

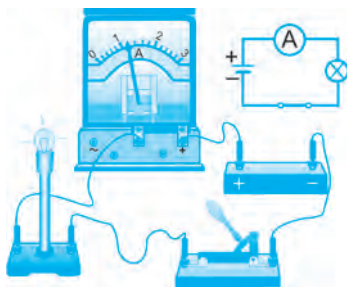
ФИЗИКА

Электричество

**Учебник для 8 класса
школ общего среднего образования**

Издание второе

*Утверждено Министерством народного образования
Республики Узбекистан*



Государственное научное издательство
«O'zbekiston milliy ensiklopediyasi»
Ташкент – 2014

УДК: 53=161.1(075)

КБК: 22.3я72

X-12

А в т о р ы:

**П. ХАБИБУЛЛАЕВ, А. БОЙДЕДАЕВ,
А. БАХРАМОВ, М. ЮЛДАШЕВА**

О т в е т с т в е н н ы е р е д а к т о р ы:

К. ТУРСУНМЕТОВ — доктор физ.-мат. наук, профессор
Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека;
Б. ИБРАГИМОВ — канд. физ.-мат. наук, доцент Ташкентского
государственного педагогического университета имени Низами.

Р е ц е н з е н т ы:

А.Т.МАМАДАЛИМОВ — доктор физ.-мат. наук,
академик АН РУз, зав. кафедрой Национального университета
Узбекистана имени Мирзо Улугбека;
Н.Ш.САИДХАНОВ — доктор физ.-мат. наук, ученый секретарь
Физико-технического института НПО «Физика—Солнце» АН РУз;
Т. СОЛОВЬЕВА — преподаватель физики школы №50 г. Ташкента;
З.Х. ГАБДУЛЛИНА — преподаватель физики школы №285
Сергелийского района г.Ташкента;

Условные обозначения:



— обратите внимание и запомните;



— ответьте на вопросы;



— выполните упражнения;



— выполните практические задания.

**Издано за счет средств Республиканского целевого
книжного фонда для выдачи в аренду.**

ВВЕДЕНИЕ

В повседневной жизни мы постоянно пользуемся электрической энергией. Осветительные лампы, телевизор, радио, холодильник, утюг, компьютер, телефон и прочие предметы в нашем доме, трамваи и троллейбусы на улице, поезда метрополитена, различные предприятия и учреждения – все они работают благодаря электрической энергии (рис. 1). Одним словом, сегодня невозможно представить жизнь и повседневную деятельность людей без электричества. Оно стало неотъемлемой частью нашей жизни.

Открытие электричества и его использование дали мощный толчок развитию цивилизации и подъему ее на более высокий уровень. Возникли и получили большое развитие такие отрасли, как электротехника, радиотехника, электроника, автоматика, информационные технологии. Открытия и изобретения, сделанные учеными и инженерами в этих отраслях, создали возможности для повышения уровня жизни и благосостояния людей. Поэтому обладание знаниями об электричестве очень важно для каждого из нас.

В курсе физики для 8 класса вы познакомитесь с электрическим и магнитным полями, электрическим током, электромагнитными явлениями, производством и передачей электроэнергии, принципом работы простейших электрических приборов и установок.



Рис. 1

ГЛАВА I

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

§ 1. ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ТЕЛ

Первоначальные сведения об электричестве

Потрите пластмассовую расческу или ручку о свои волосы и поднесите к кусочкам измельченной бумаги. Они притягивают к себе кусочки бумаги (рис. 2). Потрите стеклянную палочку о лист бумаги и поднесите ее к руке. Послышится потрескивание, а в темноте будут видны мелкие искры. Подобные явления люди наблюдали еще в глубокой древности. Янтарь — окаменевшую смолу хвойных деревьев, которые росли на Земле много сотен тысяч лет назад, греки называли «электроном».



Рис. 2



Электронная смола (янтарь), потертая о мех (сукно), приобретает способность притягивать к себе различные мелкие тела. Отсюда и произошло слово «электричество».

Способность тел после натирания притягивать к себе другие тела заметил древнегреческий ученый **Фалес Милетский** (625–547 гг. до н. э.). Это свойство изучил также наш великий соотечественник **Абу Райхан Беруни** (973–1048 гг.). Он отмечал, что шерсть на спине кошки после продолжительного поглаживания поднимается дыбом. Беруни называл «электронную» палочку «**кахрабо**» (янтарь). В переводе с персидского это слово означает «*притягивающий соломинку*». И действительно, янтарь, потертый о мех, притягивает соломинки.



Тело, после натирания притягивающее к себе другие тела, называется *наэлектризованным*, или *электростатическим*.

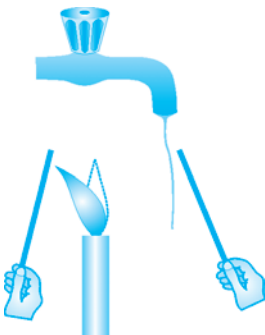


Рис. 3

При натирании стеклянной палочки шелком последний также приобретает способность притягивать легкие предметы (рис. 4, *а*), как и сама палочка (рис. 4, *б*).



При трении электризуются оба потертые друг о друга тела.

Наэлектризованные тела могут притягивать к себе и более тяжелые предметы. Например, если приблизить наэлектризованную палочку к металлической трубке, свободно вращающейся на остrokонечной опоре, то она повернется в сторону палочки (рис. 5).

Два рода электризации

При изучении электризации наряду со стеклянной палочкой можно использовать эбонитовую палочку. *Эбонит* — это материал, изготовленный из каучука с примесью серы.

Наэлектризуем эбонитовую палочку трением о мех и подвесим ее на нить. Поднесем к ней другую наэлектризованную эбонитовую палочку и увидим, что они отталкиваются (рис. 6, *а*).

Теперь поднесем к наэлектризованной эбонитовой палочке стеклянную палочку, наэлектризованную трением о шелк. В этом случае эбонитовая палочка притягивается к стеклянной (рис. 6, *б*).

Вывод 1



Существуют два рода электризации. Стеклянная палочка, потертая о шелк, электризуется (заряжается) положительно (+), а эбонитовая палочка, потертая о мех, — отрицательно (–).

Вывод 2



Тела с одинаковым знаком электризации (заряда) взаимно отталкиваются, а с различными знаками — притягиваются.



1. Как на опыте можно наблюдать электризацию тел?
2. Каково происхождение слова «электричество»?

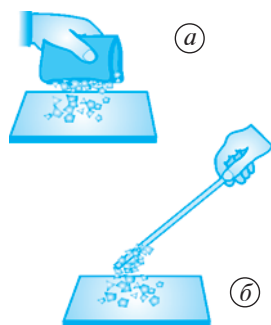


Рис. 4



Рис. 5

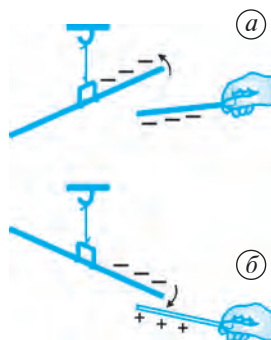


Рис. 6

3. Кто впервые отметил способность натертых тел притягивать к себе другие?
4. Что писал Беруни о притягивании натертых тел?
5. Каким образом можно наэлектризовать тело?
6. Как на опыте можно доказать существование двух родов электризации?
7. При каком условии тела отталкиваются друг от друга? В каком случае они притягиваются?



Потрите пластмассовую расческу или ручку о свои волосы и поднесите их к кусочкам бумаги. Охарактеризуйте наблюдаемое явление.

§ 2. ЭЛЕКТРОСКОП И ЭЛЕКТРОМЕТР. ПРОВОДНИКИ И ИЗОЛЯТОРЫ

Электроскоп

На проволоку, установленную на пластмассовой подставке, повесим сложенную пополам фольгу, как показано на рис. 7. Фольга — тонкая металлическая бумага, которую используют обычно в качестве обертки для чая, шоколадных конфет и др.

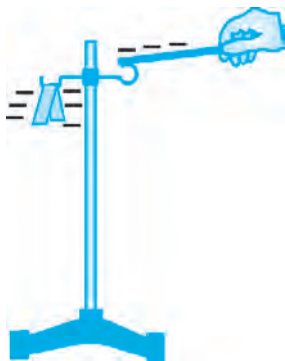


Рис. 7



Электроскоп — прибор для наблюдения и обнаружения электризации тел.

Простейший электроскоп изображен на рис. 8. В нем металлический стержень пропущен через пластмассовую трубку, вставленную в металлическую оправу. На верхнем конце стержня укреплен шарик, а на нижнем — листки фольги. Оправа с обеих сторон закрыта стеклами.

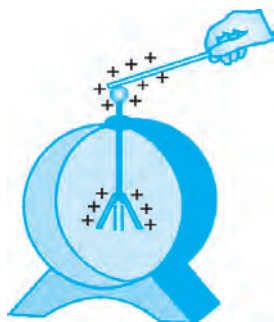


Рис. 8

Электрометр

Электроскоп, снабженный стрелкой и градуировкой для определения степени электризации тел, называется электрометром.



Электрометр — прибор, определяющий степень электризации тел.

На рис. 9 изображен школьный электрометр. В нем на металлическом стержне 1 установлена уравновешенная стрелка 2. Стержень и стрелка защищены от внешних воздействий металлической оправой 3.

На верхнем конце металлического стержня укреплен шарик. При сообщении заряда шарiku стержень и стрелка заряжаются одноименными зарядами, в результате чего стрелка отталкивается от стержня. По положению стрелки можно определить степень электризации шарика.

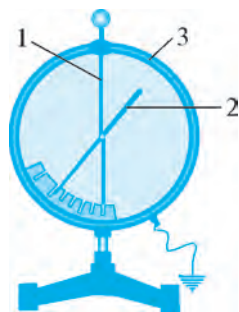


Рис. 9

Электрические проводники и изоляторы

Возьмем два одинаковых электрометра, шарик одного из которых наэлектризован. Поместим их рядом друг с другом и соединим шарики стеклянной палочкой. При этом показания электрометра с наэлектризованным шариком не изменятся, так как электрический заряд с этого электрометра не перейдет через стеклянную палочку на другой (рис. 10, а). Значит, стекло не проводит электричество.

Теперь соединим шарики электрометров металлической палочкой. Часть электрического заряда с первого электрометра по металлической палочке перейдет на второй электрометр (рис. 10, б). Значит, металл проводит электричество.

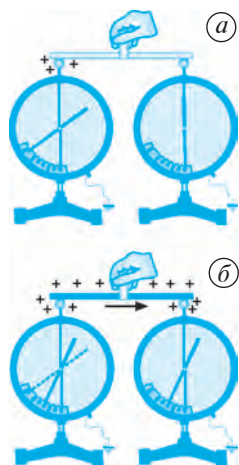


Рис. 10



Вещества, проводящие электричество, называются проводниками электричества.

Все металлы, водные растворы солей и кислот, сырое дерево, почва, бетон, уголь и др. являются проводниками электричества. Тело человека также проводит электричество.



Вещества, не проводящие электричество, называются диэлектриками, а предметы, изготовленные из них, — изоляторами.

Слово «диэлектрик» в переводе с греческого означает «не проводящий», а «изолятор» (от итал. — *isolare*) — «обособить», «отделить». К диэлектрикам относятся все виды стекла и пластмассы, резина, каучук, керамика, воздух.



1. Объясните сущность опыта, представленного на рис. 7.
2. Какой прибор называется электроскопом?
3. Расскажите, как устроен и как работает школьный электромметр.
4. Какие вещества называются проводниками электричества? Приведите примеры.
5. Какие вещества относятся к диэлектрикам? Что такое изолятор? Приведите примеры.

§ 3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД

Строение атома

Древнегреческие ученые считали, что все предметы в природе состоят из атомов. Слово «*атом*» было введено древнегреческим мыслителем Демокритом (460–370 гг. до н.э.). Оно означает «*неделимый*». В XX в. ученые выяснили, что атомы делятся и имеют сложное строение.

