в зеркале  $3$ ?
14. На рисунке 8 представлены поперечные сечения пяти стеклянных линз. Какие из них собирающие и какие рассеивающие?
15. На рисунке 9 представлены три луча, исходящие из точечного источника света  $A$ , собирающая линза и её главная оптическая ось. Какие из лучей после прохождения через линзу пройдут через её фокус?
16. На рисунке 10 представлена схема хода лучей при получении изображения предмета  $AB$  с помощью линзы. Какая линза представлена на схеме? Какое изображение дала линза: действительное или мнимое, прямое или перевернутое?

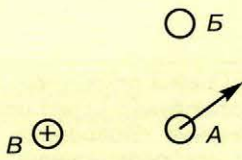


Рис. 1

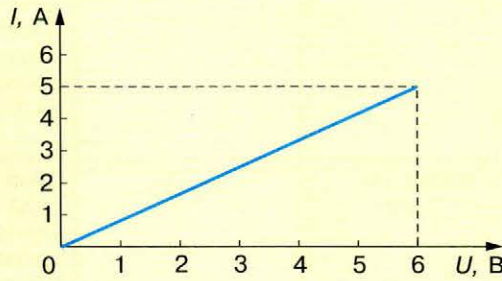


Рис. 2

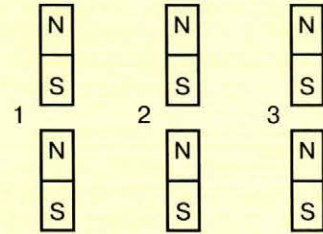


Рис. 3

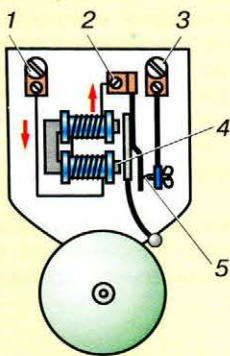


Рис. 4

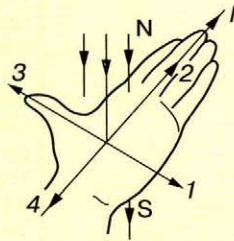


Рис. 5

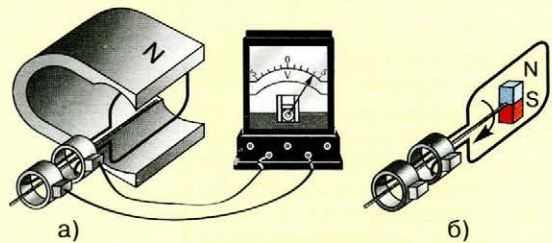


Рис. 6

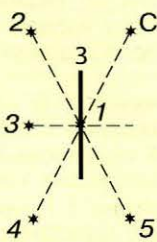


Рис. 7

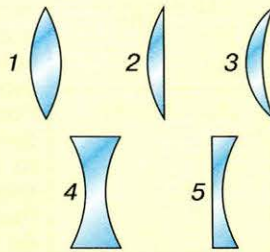


Рис. 8

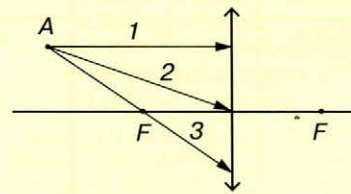


Рис. 9

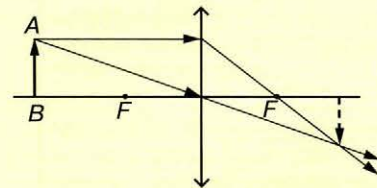


Рис. 10



## Электрические величины и их единицы в СИ

Наименование физической величины	Обозначение величины	Наименование и обозначение единицы	Формула связи с другими величинами	Определение величины и её единицы
Электрический заряд	$q$	кулон (Кл)	$q = I \cdot t,$ $1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}$	<p>Электрический заряд — физическая величина, определяющая интенсивность электромагнитного взаимодействия и связывающая силу этого взаимодействия с расстоянием между взаимодействующими телами.</p> <p>Электрический заряд 1 Кл проходит через поперечное сечение проводника за 1 с при силе тока 1 А</p>
Сила тока	$I$	ампер (А)	$I = \frac{q}{t}$	<p>Сила тока <math>I</math> равна отношению заряда <math>q</math>, прошедшего через поперечное сечение проводника, ко времени <math>t</math> его прохождения. За единицу силы тока 1 А принята сила тока, который проходит по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и малой площади кругового сечения в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы силу магнитного взаимодействия, равную <math>2 \cdot 10^{-7}</math> Н.</p> <p>При силе тока 1 А через поперечное сечение проводника проходит электрический заряд 1 Кл за 1 с.</p> <p>За направление электрического тока принято направление движения положительно заряженных частиц</p>