В 1911 г. английский физик **Эрнест Резерфорд** (1871–1937) на основе опытных данных создал модель атома. Согласно этой модели:



В центре атома находится ядро, в состав которого входят протоны и нейтроны. Вокруг ядра по замкнутым орбитам вращаются электроны.

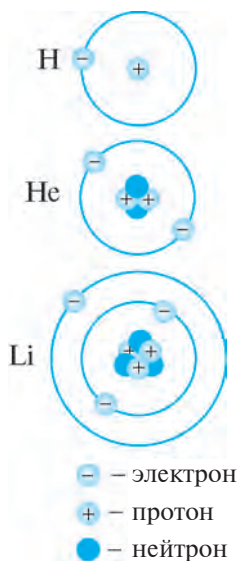


Рис. 11

Протоны – это частицы с положительным знаком электризации, а электроны – с отрицательным. Нейтроны – незлектризованные (нейтральные) частицы. Число электронов в атоме равно числу протонов в ядре. Например, ядро атома водорода (H) состоит только из одного протона. Вокруг ядра вращается только один электрон. Атом гелия (He) содержит два протона и два электрона, а атом лития (Li) – три протона и три электрона (рис. 11).

Сам атом электрически нейтрален.

Понятие об электрическом заряде

Прикоснемся к шарик электромметра наэлектризованной трением о мех эбонитовой палочкой (рис. 12). При этом стрелка прибора отклонится на определенный угол. Еще раз потрем палочку о мех и вновь наэлектризуем шарик электромметра. Стрелка



Рис. 12

прибора отклонится на больший угол. Продолжив опыт, можно добиться отклонения стрелки электромметра на еще больший угол. Следовательно, степень электризации тела может изменяться.



Физическая величина, характеризующая степень электризации, называется *электрическим зарядом* и обозначается буквой q (кю). В Международной системе единиц (СИ) в качестве единицы измерения электрического заряда принят *кулон (Кл)*.

Электрический заряд бывает положительным или отрицательным. Стеклопалочка, натертая шелком, заряжается положительно, а сам шелк – отрицательно. Это объясняется тем, что при натирании часть электронов атомов стеклянной палочки переходит к шелку, и количество отрицательных зарядов – электронов – в нем увеличивается. В результате шелк заряжается отрицательно. В стеклянной палочке вследствие относительного уменьшения электронов увеличивается количество положительных зарядов. В результате палочка заряжается положительно.

При натирании эбонитовой палочки мехом она заряжается отрицательно, так как часть электронов атомов меха переходит к палочке, а мех заряжается положительно.

Заряд одного электрона $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, а заряд одного протона $q_p = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Это значит, что заряды протона и электрона количественно равны и отличаются друг от друга лишь по знаку. Если от одного тела к другому перешло N электронов, то первое тело будет иметь $+N \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл зарядов, а второе $-N \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Масса электрона равна $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

Электрофорная машина

При передаче заряженных частиц, образованных в палочке, наэлектризованной трением, другому телу палочка теряет заряд. Для пополнения заряда палочку нужно снова натереть тканью. Однако ученые изготовили прибор, который позволяет получать заряды непрерывно. Это – электрофорная машина (рис. 13).

При вращении рукоятки электрофорной машины ее два диска (1) вращаются в противоположные относительно друг друга стороны. В результате трения вращающихся дисков о щетки образуются заряды противоположного знака, которые накапливаются в двух цилиндрах, называемых «банкой Лейдена» (2). Тело заряжается при соприкосновении его проволочных проводников с металлическими шариками (3) электрофорной машины.

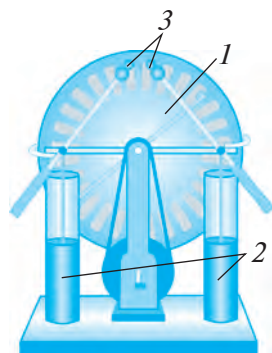


Рис. 13



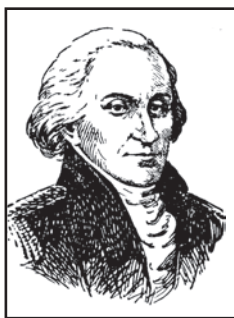
1. Объясните модель строения атома Резерфорда.
2. Какое строение имеют атомы водорода, гелия и лития?
3. Что называется электрическим зарядом? Как он обозначается и в каких единицах измеряется?
4. Почему тела заряжаются при трении друг о друга?
5. Как образуются заряды в электрофорной машине?



1. Определите количество зарядов всех электронов и протонов в атоме лития.
2. Какова масса всех электронов в атоме углерода?
3. Вычислите заряд и массу всех электронов в атоме кислорода.

§ 4. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ТЕЛ. ЗАКОН КУЛОНА

Опыты Кулона



Шарль Кулон
(1736–1806)

Наэлектризованные тела могут взаимодействовать не соприкасаясь, т.е. находясь на определенном расстоянии друг от друга. В 1785 г. французский ученый **Шарль Кулон** экспериментальным путем открыл закон взаимодействия электрических зарядов.

Взаимодействие заряженных тел изучено с помощью крутильных весов (рис. 14), в которых на тонкой эластичной проволоке подвешен стеклянный стержень. На одном конце стержня укреплен металлический шарик *A*, на другом — противовес *B*. Другой металлический шарик *B* неподвижно закреплен на крышке весов. При зарядении шариков одноименными зарядами шарик *A* отталкивается от шарика *B*, при зарядении же разноименными зарядами — притягивается к нему. Когда шарик *A* приходит в движение, проволока поворачивается. Сила взаимодействия заряженных шариков определяется по углу поворота проволоки.

Принимая расстояния между шариками различными, Кулон установил, что сила притяжения *F* заряженных шариков обратно пропорциональна квадрату расстояния *r* между ними, т.е.

$$F \sim \frac{1}{r^2}. \quad (1)$$

В ходе опытов Кулон уменьшал заряды шариков в 2, 4, 8 и т. д. раз. Результаты опытов показали, что сила

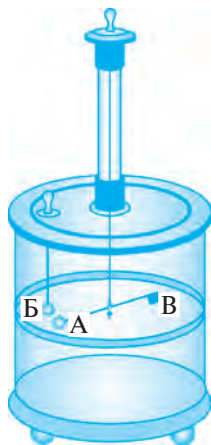


Рис. 14

взаимодействия F между шариками прямо пропорциональна произведению количества зарядов q_1 и q_2 шариков A и B :

$$F \sim q_1 q_2. \quad (2)$$

Закон Кулона

Будем считать взаимодействующие тела точечным зарядом. Под **точечным зарядом** понимают заряд, размеры и форма которого не учитываются. Обобщив формулы (1) и (2), Кулон получил следующую формулу сил взаимодействия точечных зарядов:

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}; \quad (3)$$

здесь k — коэффициент пропорциональности; $|q_1|$ и $|q_2|$ — модули зарядов q_1 и q_2 , то есть количество зарядов без учета их знака.



Сила взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов прямо пропорциональна количеству зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Этот закон взаимодействия электрически заряженных тел принято называть **законом Кулона**, а силу взаимодействия — **силой Кулона**.

Если при взаимодействии двух зарядов второй заряд действует на первый с силой $F_{1,2}$, то первый заряд действует на второй с точно такой же силой $F_{2,1}$. Как и в третьем законе Ньютона, эти силы по количеству равны между собой и противоположно направлены, т. е.

$$\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}. \quad (4)$$

Направление силы Кулона F зависит от знака зарядов.

Одноименные заряды отталкиваются, и сила F имеет положительный знак (рис. 15, а, б), а разноименные — притягиваются друг к другу, и сила F имеет отрицательный знак (рис. 15, в).

Согласно формуле силы Кулона, коэффициент пропорциональности k выражается в виде

$$k = F \frac{r^2}{q_1 q_2}. \quad (5)$$

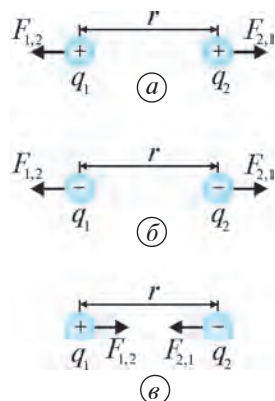


Рис. 15

Обозначив силу в ньютонах (Н), расстояние между заряженными телами в метрах (м), количество заряда в кулонах (Кл), единицу коэффициента пропорциональности k запишем в виде $1 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$. Значение k исходя из опыта равно

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2.$$

В природе самый маленький заряд — это заряд электрона.



Заряд, численно равный заряду электрона, называется элементарным зарядом. В природе все заряды кратны элементарному заряду.

То есть элементарный заряд равен значению заряда электрона:

$$e = |q_e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}.$$

Пример решения задачи

Заряд одного из шариков, находящихся на расстоянии 10 см друг от друга, равен $-2 \cdot 10^{-8}$ Кл, а второго $3 \cdot 10^{-8}$ Кл. С какой силой они притягиваются друг к другу?

Дано:

$$\begin{aligned} r &= 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}; \\ q_1 &= -2 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}; \\ q_2 &= 3 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}; \\ k &= 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2. \end{aligned}$$

Найти: F — ?

Формула:

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

Решение:

$$\begin{aligned} F &= 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{|-2 \cdot 10^{-8}| \cdot |3 \cdot 10^{-8}|}{(0,1)^2} \text{ Н} = \\ &= 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ Н}. \end{aligned}$$

Ответ: $F = 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ Н}$.



1. Кто и когда открыл закон взаимодействия электрических зарядов?
2. Как с помощью крутильных весов определяется сила взаимодействия электрических зарядов?
3. Какой вид имеет формула силы взаимодействия электрических зарядов?
4. Объясните закон Кулона.
5. Проанализируйте взаимодействие электрических зарядов, изображенных на рис. 15.
6. Назовите единицу электрического заряда. Чему равна единица элементарного заряда?



1. Одному из двух шариков, расположенных на расстоянии 5 см друг от друга, сообщен отрицательный заряд, равный $4 \cdot 10^{-8}$ Кл, а второму — положительный заряд, равный $2 \cdot 10^{-8}$ Кл. С какой силой заряды будут притягиваться?
2. Двум шарикам, расположенным на расстоянии 20 см друг от друга, сообщен одинаковый заряд, равный 10^{-8} Кл. С какой силой заряды будут отталкиваться?
3. Два одинаково заряженных шарика, расположенных на расстоянии 10 см друг от друга, отталкиваются с силой $9 \cdot 10^{-5}$ Н. Определите количество заряда каждого шарика.
4. Двум шарикам, расположенным на определенном расстоянии друг от друга, сообщен одинаковый заряд, равный $2 \cdot 10^{-8}$ Кл. Заряды оттолкнулись с силой $5 \cdot 10^{-4}$ Н. Определите расстояние между шариками.

§ 5. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Понятие об электрическом поле

Из закона Кулона известно, что заряженное тело действует на другие тела вокруг него. Это действие английский физик **Майкл Фарадей** назвал *электрическим полем*. Согласно теории Фарадея:



Электрические заряды взаимодействуют на расстоянии. Каждый из них образует вокруг себя электрическое поле. Электрическое поле, окружающее один из зарядов, действует на другой заряд, и, наоборот, поле другого заряда действует на первый. С удалением от заряда электрическое поле ослабевает.

Наши органы чувств не воспринимают электрическое поле. Судить о наличии поля мы можем по взаимодействию заряженных тел.



Поле неподвижного заряда или совокупности зарядов называется электростатическим полем.