Электрическое напряжение	$U$	вольт (В)	$U = \frac{A}{q},$ $1 \text{ В} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}}$	<p>Электрическим напряжением <math>U</math> между двумя точками называется физическая величина, равная отношению работы <math>A</math> электрического поля по перемещению электрического заряда <math>q</math> из одной точки поля в другую к этому заряду <math>q</math>.</p> <p>При напряжении 1 В на участке цепи прохождение электрического тока 1 А сопровождается выделением мощности 1 Вт.</p> <p>При напряжении 1 В между двумя точками в электрическом поле во время перемещения электрического заряда 1 Кл силы электрического поля совершают работу 1 Дж</p>



Продолжение

Наименование физической величины	Обозначение величины	Наименование и обозначение единицы	Формула связи с другими величинами	Определение величины и её единицы
Емкость	$C$	фарад (Ф)	$C = \frac{q}{U},$ $1\text{Ф} = \frac{1\text{Кл}}{1\text{В}}$	Емкостью $C$ конденсатора называется отношение электрического заряда $q$ на одной обкладке конденсатора к напряжению $U$ между обкладками конденсатора. Емкость $1\text{Ф}$ равна емкости такого конденсатора, у которого напряжение между обкладками равно $1\text{В}$ при разноименных зарядах на его обкладках $+1\text{Кл}$ и $-1\text{Кл}$
Электрическое сопротивление	$R$	ом (Ом)	$R = \frac{U}{I},$ $1\text{Ом} = \frac{1\text{В}}{1\text{А}}$	Электрическим сопротивлением $R$ участка цепи называется отношение напряжения $U$ на этом участке к силе тока $I$ . Участок электрической цепи обладает электрическим сопротивлением $1\text{Ом}$ , если при напряжении $1\text{В}$ на этом участке цепи сила тока в цепи равна $1\text{А}$
Удельное электрическое сопротивление	$\rho$	ом на метр (Ом · м)	$\rho = \frac{RS}{l}$	Удельным электрическим сопротивлением $\rho$ вещества называется физическая величина, прямо пропорциональная электрическому сопротивлению $R$ однородного проводника, площади поперечного сечения $S$ и обратно пропорциональная длине $l$ проводника. Удельное электрическое сопротивление вещества $1\text{Ом} \cdot \text{м}$ численно равно электрическому сопротивлению проводника из этого вещества длиной $1\text{м}$ и площадью поперечного сечения $1\text{м}^2$
Работа электрического тока	$A$	джоуль (Дж)	$A = qU = ItU = I^2Rt$	Работа электрического тока на участке цепи равна работе электрического поля по перемещению электрического заряда на этом участке цепи
Мощность электрического тока	$N$	ватт (Вт)	$N = \frac{A}{t}$	Мощность $N$ электрического тока на участке цепи равна отношению работы электрического тока ко времени