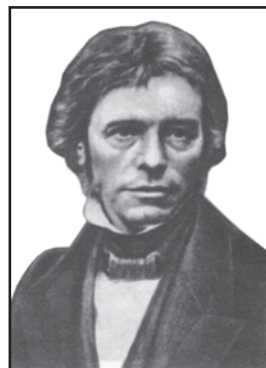
Силовые линии электрического поля

На стеклянную пластину, лежащую на столе, поместим положительно заряженную металлическую пластину в форме круга. Вокруг нее рассыпем измельченные волосы и несколько раз постучим пальцем по стеклу. При этом волосы расположатся в определенном порядке (рис. 16, а). Положим на стекло две положительно заряженные металлические пластины. Рассыпем вокруг них измельченные волосы и постучим пальцем по стеклу. При этом волосы расположатся так, как показано на рис. 16, б. Теперь положим на стекло две металлические пластины, одна из которых заряжена положительно, а другая отрицательно. В этом случае измельченные волосы расположатся на стекле так, как показано на рис. 16, в.

Проведенные опыты подтверждают, что: 1) *электрическое поле* действительно существует и 2) электрическое поле имеет *силовые линии*.



Силовые линии электрического поля начинаются на положительном заряде и заканчиваются на отрицательном заряде или уходят в бесконечность.



Майкл Фарадей
(1791–1867)

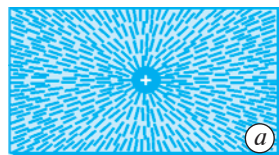


Рис. 16

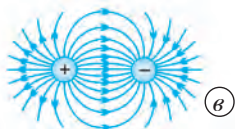
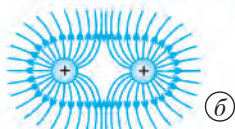
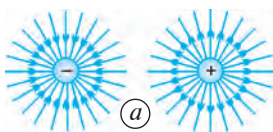


Рис. 17

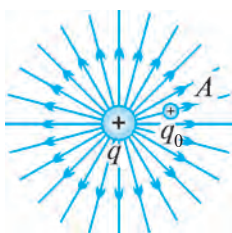


Рис. 18

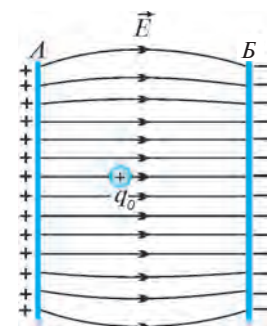


Рис. 19

Силловые линии положительно и отрицательно заряженных отдельных шариков, а также взаимодействующих одноименно и разноименно заряженных шариков показаны на рис. 17.

Напряженность электрического поля

Для количественной оценки электрического поля введена величина, называемая *напряженностью электрического поля* и обозначаемая буквой E .

Сообщим точке A электрического поля, образованного положительно заряженным q шариком, положительный точечный заряд q_0 (рис. 18). В этом случае напряженность электрического поля, созданного зарядом q в точке A , выразится формулой

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}.$$



Напряженность электрического поля равна отношению силы, с которой поле действует на точечный заряд, к этому заряду.

Направление напряженности электрического поля E совпадает с направлением силы F , действующей на положительный заряд.

В качестве основной единицы напряженности поля принят 1 Н/Кл.

Пусть две параллельные металлические пластины A и B заряжены разноименными зарядами (рис. 19). При этом напряженность E электрического поля между пластинами будет направлена от положительно заряженной пластины к отрицательно заряженной.

Пример решения задачи

Найдите напряженность электрического поля, созданного точечным зарядом q на расстоянии r .

Дано:

$q; r.$

Найти:

$E - ?$

Формула:

Из $F = k \frac{|q_0||q|}{r^2}$ и $E = \frac{F}{q_0}$ следует $E = k \frac{|q_0||q|}{r^2} = k \frac{|q|}{r^2}.$

Ответ: $E = k \frac{|q|}{r^2}.$



1. В чем заключается теория Фарадея об электрическом поле?
2. Какое поле называется электростатическим?
3. Объясните процесс и результаты опыта, изображенного на рис. 16.
4. Каковы направления силовых линий электрического поля положительно и отрицательно заряженных тел?
5. Сравните рис. 16, *a* и 17, *a*, 16, *б* и 17, *б*, а также 16, *в* и 17, *в* и выскажите свое мнение.
6. Как выражается и описывается напряженность электрического поля?
7. Назовите основную единицу измерения напряженности электрического поля.
8. Каким будет направление напряженности электрического поля между двумя параллельными разноименно заряженными пластинами?



1. Найдите напряженность электрического поля, созданного точечным зарядом $-5 \cdot 10^{-8}$ Кл на расстоянии 3 см.
2. Точечный заряд $2 \cdot 10^{-8}$ Кл в точке *A* и точечный заряд в точке *B* отталкиваются друг от друга с силой $8 \cdot 10^{-4}$ Н. Определите напряженность электрического поля, созданного в точке *B* зарядом точки *A*.
3. Два одноименно заряженных точечных заряда отталкиваются друг от друга с силой $2 \cdot 10^{-4}$ Н. Напряженность электрического поля, созданного первым зарядом в точке нахождения второго заряда, равна $3 \cdot 10^4$ Н/Кл. Найдите значения обоих зарядов.



Выполните опыт, изображенный на рис. 16. Запишите в тетрадь процесс опыта и сделайте выводы.

§ 6. КОНДЕНСАТОРЫ

Конденсатор и его емкость

В электротехнике имеет важное значение накопление большого количества электрических зарядов в одном месте.



Прибор, предназначенный для накопления электрических зарядов, называется конденсатором.

Конденсатор является важным элементом в таких электротехнических приборах, как радиоприемник, телевизор, магнитофон, компьютер и т.д.

На практике часто используются конденсаторы с **плоскими проводниками**. Их называют плоскими конденсаторами. Плоский конденсатор состоит из двух параллельных друг другу плоских проводников, называемых **обкладками**. Прокладки заряжаются зарядами противоположного знака (рис. 20).

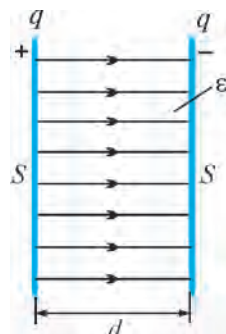


Рис. 20

Основная физическая величина, характеризующая конденсатор — это его *емкость*. В Международной системе единиц за единицу емкости принята 1 *фарада* (Ф) в честь английского физика Майкла Фарадея. Поскольку 1 Ф — очень большая единица, на практике чаще используются доли фарады — *микрофарада* (мкФ) и *пикофарада* (пФ): $1 \text{ Ф} = 10^6 \text{ мкФ}$; $1 \text{ мкФ} = 10^6 \text{ пФ}$; $1 \text{ Ф} = 10^{12} \text{ пФ}$.

Емкость конденсатора равна отношению количества зарядов к напряжению между его обкладками:

$$C = \frac{q}{U}, \quad (1)$$

где U — напряжение между обкладками, измеряемое в вольтах (В).

На рис. 21 изображен простейший плоский конденсатор. Чем больше площадь S обкладок у плоского конденсатора и чем меньше расстояние d между обкладками, тем большее количество зарядов можно в нем концентрировать. Это значит, что емкость плоского конденсатора прямо пропорциональна площади обкладок и обратно пропорциональна расстоянию между ними, т.е.

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}, \quad (2)$$

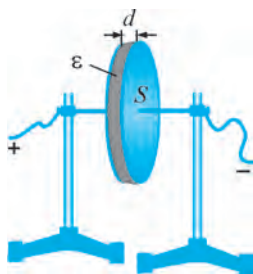


Рис. 21

здесь $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2/\text{Н} \cdot \text{м}^2$ — электрическая постоянная; ϵ — диэлектрическая проницаемость вещества между обкладками. Например, для воздуха $\epsilon = 1$, для слюды $\epsilon = 6$, для стекла $\epsilon = 7$.

Конденсаторы, применяемые в электротехнике, рассчитаны на концентрацию большого количества зарядов. Один из таких конденсаторов показан на рис. 22. В нем на каждый из двух проводящих стержней наматывается одним концом тонкий электропроводящий алюминиевый материал (станиоль). Между слоями станиоля прокладывается пропарафиненная бумага, которая выполняет функцию диэлектрика.



Рис. 22

В слой станиоля от соединенных стержней попеременно подаются положительные и отрицательные заряды. В результате в первом, третьем, пятом и последующих нечетных слоях накапливаются положительно заряженные, а во втором, четвертом, шестом и последующих четных слоях — отрицательно заряженные частицы.

В электротехнике применяются самые различные конденсаторы. Отдельные из них изображены на рис.

23, а. Соединение конденсатора к электрической цепи на схеме обозначается так, как показано на рис. 23, б.

В электротехнических приборах используются также конденсаторы с переменной емкостью. Принцип действия таких конденсаторов основан на подвижности пластин относительно друг друга. Подвижные и неподвижные пластины располагаются попеременно, причем подвижные пластины подсоединены к рукоятке. При поворачивании рукоятки они сдвигаются относительно неподвижных, и поверхности наложенных друг на друга пластин изменяются. В результате изменяется и емкость конденсатора.

При настройке радиоприемника на требуемую волну с помощью ручки переключателя изменяется и емкость переменного конденсатора.

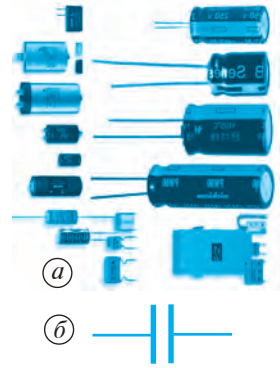


Рис. 23

Параллельное и последовательное соединение конденсаторов

Для увеличения или уменьшения емкости конденсаторов в электрических цепях можно использовать параллельное или последовательное их соединение.



При параллельном соединении конденсаторов их общая емкость равна сумме емкостей отдельных конденсаторов.

То есть:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots \quad (3)$$

При параллельном соединении конденсаторов в электрической цепи положительно заряженные обкладки соединяют с положительно заряженными, а отрицательно заряженные обкладки — с отрицательно заряженными (рис. 24).



При последовательном соединении конденсаторов в электрической цепи величина, обратная общей емкости конденсаторов, равна сумме величин, обратных емкостям каждого конденсатора.

То есть:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots \quad (4)$$

При последовательном соединении конденсаторов в электрической цепи соединенные друг с другом обкладки должны иметь противоположный знак (рис. 25).

Если последовательно соединены два конденсатора, то их общая емкость находится исходя из формулы (4):

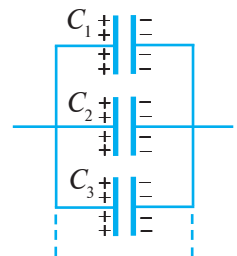


Рис. 24

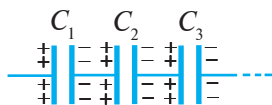


Рис. 25

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad (5)$$

Пример решения задачи

Три конденсатора со слюдяными диэлектриками соединены в электрической цепи так, как показано на рис. 26. Площадь обкладок равна 100, 150 и 75 см² соответственно, а расстояние между ними – 0,5; 1,0 и 25 мм. Найдите общую емкость конденсаторов. Диэлектрическая проницаемость слюды равна 6.

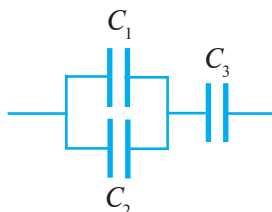


Рис. 26

Дано:

$$\begin{aligned} S_1 &= 100 \text{ см}^2 = 10^{-2} \text{ м}^2; \\ d_1 &= 0,5 \text{ мм} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}; \\ S_2 &= 150 \text{ см}^2 = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2; \\ d_2 &= 1,0 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м}; \\ S_3 &= 75 \text{ см}^2 = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2; \\ d_3 &= 0,25 \text{ мм} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}; \\ \epsilon_0 &= 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2/\text{Н} \cdot \text{м}^2; \\ \epsilon &= 6. \end{aligned}$$

Найти:

$C - ?$

Формула:

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 \epsilon S_1}{d_1};$$

$$C_2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon S_2}{d_2};$$

$$C_3 = \frac{\epsilon_0 \epsilon S_3}{d_3};$$

$$C_{1,2} = C_1 + C_2;$$

$$C = \frac{C_{1,2} \cdot C_3}{C_{1,2} + C_3}.$$

Решение:

$$C_1 = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 6 \cdot 10^{-2}}{5 \cdot 10^{-4}} \text{ Ф} = 1062 \text{ пФ};$$

$$C_2 = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 10^{-2}}{10^{-3}} \text{ Ф} = 796,5 \text{ пФ};$$

$$C_3 = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 6 \cdot 7,5 \cdot 10^{-3}}{2,5 \cdot 10^{-4}} \text{ Ф} = 1593 \text{ пФ};$$

$$C_{1,2} = 1062 \text{ пФ} + 796,5 \text{ пФ} = 1859,5 \text{ пФ};$$

$$C = \frac{1859,5 \cdot 1593}{1859,5 + 1593} \text{ пФ} \approx 858 \text{ пФ}.$$

Ответ: $C \approx 858 \text{ пФ}$.



1. В каких целях используются конденсаторы?
2. Как выражается электроемкость конденсатора?
3. Как выражается емкость плоского конденсатора?
4. Объясните строение конденсаторов, изображенных на рис. 21 и 22.
5. Объясните принцип действия конденсатора с переменной емкостью.
6. Как определяется общая емкость конденсаторов при параллельном соединении? Как осуществляется параллельное соединение?
7. Как осуществляется последовательное соединение конденсаторов? Как при этом находится их общая емкость?



1. Расстояние между пластинами плоского конденсатора, имеющими площадь 1 дм², равно 1 см. Найдите емкость конденсатора. Для воздуха $\epsilon = 1$.
2. Во сколько раз возрастет емкость конденсатора из упражнения 1, если довести площадь пластин до 1 м², а расстояние между пластинами – до 1 мм?
3. Площадь пластин плоского конденсатора емкостью 370 пФ равна 300 см². Каким должно быть расстояние между пластинами конденсатора с такой емкостью, если в качестве диэлектрика использованы стеклянные пластины? Для стекла $\epsilon = 7$.

4. В ящике имеется большое количество конденсаторов емкостью 30 и 70 пФ. По сколько конденсаторов с указанными емкостями надо взять, чтобы путем их параллельного соединения получить систему конденсаторов емкостью 330 пФ?
5. Пять конденсаторов емкостью 50 пФ каждый соединены последовательно. Найдите общую емкость конденсаторов. Какой будет общая емкость этих конденсаторов при параллельном соединении?
6. Конденсаторы емкостью 60; 100 и 150 пФ соответственно соединены последовательно. Найдите общую емкость системы конденсаторов.
7. Найдите общую емкость системы конденсаторов с емкостями $C_1 = 150$ пФ; $C_2 = 250$ пФ и $C_3 = 500$ пФ, соединенных так, как показано на рис. 26.

§ 7. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ В ПРОВОДНИКАХ

Расположение зарядов в проводнике

Как располагаются электрические заряды в изолированном проводнике? Имеется ли заряд в самом проводнике?

Допустим, металлическому шару сообщен положительный заряд. Известно, что одноименные заряды отталкиваются. Поэтому и в случае, если в самом шаре имеется заряд, они оттолкнутся и будут стремиться расположиться друг от друга как можно дальше. В результате заряды со всего объема шара перейдут на его поверхность. По этой причине положительные заряды, сообщенные металлическому шару, распределятся по поверхности шара, как показано на рис. 27.

Возьмем два электрметра и на одном из них поместим полый металлический шар с отверстием наверху. При сообщении шару электрического заряда стрелка электрметра повернется на определенный угол. Конец палочки с изолятором введем внутрь полого шара и коснемся его внутренней поверхности шариком, закрепленным на конце палочки. Затем прикоснемся шариком палочки к шарiku незаряженного электрметра. При этом стрелка второго электрметра останется неподвижной (рис. 28, а).

Следовательно, внутри шара заряда нет.

Теперь прикоснемся шариком палочки к поверхности шара, установленного на первом электрметре. При этом стрелка электрметра покажет некоторое уменьшение заряда. Прикоснемся шариком палочки к шарiku второго электрметра. Стрелка данного элект-



Рис. 27

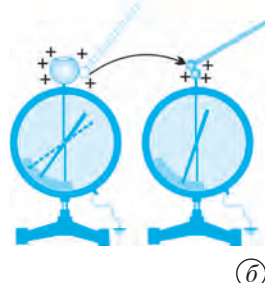
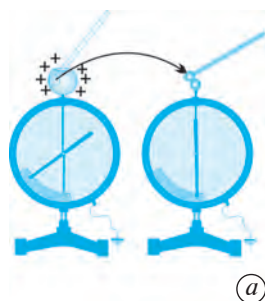


Рис. 28

рометра немного сдвинется. Это указывает на то, что ему сообщен заряд (рис. 28, б).

Следовательно, электрический заряд распределился по поверхности шара.



В изолированном проводнике электрические заряды распределяются по его поверхности. Внутри проводника заряды отсутствуют.

Клетка Фарадея

Для того, чтобы доказать отсутствие электрических зарядов внутри проводника, М. Фарадей соорудил деревянную клетку. Внешняя поверхность клетки была покрыта тонкой фольгой. Взяв в руки электроскоп, Фарадей вошел в клетку. Его помощники подвесили клетку на шелковых веревках, затем сообщили клетке электрические заряды. Ни электроскоп, ни Фарадей не почувствовали, что клетка зарядилась.

Проведенный Фарадеем опыт также доказал, что внутри проводника заряд отсутствует и электрические заряды распределяются только на его поверхности.

Распределение зарядов на поверхности проводника

Мы убедились в том, что электрические заряды равномерно распределяются на поверхности проводника. А как распределяются заряды на поверхности проводника произвольной формы?

Рассмотрим, как располагаются электрические заряды на поверхности проводника, изображенного на рис. 29. Зарядим его и подвесим в нескольких местах листочки фольги, как показано на рисунке. Под влиянием зарядов на поверхности проводника листочки фольги разойдутся по-разному.

В изолированном проводнике сложной формы электрические заряды распределяются неравномерно. На заостренных участках проводника заряды располагаются плотно, на ровных участках — редко, а на вогнутых — еще реже.



Рис. 29

Электрический «ветер»

Подсоединим изолированный шар с заостренным концом с помощью проводящей проволоки к источнику электрических зарядов и будем непрерывно заряжать его. Мы знаем, что на заостренном конце шара заряды распределяются плотно. Приблизим к кончику шара горящую свечу. При

этом пламя свечи будет прогибаться, как под порывом ветра (рис. 30). Поэтому данное явление носит название электрического «ветра».

Проведенный опыт подтверждает, что на поверхности изолированного проводника сложной формы электрические заряды распределяются неравномерно, образуя электрический «ветер» на заостренных участках.

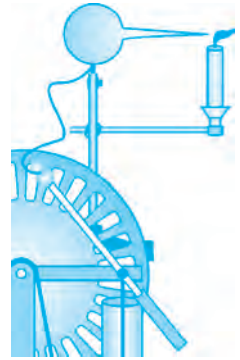


Рис. 30



1. Как располагаются электрические заряды в металлическом шаре?
2. Объясните опыт, изображенный на рис. 28, и сделайте выводы.
3. Расскажите о клетке Фарадея.
4. Проанализируйте опыт, изображенный на рис. 29.
5. Как распределяются электрические заряды на поверхности изолированных проводников сложной формы?
6. Почему на заостренном конце проводника образуется электрический «ветер»?

§ 8. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ПРИРОДЕ

Молния и гром

В течение тысячелетий люди не могли познать причину молнии и грома.

Образование молнии можно объяснить на основе взаимодействия разноименных электрических зарядов. Известно, что при трении одного тела о другое образуется электрический заряд. Когда тела, имеющие сильные разноименные заряды, приближаются друг к другу, возникает искра и слышится потрескивание.

Известно, что в воздухе содержатся водяные пары, которые с понижением температуры соединяются, образуя мелкие водяные частицы. В местах скопления таких частиц на небе мы видим белые облака. При дальнейшем понижении температуры воздуха мелкие водяные частицы укрупняются, образуя темные облака — тучи. При резком понижении температуры воздуха водяные частицы постепенно превращаются в частицы льда.

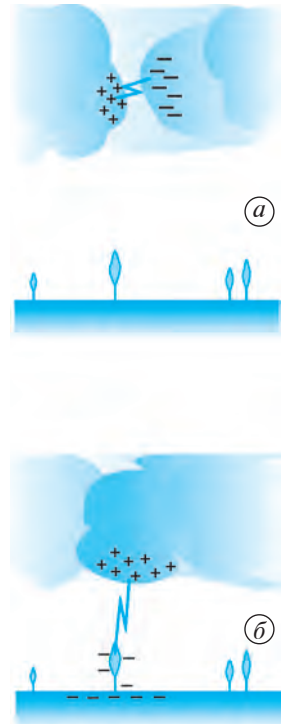


Рис. 31

Между слоями облаков, а также между облаками и различными слоями воздуха постоянно происходит трение. В результате одни слои облаков заряжаются положительно, другие слои — отрицательно. Когда два облака, имеющие заряды противоположного знака, приближаются друг к другу, отрицательные заряды одного облака начинают двигаться в сторону положительных зарядов другого. В результате внезапного столкновения зарядов противоположного знака возникает сильный электрический разряд — *молния* (рис. 31, а).



Молния — сильный электрический разряд, возникающий между облаками, содержащими заряды противоположного знака, или между облаками и землей.

Протяженность молнии составляет несколько километров, диаметр — несколько сантиметров, а продолжительность — доли секунды.

Молния сопровождается возникновением сильного грохота — *грома*.



Гром — звуковое явление, возникающее в воздухе (атмосфере) вследствие быстрого и сильного расширения нагретых в момент удара молнии слоев воздуха.

Молния и гром возникают одновременно. Однако мы слышим гром спустя некоторое время после того, как увидим молнию. Это объясняется тем, что свет распространяется со скоростью 300 000 км/с, а звук — лишь 340 м/с. Например, разряд молнии, произошедший на расстоянии 1 км от нас, мы видим сразу, а гром слышим лишь через 3 с.

Почему гром зачастую гремит в течение нескольких секунд? Это связано с тем, что протяженность разряда молнии является значительной, иногда составляет больше 1 км. Поэтому мы слышим гром в течение нескольких секунд. Иногда гром гремит более продолжительное время из-за эха, идущего от земли, зданий и других объектов.

Молния может возникнуть не только между облаками, но и между облаками и землей (рис. 31, б). Заряды, образующиеся вследствие трения друг о друга слоев облаков, могут перейти в землю.

Если содержащие отрицательный электрический заряд слои облаков окажутся достаточно близко к земле, в этом месте ее поверхности может накопиться большой положительный заряд. В результате заряженное облако под влиянием образовавшегося электрического поля будет взаимодействовать с поверхностью земли. Между сильно заряженным и опустившимся близко к земле облаком и землей может вспыхнуть сильный электрический разряд, и ударит молния. В момент удара молнии заряды с облаков переходят в землю.

Защита от молнии

Мы часто слышим выражение «ударила молния». Что представляет собой удар молнии? Как от него защититься?



Удар молнии — сильный электрический разряд, возникающий между заряженным облаком и землей, процесс мгновенного перехода зарядов с облаков в землю.

Удар молнии очень опасен. Заряженное облако отдает сильный электрический заряд тем электропроводящим предметам, которые находятся к нему ближе всего. Поэтому в первую очередь молния ударяет в объекты, расположенные высоко над земной поверхностью, — вершины гор, башни, высотные здания, одинокие деревья, электрические столбы. Молния может ударить также в машину, едущую по ровному месту, или в человека. Во время грозы опасно находиться на высоком месте, под одиноко стоящим деревом, укрываться в стоге сена.

Обычно при строительстве высотных зданий и башен на них устанавливают громоотводы (рис. 32).



Громоотвод отводит в землю сильный электрический разряд, идущий от заряженного облака.