- 4.1.**  $A = 10\,000\,000$  Дж,  $h = 10\,000$  м = 10 км. **4.2.** 20 Дж.
- 5.1.** 5 с. **5.2.** 1 Кл. **5.3.** 5000 А.
- 6.1.**  $A = 540$  Дж,  $h = 1$  м. **6.2.**  $A = 2\,160\,000$  Дж,  $h = 216$  м.
- 7.1.**  $0,25$  А = 250 мА = 250 000 мкА. **7.2.**  $0,044$  А = 44 мА = 44 000 мкА. **7.3.** 11 мкА.
- 8.1.** 20 Ом. **8.2.** 20 А. **8.3.** 7 В. **8.4.**  $55 \cdot 10^{-12}$  м<sup>2</sup> =  $55 \cdot 10^{-6}$  мм<sup>2</sup>. **8.5.** 1,7 Ом.
- 9.1.** 2,8 мм<sup>2</sup>. **9.2.** Кабель из алюминия дешевле кабеля из меди примерно в 5,7 раз. **9.3.**  $R_V = 14,9$  кОм,  $R_{mA} = 100$  Ом.
- 10.1.** 4 002 020 Ом. **10.2.**  $R_1, R_2, R_3, R_4$ . **10.3.** Схема последовательного соединения резисторов электрической цепи представлена на рисунке 10.6.
- 10.4.**  $U_3 = 3$  В,  $U_{\text{общ}} = 21$  В.
- 11.1.** 4 Ом. **11.2.**  $R_2$  и  $R_3$ . **11.3.** Через каждый резистор сопротивлением 4 Ом проходит ток 2 А, через каждый резистор сопротивлением 10 Ом проходит ток 1 А.
- 12.1.**  $N = 0,27$  Вт,  $A = 162$  Дж. **12.2.**  $N = 0,1125$  Вт,  $A \approx 810$  Дж.
- 12.3.**  $N = 72$  Вт,  $A = 64\,800$  Дж. **12.4.** 24 В. **12.5.** 12 В. **12.6.** 1,2 Ом.
- 12.7.**  $\approx 0,9$  Ом. **12.8.** 36 Вт. **12.9.** 12 Вт. **12.10.** Спирали следует соединить по схеме (рис. 12.4), т. е. параллельно; 17,5 мин. **12.11.** 1,5 Вт. **12.12.** Максимальная мощность электрического тока выделяется на резисторе сопротивлением  $R_1 = 1$  Ом. **12.13.**  $\approx 6$  Вт. **12.14.** 7 В. **12.15.** 0,75 Вт.
- 15.1.** 240 кОм. **15.2.** 4 кОм.
- 16.1.** Южный.
- 17.1.** Справа налево. **17.2.** При наблюдении со стороны компаса — против часовой стрелки.
- 19.1.** Перпендикулярно плоскости рисунка, к наблюдателю.
- 19.2.** Перпендикулярно плоскости рисунка, к наблюдателю.
- 19.3.** Направление тока в катушке при взгляде справа против часовой стрелки. Катушка сместится влево.
- 20.1.** В точке 1 — вверх, в точке 2 — вниз; рамка не поворачивается.
- 22.1.** Направление тока в кольце при введении южного полюса магнита будет противоположным направлению тока в кольце в первом опыте. Направление тока в кольце при удалении южного полюса магнита будет таким же, как при введении северного полюса магнита.
- 22.2.** Индукционный ток возникнет. Направление индукционного тока в кольце будет противоположным направлению тока в катушке. Кольцо и катушка будут отталкиваться.
- 22.3.** Индукционный ток возникнет. Направление индукционного тока в кольце будет противоположным направлению тока в катушке. Кольцо и катушка будут отталкиваться.
- 25.1.** Скорость равна примерно 79 м/с, 32 пары полюсов.
- 26.1.**  $470$  м<sup>3</sup>/с.
- 32.1.**  $19,5^\circ$ . **32.2.**  $60^\circ$ . **32.3.** Схема 1. **32.4.**  $\approx 2,42$  м.
- 34.2.**  $\approx 59$  дптр. **34.5.**  $\approx -3,5$  дптр. **34.6.** В 250 000 раз.



### Тест 1

Номер задания	Номер правильного ответа			
	1	2	3	4
1	×			
2		×		
3			×	
4			×	
5			×	
6	×			
7	×			
8	×			
9				×
10		×		
11	×			
12		×		
13		×		
14			×	

### Тест 2

Номер задания	Номер правильного ответа			
	1	2	3	4
1				×
2	×			
3			×	
4			×	
5			×	
6				×
7	×			
8		×		
9		×		
10	×			
11			×	
12		×		
13			×	
B1	6			
B2	2			
B3	1,5			

### Тест 3

Номер задания	Номер правильного ответа			
	1	2	3	4
1	×			
2	×			
3	×			
4		×		
5		×		
6			×	
7	×			
8	×			
9			×	
10		×		
11				×
12		×		
13	×			
14	×			