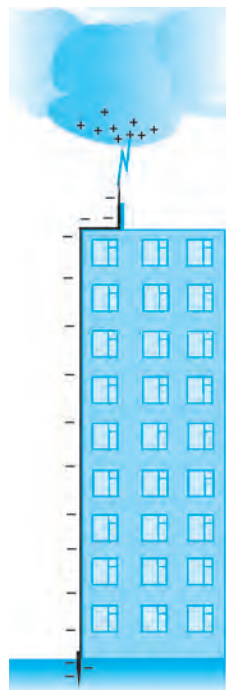


Рис. 32

Громоотвод представляет собой металлический шест с заостренным концом, который устанавливают на верху здания. Толстым металлическим проводником шест соединяется с листом металла, глубоко зарытым в землю. Приблизившееся к земле заряженное облако отдает свой заряд громоотводу, и заряды по проводнику переходят в землю, не нанося вреда зданию или башне.



1. Каким образом заряжаются облака?
2. Как образуется молния?
3. Что такое гром?
4. Почему мы слышим гром через несколько секунд после удара молнии? Чем объясняются раскаты грома, продолжающиеся в течение нескольких секунд?
5. Что такое удар молнии? Как он происходит?
6. Как можно защититься от удара молнии?
7. Каким образом громоотвод предохраняет башни и здания от удара молнии?



Опишите в тетради свои впечатления от молнии и грома, которые вы наблюдали.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ I

- Окаменевшую смолу хвойных деревьев, которые росли много сотен тысяч лет назад, греки называли «электроном». Отсюда и произошло слово «электричество».
- Существуют два рода электризации. Тела, наэлектризованные одноименными зарядами, взаимно отталкиваются, а наэлектризованные разноименными зарядами — притягиваются.
- Вещества, проводящие электрические заряды, называются проводниками электричества, вещества, не проводящие электричество, называются диэлектриками, а предметы, изготовленные из них, — изоляторами.
- Атом состоит из ядра и электронов. Ядро расположено в центре атома, а электроны вращаются вокруг него по замкнутым орбитам.
- Электрический заряд обозначается буквой q . В качестве единицы заряда принят кулон (Кл).
- Формула закона Кулона: $F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$. Сила Кулона F выражает силу взаимодействия точечных зарядов q_1 и q_2 , расположенных на расстоянии r друг от друга.
- Электрический заряд обладает электрическим полем. Взаимодействие заряженных тел осуществляется посредством электрического поля.
- Отношение силы \vec{F} , с которой электрическое поле действует на точечный заряд q_0 , к этому заряду называется электрической напряженностью и обозначается буквой \vec{E} : $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$.
- Емкость плоского конденсатора с площадью слоев S и расстоянием между слоями d равна: $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$.
- Общая емкость конденсаторов, соединенных параллельно, равна: $C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$
- Величина, обратная общей емкости конденсаторов, соединенных последовательно, равна: $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$
- В изолированном проводнике электрические заряды распределяются по его поверхности. Внутри проводника заряды отсутствуют.
- Молния — сильный электрический разряд, возникающий между облаками, заряженными противоположными зарядами.

- Гром — звуковое явление, возникающее в воздухе (атмосфере) вследствие быстрого и сильного расширения нагретых в момент удара молнии слоев воздуха.
- Удар молнии — сильный электрический разряд, возникающий между заряженным облаком и землей, процесс мгновенного перехода зарядов с облаков в землю.

ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ ГЛАВЫ I

1. Почему пластмассовая расческа после расчесывания волос притягивает кусочки бумаги?
2. Рассмотрите рис. 4 и объясните изображенное на нем явление.
3. Как можно определить знак наэлектризованной гильзы, подвешенной на штатив?
4. Чтобы передать часть заряда наэлектризованной стеклянной палочки электроскопу, ученик прикоснулся этой палочкой к шартику электроскопа и сразу отдернул ее. Другой ученик провел палочкой по шартику. В каком случае электроскоп получит больший заряд?
5. Чем электрометр отличается от электроскопа?
6. Рассмотрите и проанализируйте рис. 10.
7. Почему можно наэлектризовать стеклянную палочку, держа ее в руке и потерев о что-нибудь, а металлическую палочку — нельзя?
8. Почему при заправке бензовоза бензином его корпус заземляется с помощью металлического проводника?
9. Почему при соединении неисправных проводников монтер надевает резиновые перчатки?
10. Рассмотрите схему строения атома лития (рис. 11). Почему, несмотря на то, что его ядро имеет электрический заряд, атом в целом нейтрален?
11. Ядро атома углерода содержит 6 протонов и 6 нейтронов. Сколько электронов содержится в атоме кислорода?
12. Есть ли в незаряженном теле электрические заряды? Чем отличается заряженное тело от незаряженного?
13. С какой силой взаимодействуют два заряда по 10 нКл, находящиеся на расстоянии 3 см друг от друга?
14. На каком расстоянии друг от друга заряды 1 мкКл и 10 нКл взаимодействуют с силой 9 мН?
15. Одному из двух шариков, расположенных на расстоянии 5 см друг от друга, сообщен отрицательный заряд, равный $-8 \cdot 10^{-8}$ Кл, а второму — положительный заряд, равный $4 \cdot 10^{-8}$ Кл. С какой силой заряды будут притягиваться?
16. Двум шарикам, расположенным на расстоянии 10 см друг от друга, сообщен одинаковый заряд, равный 10^{-8} Кл. С какой силой заряды будут отталкиваться?

17. Два одинаково заряженных шарика, расположенных на расстоянии 5 см друг от друга, отталкиваются с силой $2 \cdot 10^{-4}$ Н. Определите количество заряда каждого шарика.
18. Двум шарикам, расположенным на определенном расстоянии друг от друга, сообщен одинаковый заряд, равный $5 \cdot 10^{-8}$ Кл. Заряды оттолкнулись с силой $3 \cdot 10^{-4}$ Н. Определите расстояние между шариками.
19. Во сколько раз надо изменить расстояние между зарядами при увеличении одного из них в 4 раза, чтобы сила взаимодействия осталась прежней?
20. Во сколько раз сила электрического отталкивания между двумя электронами больше силы их гравитационного притяжения друг к другу?
21. Два шарика, расположенные на расстоянии 10 см друг от друга, имеют одинаковые отрицательные заряды и взаимодействуют с силой 0,23 мН. Найдите число «избыточных» электронов на каждом шарике.
22. Два одинаковых металлических шарика заряжены так, что заряд одного из них в пять раз больше заряда другого. Шарики привели в соприкосновение и развели на прежнее расстояние. Во сколько раз изменилась (по модулю) сила взаимодействия, если шарики были заряжены одноименно? А разноименно?
23. Одинаковые металлические шарики, заряженные одноименно зарядами q и $4q$, находятся на расстоянии r друг от друга. Шарики привели в соприкосновение. На какое расстояние x надо их развести, чтобы сила взаимодействия осталась прежней?
24. Заряды 10 и 16 нКл расположены на расстоянии 7 мм друг от друга. Какая сила будет действовать на заряд 2 нКл, помещенный в точку, удаленную на 3 мм от меньшего заряда и на 4 мм от большего?
25. Заряды 90 и 10 нКл расположены на расстоянии 4 см друг от друга. Где надо поместить третий заряд, чтобы он находился в равновесии?
26. Найдите напряженность электрического поля, созданного точечным зарядом $-3 \cdot 10^{-8}$ Кл на расстоянии 5 см.
27. Два одноименно заряженных точечных заряда отталкиваются друг от друга с силой 10^{-4} Н. Напряженность электрического поля, созданного первым зарядом в точке нахождения второго заряда, равна $2 \cdot 10^4$ Н/Кл. Найдите значения обоих зарядов.
28. В некоторой точке поля на заряд 2 нКл действует сила 0,4 мкН. Найдите напряженность поля в этой точке.
29. Какая сила действует на заряд 12 нКл, помещенный в точку, в которой напряженность электрического поля равна 2000 Н/Кл.
30. Найдите напряженность поля заряда 36 нКл в точках, удаленных от заряда на 9 и 18 см.
31. Площадь пластин плоского конденсатора емкостью 400 пкФ равна 200 см². Каким должно быть расстояние между пластинами конденсатора с такой емкостью, если в качестве диэлектрика использованы стеклянные пластины? Для стекла $\epsilon = 7$.
32. Пять конденсаторов емкостью 250 пкФ каждый соединены последовательно. Найдите общую емкость системы конденсаторов. Какой будет общая емкость этих конденсаторов при параллельном соединении?
33. Конденсаторы емкостью 100, 200 и 300 пкФ соответственно соединены последовательно. Найдите общую емкость системы конденсаторов.
34. Почему в проведенном опыте Фарадей не почувствовал заряженность клетки?
35. Почему во время разряда молнии опасно стоять под одиноким деревом?
36. Почему нижний конец громоотвода зарывается во влажный слой земли?

ГЛАВА II

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

§ 9. ПОНЯТИЕ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТОКЕ

Упорядоченное движение заряженных частиц

Зарядим шарик электрометра заряженной палочкой. При этом стрелка электрометра повернется на определенный угол (рис. 33, а). Если мы прикоснемся к шарикам электрометра одним концом проводника, другой конец которого заземлен, то увидим, что стрелка электрометра тут же упадет до нуля. Причина в том, что при прикосновении концом проводника к шарикам электрометра содержащиеся в нем заряды начинают упорядоченно двигаться по проводнику и переходят в землю (рис. 33, б).



Упорядоченное движение заряженных частиц называется электрическим током.

Чтобы убедиться в том, что в предыдущем опыте в проводнике образовался электрический ток, установим посередине заземленного одним концом проводника неоновую лампочку. Прикоснувшись вторым концом проводника к заряженному шарикам электрометра, увидим, что одновременно с падением стрелки до нулевой отметки тут же загорится и погаснет неоновая лампочка (рис. 34). Следовательно, заряды действительно перемещаются по проводнику в одном направлении, и образуется электрический ток.

Роль электрического поля в образовании электрического тока

Движение заряженных частиц связано с наличием в проводнике электрического поля (рис. 35). Допустим, что в опыте, изображенном на рис. 33, шарик электрометра заряжен отрицательно. До прикосновения конца проводника к шарикам заземленный конец проводника является нейтральным, т.е. количество отрицательных и положительных зарядов одинаково. При прикосновении конца проводника к шарикам заземленный конец проводни-

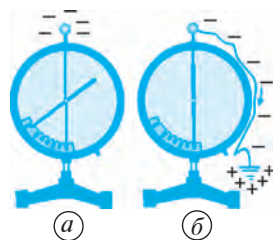


Рис. 33

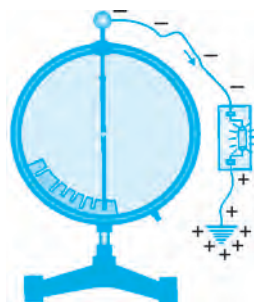


Рис. 34

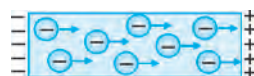


Рис. 35

ка мгновенно заряжается положительно. В результате между положительно и отрицательно заряженными концами проводника возникает электрическое поле, под влиянием которого заряженные частицы начинают направленно перемещаться по проводнику, т.е. образуется электрический ток.



Для образования в проводнике электрического тока необходимо, чтобы в нем существовало электрическое поле.

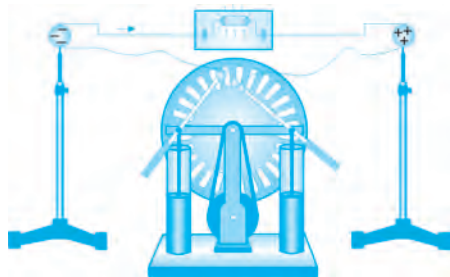


Рис. 36

Как можно поддерживать электрический ток в проводнике в течение длительного времени? Подсоединим к шарикам электрофорной машины с помощью проводника неоновую лампочку. При вращении диска машины на одном из ее шариков образуются положительные заряды, а на другом — отрицательные заряды (рис. 36).

Между зарядами противоположного знака, а также в присоединенном к ним проводнике возникает электрическое поле. Под влиянием этого поля заряды направленно движутся по проводнику, образуя электрический ток, за счет которого загорается неоновая лампочка. При непрерывном вращении диска машины шарики будут заряжаться непрерывно и лампочка не погаснет.



1. Что называют электрическим током?
2. Объясните с помощью рис. 34 образование электрического тока.
3. Чем обусловлено направленное движение зарядов в проводнике?
4. Как можно получить электрический ток с помощью электрофорной машины? Объясните причину образования электрического тока.



Проведите опыт, изображенный на рис. 34, и сделайте выводы по его результатам. Запишите выводы в тетрадь.

§ 10. ИСТОЧНИКИ ТОКА

Понятие об источнике тока

Для того, чтобы присоединенная к проводнику лампочка горела длительное время, необходим источник, образующий электрический ток, — *источник тока*.



В источнике тока осуществляется работа по разделению положительных и отрицательных зарядов. Разделенные противоположные заряды накапливаются в полюсах источника тока и образуют электрическое поле.

В процессе разделения положительных и отрицательных зарядов в источниках тока механическая, химическая, внутренняя энергия и энергия другого вида превращается в электрическую.

Электрофорная машина, изображенная на рис. 36, также является источником тока. В ней механическая энергия преобразуется в электрическую. При вращении диска положительные и отрицательные заряды разделяются и собираются на полюсах, т. е. на шариках накапливаются заряды противоположного знака.

Источники тока разнообразны. Ознакомимся с источниками постоянного тока.



Постоянное равномерное течение заряженных частиц называется постоянным током. Источником постоянного тока называется источник, в котором имеются положительный и отрицательный полюса и при замыкании полюсов проводником в нем возникает электрический ток.

Ниже рассмотрим устройство и работу нескольких видов источников постоянного тока.

Гальванические элементы

В бытовых электроприборах в качестве источника электрического тока используются гальванические элементы.



В гальваническом элементе химическая энергия превращается в электрическую.

Простейший гальванический элемент состоит из цинковой и медной пластин, опущенных в водный раствор серной кислоты (рис. 37). В результате реакции взаимодействия цинка и серной кислоты положительные и отрицательные заряды разделяются. Отрицательные заряды собираются на цинковой пластине, а положительные — на медной. Между заряженными пластинами образуется электрическое поле.

Если медную и цинковую пластины, т. е. полюса гальванического элемента, посредством проводника соединить с лампочкой, через проводник будет протекать ток, и лампочка загорится. Этот простейший гальва-



Алессандро Вольта
(1745–1827)

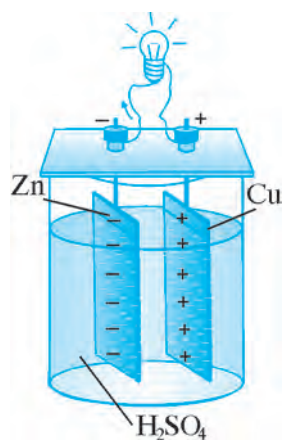


Рис. 37

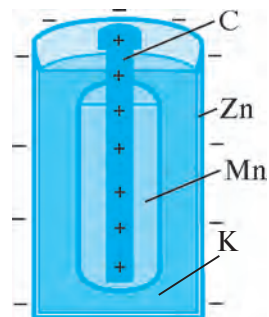


Рис. 38



Рис. 39



Рис. 40

нический элемент был изобретен итальянским физиком **Алессандро Вольта**. Поэтому он носит название *гальванического элемента Вольта*.

На практике обычно используют «сухие» гальванические элементы (см. рис. 38). Такие элементы состоят из цинкового сосуда, в который вставлен угольный стержень. Стержень помещен в мешочек, наполненный смесью оксида марганца с углем. Вместо жидкости используется смесь нашатыря с клеем. В процессе химической реакции на угольном стержне скапливаются положительные, на оболочке цинкового сосуда — отрицательные заряды. Существует много разновидностей гальванических элементов (рис. 39).

Для увеличения мощности гальванических элементов зачастую их последовательно соединяют друг с другом. Соединенные таким образом элементы называются *батареей*. Поэтому гальванические элементы мы привыкли называть батареей. Например, в карманные фонари, переносные радиоприемники,

пульты телевизоров вставляется гальванический элемент — батарея.

Аккумуляторы

Слово «*аккумулятор*» в переводе с латинского означает «*накапливать*». При работе всех видов гальванических элементов расходуются вещество электродов и раствор. Со временем в них ослабевают силы химических реакций, и изношенный гальванический элемент выбрасывается.

В аккумуляторе, как и в гальваническом элементе, химическая энергия превращается в электрическую. Однако при ослаблении силы химической реакции в нем его не выбрасывают, а заряжают от другого источника тока — электрической сети с помощью специальных приборов. Таким образом аккумулятор восстанавливает утерянную энергию.

Для зарядки через аккумулятор пропускают ток. Для этого положительный полюс аккумулятора соединяют с положительным полюсом другого источника тока, а отрицательный полюс — с отрицательным. После зарядки его можно использовать как самостоятельный источник тока.



В аккумуляторе химическая энергия превращается в электрическую. Израсходованная электрическая энергия восстанавливается путем пропускания через него тока.

Простейший аккумулятор состоит из двух свинцовых пластин, помещенных в раствор серной кислоты. Такой аккумулятор называется *свинцовым* или *кислотным аккумулятором*.

Обычно, последовательно соединяя аккумуляторы друг с другом, образуют батарею. На рис. 40 показана батарея, составленная из шести кислотных аккумуляторов. Перемычки соединяют отрицательный полюс одного аккумулятора с положительным полюсом другого. Такой источник тока обычно называют не батареей, а **аккумулятором**.

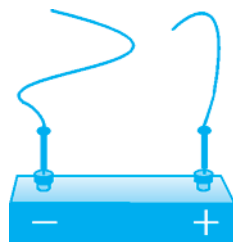


Рис. 41

На практике применяются также железоникелевые или щелочные аккумуляторы. Пластины таких аккумуляторов имеют вид сетчатых железных пакетов. Одна из пластин содержит спрессованный порошок железа, а другая — оксид никеля. Пластины помещены в раствор щелочи (едкого натрия).

Аккумуляторы имеют широкое и разнообразное применение. Так, в качестве источника электрического тока они используются для запуска автомобильных двигателей, их освещения, для переносных радиоприемников, магнитофонов, телевизоров, сотовых телефонов и компьютеров, в искусственных спутниках.

В школьных кабинетах физики для проведения опытов и лабораторных работ используют различные виды источников постоянного тока. Обычно такие источники тока с помощью специальных приборов питаются от электрической сети. В дальнейшем источник постоянного тока в электрических цепях будем изображать так, как показано на рис. 41.

Электрическая цепь

Соединим между собой источник тока, электрическую лампочку и ключ с помощью проводника (проволоки) (рис. 42, а). Ключ нужен для того, чтобы включать и выключать лампочку.

Электрическая лампочка является потребителем электрической энергии так же, как и радиоприемники, магнитофоны, телевизоры, компьютеры, холодильники, утюги, электрокипяtilьники и другие приборы.

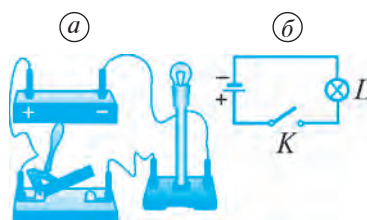


Рис. 42



Источник тока, проводник, потребитель и ключ составляют простейшую электрическую цепь.

Чтобы электрический ток проходил по цепи, она должна быть замкнутой. В цепи, изображенной на рис. 43, а, показано положение ключа в выключенном состоянии.

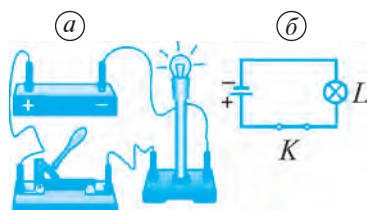


Рис. 43



Рис. 44

Обычно чертежи, на которых изображены способы соединения элементов в цепь, называются **электрическими схемами**. Схема открытой цепи представлена на рис. 42, б, а замкнутой — на рис. 43, б.

Источник тока, ключ, места соединения проводников, различные потребители и другие элементы представлены на схемах различными условными обозначениями (рис. 44).



1. Каким образом заряженные частицы накапливаются в полюсах источника тока?
2. Объясните устройство и работу гальванического элемента Вольта.
3. Объясните устройство и работу «сухих» гальванических элементов.
4. В чем заключается основное отличие аккумуляторов от гальванических элементов?
5. Из каких элементов состоит простейшая электрическая цепь?



Разберите вышедший из употребления гальванический элемент, рассмотрите и проанализируйте содержащиеся в нем цинк, уголь, мешочек и клей.

§ 11. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В МЕТАЛЛАХ

Беспорядочное движение свободных электронов

Атомы твердых тел, в частности металлов, образуют **кристаллическую решетку** упорядоченной периодической структуры. Точки расположения атомов (ионов) в кристаллической решетке называются **узлами**.

В атомах металлов электроны, расположенные на внешней орбите, слабо связаны с ядром. Такие электроны отделяются от своих атомов и становятся свободными электронами, а атомы превращаются в положительные ионы. **Ион** — это атом с лишним или недостающим электроном. Если от атома отделяется один или несколько электронов, такой атом превращается в положительный ион, если же атом притягивает лишний электрон, он становится отрицательным ионом. В 1 см^3 металла содержится 10^{22} – 10^{23} свободных электронов.



Металлы имеют строение в виде кристаллической решетки, в узлах которой расположены ионы с положительным зарядом. Отделившиеся от своих атомов электроны свободно перемещаются внутри кристаллической решетки (рис. 45).

Например, в ядре атома меди (Cu) находятся 29 положительно заряженных протонов, а вокруг ядра по разным орбитам вращаются 29 отрицательно заряженных электронов. Один электрон, расположенный на внешней орбите, очень слабо связан с ядром, и на него оказывают влияние и ядра соседних атомов. Поэтому этот электрон свободно перемещается от одного атома к другому, т.е. превращается в свободный беспорядочно движущийся электрон.

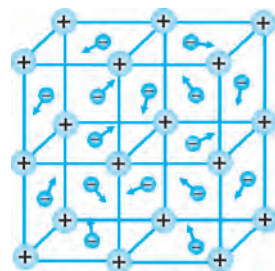


Рис. 45

Движение свободных электронов в электрическом поле

Соединим металлический проводник с электрической цепью. При этом между концами проводника, соединенного с положительным и отрицательным полюсами источника, возникнет электрическое поле. Под действием этого поля электроны начнут перемещаться в сторону положительного полюса (рис. 46). Атомы же металла, превратившиеся в положительные ионы, останутся в узлах кристаллической решетки. В результате упорядоченного движения электронов в проводнике образуется электрический ток.

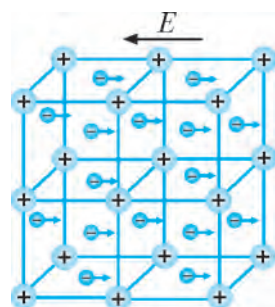


Рис. 46



Электрический ток в металлах есть результат упорядоченного движения (потока) электронов.

Направление электрического тока

Прохождение тока по электрической цепи можно определить с помощью гальванометра или амперметра. Соединим гальванометр с электрической цепью, как показано на рис. 47. При включении цепи стрелка гальванометра отклоняется вправо от нуля. Значит, через проводник проходит ток. Это можно увидеть и по загоревшейся лампочке, подсоединенной к цепи.

Теперь поменяем местами полюса на концах проводника, соединенных с источником тока. При этом лампочка так же будет гореть, но стрелка гальванометра отклонится влево от нуля (рис. 48).