### Тест 4

Номер задания	Номер правильного ответа			
	1	2	3	4
1				×
2		×		
3				×
4	×			
5		×		
6				×
7			×	
8	×			
9				×
10			×	
11			×	
12	×			
13	×			
14	×			



## Итоговый тест

Номер задания	Номер правильного ответа				
	1	2	3	4	5
1	×				
2			×		
3				×	
4			×		
5		×			
6	×				
7		×			
8			×		
9					×
10				×	
11		×			
12			×		
13	×				
14			×		
15			×		
16		×			
17		×			
18		×			
19		×			
20		×			
21	×				
22			×		
23			×		
24	×				
25		×			
26				×	
27			×		
28					×
29		×			
30	×				



- Автоколебательный генератор 121  
Аккумулятор 28  
Альтернативные источники энергии 118  
*Ампер* 32, 74  
Ампер 24, 32  
Амперметр 32, 50  
Антенна 128  
Асинхронный двигатель 115
- Видимый свет** 126  
Волновые свойства света 134  
Вольт 19  
*Вольт* 19, 24, 30  
Вольтметр 36, 40, 46
- Гальвани* 24, 30  
Гальванический элемент 28  
Гамма-излучение 126  
Генератор переменного тока 112  
Генератор трёхфазного тока 114  
*Генри* 99  
Генри 101  
*Герц* 125  
Гидравлическая электростанция 116  
Главная оптическая ось 140, 146  
Главный фокус 140, 146
- Действительное изображение 148  
Действия электрического тока 26  
Детектирование 130  
Детектор 130  
Диафрагма 129  
Диод 61  
Дисперсия света 154  
Диэлектрик 14  
Дырка 60
- Закон Джоуля—Ленца 52  
Закон Ома 36  
Закон отражения света 138  
Закон преломления света 142  
Закон сохранения электрического заряда 10  
Затмение 134  
Зеркало 138
- Изолятор** 14  
Индуктивность 101  
Инфракрасное излучение 126  
Ион 7  
Ионизация 57  
Источник постоянного тока 24
- Камера-обскура 137  
Кинескоп 57  
Колебательный контур 120  
Конденсатор 20  
Корпускулярные свойства света 134  
Кулон 10
- Линза** 146  
Лупа 151
- Магнит** 70  
Магнитное поле 70  
Магнитное поле тока 74  
*Максвелл* 124  
Машина постоянного тока 105  
Мнимое изображение 138, 148  
Мощность электрического тока 52
- Намагничивание вещества** 78  
Напряжение 18
- Ом* 37  
Ом 37  
Оптическая сила линзы 146  
Оптический центр линзы 146  
Отражение света 138  
Очки 151
- Палочки** 156  
Параллельное соединение 48  
Передачик 128  
Переменный ток 112  
Плазма 57  
Плоское зеркало 138  
Полное отражение 145  
Полупроводник 60  
Полупроводниковые приборы 60  
Полупроводниковый диод 61  
Полупроводниковый фотоэлемент 62  
*Попов* 129  
Постоянный электрический ток 24  
Правила безопасности 64  
Правило винта 77  
Правило Ленца 94, 96  
Преломление света 142  
Приёмник 129  
Проводник 14  
Проекционный аппарат 152
- Работа электрического тока** 52  
Радио 128  
Радиоволны 126  
Радиопередатчик 128  
Радиоприёмник 130  
Радиосвязь 129  
Резистор 38  
Рентгеновские лучи 126  
Реостат 38
- Самоиндукция** 98  
Свет 125  
Световой луч 135  
Сила Ампера 83  
Сила Лоренца 84  
Сила тока 24  
Силовые линии 12  
Скорость света 125, 136  
Спектр сплошной 154  
Сферическое зеркало 140
- Телевидение** 130  
Телевизионный приёмник 131