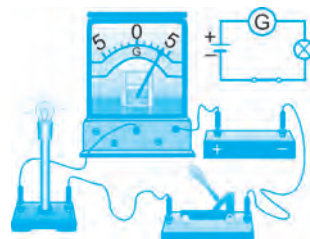


Рис. 47

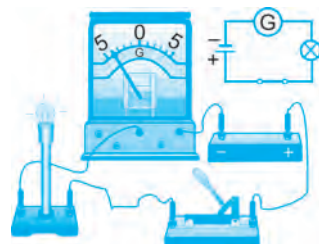


Рис. 48

Этот опыт показывает, что электрический ток имеет направление.

Носителями заряда в электрической цепи являются электроны, которые движутся по проводнику от отрицательного полюса источника тока в сторону положительного. За счет этого в проводнике возникает электрический ток. Однако за направление электрического тока принято направление, противоположное направлению движения электронов. Когда было принято указанное направление тока, в науке еще ничего не было известно об электронах.

Следовательно:



Электрический ток имеет направление. За направление тока в электрической цепи принято направление движения положительных зарядов.



1. Как в металлах появляются свободные электроны?
2. Как свободный электрон движется в электрическом поле?
3. Что представляет собой электрический ток в металлах?
4. Как можно обосновать то, что ток имеет направление?
5. Направление движения каких частиц принято за направление электрического тока в проводниках?



Проведите опыты, показанные на рис. 47 и 48, и обоснуйте существование направления тока.

§ 12. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ И ЕГО ИЗМЕРЕНИЕ

Понятие о напряжении

Электроны в проводнике, подсоединенном к электрической цепи, перемещаются от отрицательного полюса источника тока в сторону положительного. При этом источник тока выполняет работу.



Физическая величина, численно равная работе, выполняемой при прохождении заряда в 1 Кл по отдельному отрезку цепи, называется электрическим напряжением между концами этого отрезка цепи и обозначается буквой U .

Формула напряжения описывается в виде

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

где A — работа, выполняемая на отрезке цепи при прохождении заряда q .

За единицу напряжения принят **вольт** (В) в честь *Алессандро Вольта*, создавшего первый источник тока. При этом $1 \text{ В} = 1 \text{ Дж} / 1 \text{ Кл}$, т.е. если напряжение на определенном отрезке цепи равно 1 В, то при прохождении по нему заряда в 1 Кл выполняется работа, равная 1 Дж. Следовательно, если на отрезке цепи напряжение равно 2 В, то при прохождении по нему заряда в 1 Кл выполняется работа, равная 2 Дж.

На практике применяются также производные единицы напряжения – **милливольт** (1 мВ) и **киловольт** (1 кВ), причем $1 \text{ В} = 1000 \text{ мВ}$, $1 \text{ кВ} = 1000 \text{ В}$.

Напряжение возникает не только на концах проводника на определенном отрезке цепи, но и на полюсах источника тока. Напряжение между полюсами источника тока равно работе, которая может быть выполнена при прохождении по цепи заряда в 1 Кл. Величина электрического напряжения на отдельных источниках тока бывает различной (табл. 1).

Таблица 1

Электрическое напряжение в некоторых источниках тока

№	Источник тока	Напряжение
1.	Гальванический элемент	1,5 В
2.	Свинцовый аккумулятор	2 В
3.	Батарея карманного фонаря	4,5 В
4.	Автомобильный аккумулятор	12 В
5.	Бытовая электрическая сеть	220 В
6.	Линия электропередач	5–500 кВ

Измерение напряжения



Напряжение на полюсах источника тока или на каком-нибудь участке цепи измеряется с помощью прибора, называемого *вольтметром*.

Один из вольтметров, используемых в школьных кабинетах физики, показан на рис. 49. Чтобы отличать вольтметр от других измерительных приборов, на шкале вольтметра ставится буква «V». На схемах электрической цепи вольтметр обозначается кружком с буквой «V» внутри.

На одной клемме вольтметра ставится знак «+». Эта клемма соединяется с проводом, идущим через элементы цепи от положительного полюса источника тока, или напрямую с положительным полюсом источника тока (рис. 50). Например, для измерения на-

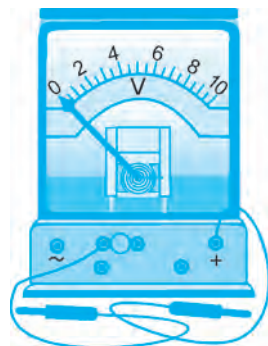


Рис. 49

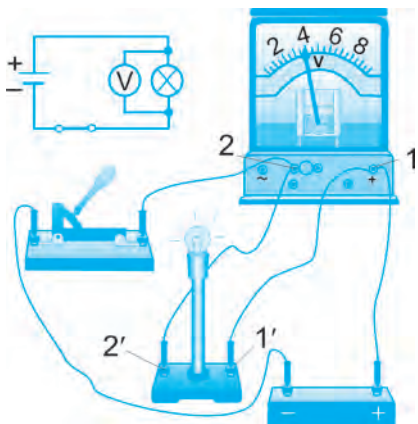


Рис. 50

пряжения в электрической лампочке первую клемму вольтметра 1 соединяют с первой клеммой лампочки 1', а вторую 2 — со второй 2'. Такое соединение вольтметра с потребителем называется **параллельным**.



Вольтметр включается в электрическую цепь параллельно потребителю, напряжение на котором измеряется.

Соединение источников тока

Напряжение, подаваемое одним гальваническим элементом, зачастую оказывается недостаточным. Например, некоторые переносные радиоприемники работают от источника тока 3 В. Напряжение каждого из гальванических элементов равно 1,5 В. Для получения напряжения 3 В в приемник вставляют два гальванических элемента по 1,5 В. При этом положительный полюс первого элемента соединяется с отрицательным полюсом второго (рис. 51, а). Для работы магнитофона, работающего с напряжением 9 В, необходимо последовательно соединить шесть гальванических элементов по 1,5 В каждый (рис. 51, б). В аккумуляторах элементы соединяются последовательно.

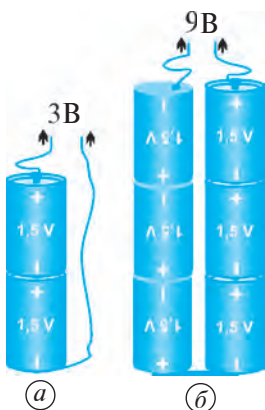


Рис. 51

Пример решения задачи

Показание вольтметра, параллельно подключенного к лампочке в электрической цепи, составляет 1,5 В. Какая работа выполняется при прохождении через лампочку заряда в 10 Кл?

Дано:

$$U = 1,5 \text{ В};$$

$$q = 10 \text{ Кл}.$$

Найти:

$$A - ?$$

Формула:

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

$$A = Uq.$$

Решение:

$$A = 1,5 \text{ В} \cdot 10 \text{ Кл} = 15 \text{ Дж}.$$

Ответ: $A = 15 \text{ Дж}.$



1. Что называется напряжением и как оно обозначается?
2. Какой вид имеет формула напряжения? Как с помощью этой формулы находят совершенную работу, если известны электрическое напряжение и количество заряда? Напишите формулу для определения количества заряда, если известны напряжение и работа.
3. Какой единицей измеряется напряжение?
4. Каким прибором измеряется напряжение и как он подключается к потребителю?
5. Как соединяются источники тока для увеличения напряжения?



1. Через лампочку в электрической цепи в течение какого-то времени прошел заряд в 25 Кл и выполнена работа в 75 Дж. Под каким напряжением горела лампочка?
2. Сотовый телефон подключен к источнику тока напряжением в 3 В. Какая работа совершается при прохождении через него заряда, равного 100 Кл?
3. Переносный магнитофон подключен к источнику тока напряжением в 9 В. Какой заряд должен пройти через магнитофон, чтобы была выполнена работа в 450 Дж?
4. Вольтметр, параллельно соединенный с лампочкой, показывает 3 В. Сколько электронов должно пройти через спираль лампочки в течение какого-то времени, чтобы совершилась работа в 24 Дж? Заряд одного электрона равен — $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.



Соедините вольтметр с зажимами аккумулятора или гальванического элемента и измерьте напряжение источника тока.

§ 13. СИЛА ТОКА И ЕЕ ИЗМЕРЕНИЕ

Понятие о силе тока

Для описания тока, протекающего по электрической цепи, принята специальная физическая величина — сила тока.



Физическая величина, численно равная количеству электрического заряда, проходящего через поперечное сечение проводника в единицу времени, называется силой тока и обозначается буквой I .



Андре Мари Ампер
(1775–1836)

Если через поперечное сечение проводника за время t прошел заряд q , то сила тока I определяется по формуле

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

В Международной системе единиц за единицу силы тока принят ампер (1 А) в честь французского физика **Андре Мари Ампера**. Если через поперечное сечение проводника в 1 с проходит заряд в 1 Кл, сила тока будет равна 1 А. На практике используются также производные единицы **миллиампер** (1 мА) и **микроампер** (мкА). При этом $1 \text{ А} = 1000 \text{ мА} = 1\,000\,000 \text{ мкА}$, $1 \text{ мА} = 1000 \text{ мкА}$.

Измерение силы тока



Сила тока в электрической цепи измеряется прибором, который называется *амперметром*.

Один из амперметров, используемых в школьных кабинетах физики, показан на рис. 52. На шкале амперметра ставится буква А.

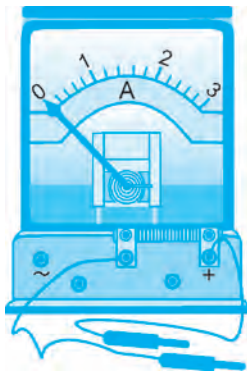


Рис. 52



Амперметр включается в электрическую цепь потребителя, сила тока которого измеряется, последовательно.

При подключении амперметра к цепи его полюс со знаком «+» соединяется с проводом, идущим от положительного полюса источника тока (рис. 53).

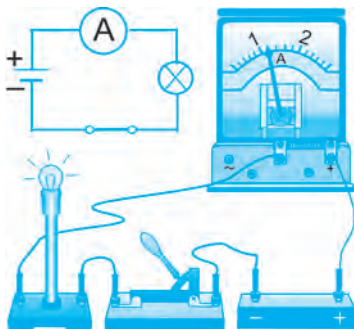


Рис. 53

Амперметр можно включать последовательно в любой участок цепи, состоящей из нескольких проводников, так как во всех частях этой цепи сила тока одинакова. Амперметр можно включать в цепь до и после потребителя, и его стрелка будет показывать одинаковый ток.

Пример решения задачи

Через лампочку электрической цепи проходит ток силой 0,2 А. Вычислите, какой заряд и сколько электронов пройдет через спираль лампочки за 1 мин.

Дано:

$$I = 0,2 \text{ А};$$

$$t = 1 \text{ мин} = 60 \text{ с};$$

$$|q_e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

Найти:

$$q - ? \quad n - ?$$

Формула:

$$I = \frac{q}{t}; \quad q = It;$$

$$q = n|q_e|; \quad n = \frac{q}{|q_e|}.$$

Решение:

$$q = 0,2 \text{ А} \cdot 60 \text{ с} = 12 \text{ Кл.}$$

$$n = \frac{12 \text{ Кл}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 7,5 \cdot 10^{19}.$$

Ответ: $q = 12 \text{ Кл}; \quad n = 7,5 \cdot 10^{19}.$



1. Что называется силой тока и как она обозначается?
2. Какой вид имеет формула силы тока? Как с помощью этой формулы можно найти время, в течение которого через проводник проходит ток, если известны сила тока и количество заряда? Как определить количество заряда, проходящего через поперечное сечение проводника, если известны сила тока и время?
3. Какой единицей измеряется сила тока?
4. Каким прибором измеряется сила тока?
5. Как включается в цепь амперметр?



1. Известно, что через лампочку электрической цепи за 5 мин проходит заряд, равный 30 Кл. Какую силу тока покажет амперметр в цепи?
2. Сила тока, протекающего по цепи с лампочкой, равна 0,1 А. Сколько кулонов пройдет через спираль лампочки за 8 мин? Вычислите число электронов, проходящих через лампочку за это время.