- Телескоп **152**  
Тепловая электростанция **116**  
Терморезистор **60**  
Транзистор **62**  
Трансформатор **117**
- Удельное электрическое сопротивление **38, 41**  
Ультрафиолетовое излучение **126**
- Фалес* **8**  
Фарад **20**  
*Фарадей* **92**  
Фокусное расстояние **140, 146**  
Фотоаппарат **150**  
Фотон **58**  
Фоторезистор **60**  
*Франклин* **8**
- Электризация **6**  
Электрическая цепь **24**  
Электрический заряд **6**  
Электрический звонок **80**  
Электрический резонанс **123**  
Электрический ток **24**  
Электрический ток в вакууме **57**
- Электрический ток в газах **56**  
Электрический ток в металлах **56**  
Электрический ток в полупроводниках **60**  
Электрический ток в электролитах **56**  
Электрическое напряжение **18**  
Электрическое поле **11**  
Электрическое сопротивление **37**  
Электрогенератор **102**  
Электрогенератор постоянного тока **103**  
Электродвигатель **86**  
Электроёмкость **20**  
Электромагнит **79**  
Электромагнитная индукция **90**  
Электромагнитное поле **72**  
Электромагнитное реле **80**  
Электромагнитные волны **124**  
Электромагнитные колебания **120**  
Электромметр **10**  
Электрон **6**  
Электроскоп **10**  
Электростатическая индукция **16**  
Электрофорная машина **12**  
Энергия магнитного поля **100**  
Энергия электрического поля **18**  
Энергия электрического поля конденсатора **21**



**Электрические и магнитные явления**

Предисловие .....	3
§ 1. Электрический заряд. Взаимодействие зарядов .....	6
§ 2. Закон сохранения электрического заряда .....	10
§ 3. Действие электрического поля на электрические заряды .....	14
§ 4. Энергия электрического поля .....	18
Тест 1 .....	22
§ 5. Постоянный электрический ток .....	24
§ 6. Источники постоянного тока .....	28
§ 7. Сила тока .....	32
§ 8. Закон Ома для участка цепи .....	36
§ 9. Измерение электрических величин .....	40
§ 10. Последовательное соединение проводников .....	44
§ 11. Параллельное соединение проводников .....	48
§ 12. Работа и мощность электрического тока .....	52
§ 13. Природа электрического тока .....	56
§ 14. Полупроводниковые приборы .....	60
§ 15. Правила безопасности при работе с источниками электрического напряжения .....	64
Тест 2 .....	68
§ 16. Взаимодействие постоянных магнитов .....	70
§ 17. Магнитное поле тока .....	74
§ 18. Электромагнит .....	78
§ 19. Действие магнитного поля на проводник с током .....	82
§ 20. Электродвигатель .....	86
§ 21. Электромагнитная индукция .....	90
§ 22. Правило Ленца .....	94
§ 23. Самоиндукция .....	98
§ 24. Электродвигатель .....	102
Тест 3 .....	106
Основные законы и правила .....	110

**Электромагнитные колебания и волны**

§ 25. Переменный ток .....	112
§ 26. Производство и передача электроэнергии .....	116
§ 27. Электромагнитные колебания .....	120
§ 28. Электромагнитные волны и их свойства .....	124
§ 29. Принципы радиосвязи и телевидения .....	128
Основные понятия .....	132

**Оптические явления**

§ 30. Свойства света .....	134
§ 31. Отражение света .....	138
§ 32. Преломление света .....	142
§ 33. Линзы .....	146
§ 34. Оптические приборы .....	150
§ 35. Дисперсия света .....	154
Основные понятия и законы .....	158
Тест 4 .....	160
Итоговый тест .....	162
Вопросы и задачи .....	166
Электрические величины и их единицы в СИ .....	168

<b>Ответы к задачам .....</b>	<b>170</b>
-------------------------------	------------

<b>Коды правильных ответов к тестам .....</b>	<b>171</b>
---	------------

<b>Предметно-именной указатель .....</b>	<b>173</b>
--	------------



# ФИЗИКА



## УМК «Архимед» для 8 класса:

- Рабочие программы. 7—9 классы (авт. О. Ф. Кабардин)
- **Учебник (авт. О. Ф. Кабардин)**
- Электронное приложение (CD)
- Рабочая тетрадь (авт. Г. В. Любимова)
- Книга для учителя (авт. О. Ф. Кабардин, С. И. Кабардина)
- Поурочные разработки (авт. Ю. В. Казакова)

# 8



  
**ПРОСВЕЩЕНИЕ**  
ИЗДАТЕЛЬСТВО

1839205  
  
2 050018 392053  
У-46-4  
1 шт | 588