3. Сила тока, протекающего через лампочку электрической цепи, равна 0,3 А. За сколько времени через спираль лампочки пройдет заряд, равный 360 Кл?
4. Аккумулятор в течение 25 ч может давать ток силой 2 А. Какой электрический заряд может накопить этот аккумулятор?



Соберите цепь, изображенную на рис. 53. Включите амперметр в любые участки цепи и убедитесь в том, что его показания будут одинаковыми.

§ 14. СБОРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ. ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ И НАПРЯЖЕНИЯ ТОКА НА РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ ЦЕПИ

(Лабораторная работа)

Оборудование: два источника тока, дающие различное напряжение, два вида лампочек, амперметр, вольтметр, ключ, провода.

Порядок выполнения работы

1. Соберите цепь, состоящую из источника тока, лампочки, амперметра, вольтметра и ключа (рис. 54).

2. Начертите в тетради схему электрической цепи.

3. Включите цепь. При этом лампочка загорится, амперметр покажет силу тока, а вольтметр — его напряжение. Занесите их значения в таблицу.

4. Замените лампочку в цепи на другую. Повторите действия, указанные в пункте 3.

5. Замените источник тока на другой. Повторите действия, указанные в пункте 3.

6. Замените вторую лампочку первой. Повторите действия, указанные в пункте 3.

7. Проанализируйте результаты опытов и сделайте выводы.

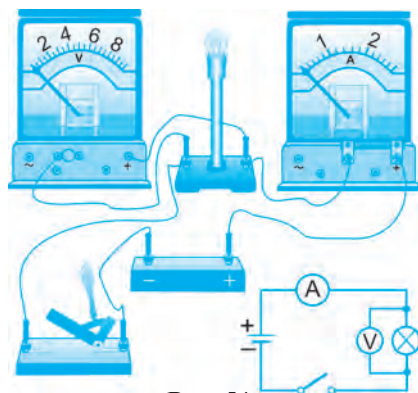


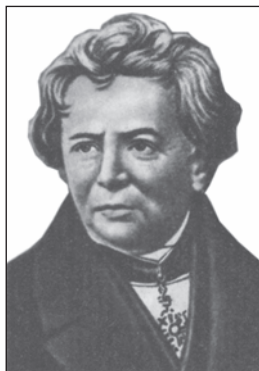
Рис. 54



1. Из каких приборов состоит простейшая электрическая цепь? Начертите схему.
2. Расскажите, какую задачу выполняет каждый прибор в простейшей электрической цепи.
3. В чем состоит назначение вольтметра? Как он включается в цепь и как обозначается на схеме?
4. В чем состоит назначение амперметра? Как он включается в цепь и как обозначается на схеме?

§ 15. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Понятие об электрическом сопротивлении



Георг Симон Ом
(1787–1854)

Соберем электрическую цепь, показанную на рис. 55. При включении тока лампочка ярко загорится, амперметр покажет протекание относительно большого тока.

Разомкнем цепь. Закрутим в форме спирали проволоку из никелина длиной 1,5–2 м и последовательно соединим с лампочкой. Никелин – это сплав меди, никеля и марганца.

При включении тока лампочка будет гореть неярко, и амперметр покажет, что ток в цепи уменьшился (рис. 56). Значит, никелиновый провод уменьшает ток в цепи, т. е. оказывает сопротивление его протеканию по цепи.



Свойство проводника препятствовать протеканию тока в цепи называется *электрическим сопротивлением* и обозначается буквой *R*.

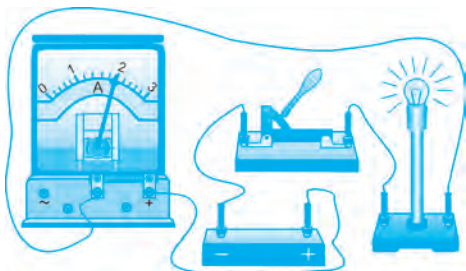


Рис. 55

За основную единицу электрического сопротивления принят **ом (1 Ом)** в честь немецкого физика Георга Ома, который ввел в физику понятие сопротивления и открыл основной закон электрической цепи.

На практике применяются также производные единицы сопротивления **миллиом (1 мОм)**, **килоом (1 кОм)**, **мегаом (1 МОм)**. При этом: 1 Ом = 1000 мОм;

1 кОм = 1000 Ом; 1 МОм = 1 000 000 Ом.

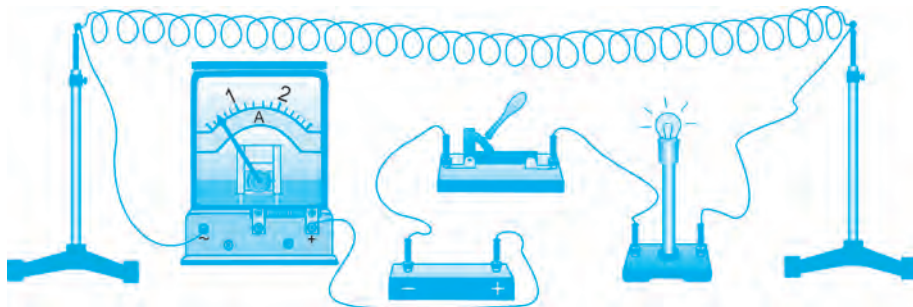


Рис. 56

Как возникает сопротивление в проводнике? Ток в металлах – это упорядоченное движение свободных электронов под воздействием электрического поля. Во время движения электроны сталкиваются с ионами кристаллической решетки металла. При этом ионы, как и в процессе столкновения тел при механическом движении, снижают скорость свободных электронов. Поэтому при наличии в металлических проводниках электрического поля возникает электрическое сопротивление.

Зависимость электрического сопротивления от длины проводника

Соберем электрическую цепь, изображенную на рис. 57. Здесь клеммы 1 и 2, 2 и 3, 3 и 4, 4 и 5 соединены одинаковой нихромовой проволокой длиной 15 см. Нихром – это сплав никеля, железа, хрома и марганца.

Положительный полюс источника тока подсоединим через амперметр к клемме 1, а отрицательный полюс – через ключ к клемме 2. Включим цепь с помощью ключа. Допустим, что амперметр показывает ток 2 А. Если подсоединим отрицательный полюс источника тока к клемме 3, амперметр покажет ток 1 А, а к клемме 5 – ток 0,5 А. Это объясняется тем, что при подсоединении цепи к клемме 3 длина нихромовой проволоки увеличилась в два раза, а при подсоединении к клемме 5 – в четыре раза.

Вывод: во сколько раз возрастает длина проводника, во столько же раз уменьшается ток в цепи, т. е. увеличивается сопротивление проводника.

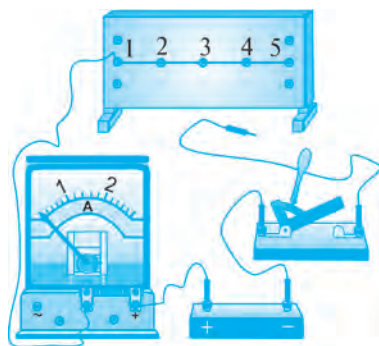


Рис. 57



Электрическое сопротивление проводника прямо пропорционально его длине.

То есть:

$$R \sim l. \quad (1)$$

Зависимость электрического сопротивления от поперечного сечения проводника

Соберем электрическую цепь, изображенную на рис. 58. При этом клеммы 1, 3, 5, соединенные медной проволокой, подключены через амперметр к положительному полюсу источника тока. Клеммы 1 и 2, 3 и 4, 5 и 6 соединим между собой тремя отрезками нихромовой проволоки длиной 60 см.

Подключим проводник, идущий от отрицательного полюса источника тока, к клемме 2 и включим ток с помощью ключа. Допустим, что амперметр покажет ток 0,5 А. При подключении источника тока к клемме 4 или 6 в цепи также пройдет ток 0,5 А.

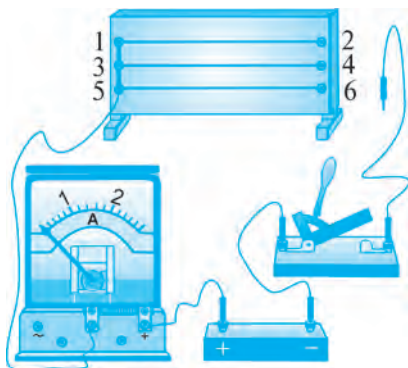


Рис. 58

Теперь соединим клеммы 2 и 4, при этом нихромовая проволока складывается вдвое, и площадь ее поперечного сечения увеличивается в два раза. Подключив источник тока к клемме 4 и включив ток, увидим, что амперметр показывает ток в цепи 1 А. Если соединим также клеммы 4 и 6 и повторим опыт, амперметр покажет ток 1,5 А. На этот раз мы увеличили площадь поперечного сечения проволоки по сравнению с первым случаем втрое.

Из опыта можно сделать вывод: во сколько раз увеличивается площадь поперечного сечения проводника, во столько же раз уменьшается его электрическое сопротивление.



Электрическое сопротивление проводника обратно пропорционально площади его поперечного сечения.

То есть:
$$R \sim \frac{1}{S}. \quad (2)$$

Удельное сопротивление

Подключим к электрической цепи поочередно три отрезка проволоки одинаковой длины и площади поперечного сечения, но изготовленные из различных материалов, например, из никелина, нихрома и хромеля. При этом каждый раз показания амперметра будут различными, что указывает на различное электрическое сопротивление.



Электрическое сопротивление проводника зависит также от электрического свойства материала, из которого он изготовлен.

То есть:
$$R \sim \rho. \quad (3)$$

Обобщив формулы (1), (2) и (3), получим формулу сопротивления

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (4)$$

где ρ — физическая величина, характеризующая электрическое свойство вещества и называемая *удельным сопротивлением*. Из формулы (4) определим величину удельного сопротивления:

$$\rho = R \frac{S}{l}. \quad (5)$$

Удельное сопротивление измеряется в ом·метрах (1 Ом·м).

Удельные сопротивления веществ, из которых изготавливают проводники, различны (табл. 2).

Таблица 2

Удельное сопротивление некоторых веществ (при 20°C)

№	Вещество	ρ , 10^{-6} Ом·м	№	Вещество	ρ , 10^{-6} Ом·м
1	Медь	0,017	5	Никелин	0,4
2	Алюминий	0,028	6	Константан	0,5
3	Вольфрам	0,055	7	Нихром	1,1
4	Железо	0,098	8	Хромель	1,4

Пример решения задачи

Найдите сопротивление нихромовой проволоки длиной 2 м и площадью поперечного сечения $0,5 \text{ мм}^2$.

Дано:

$$l = 2 \text{ м};$$

$$S = 0,5 \text{ мм}^2 = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$\rho = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Формула

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

Решение:

$$R = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot \frac{2 \text{ м}}{0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2} =$$

$$= 4,4 \text{ Ом}.$$

Найти:

$R - ?$

Ответ: $R = 4,4 \text{ Ом}.$



1. Что называется электрическим сопротивлением и как оно обозначается?
2. Как на опыте можно показать зависимость сопротивления от длины проводника?
3. Как на опыте можно показать зависимость сопротивления от площади поперечного сечения проводника?
4. Какой вид имеет формула, выражающая зависимость сопротивления от длины и площади поперечного сечения проводника?
5. Используя выражение (4), выведите формулу зависимости сопротивления проводника от диаметра его поперечного сечения.



1. Найдите сопротивление медной проволоки длиной 100 м и площадью поперечного сечения 2 мм^2 .
2. Сопротивление проволоки длиной 1 м и площадью поперечного сечения $0,5 \text{ мм}^2$ равно $0,8 \text{ Ом}$. Из какого вещества изготовлена проволока?
3. Имеются два отрезка проволоки, изготовленные из одного и того же материала. Длина одного 5 м, площадь поперечного сечения $0,1 \text{ мм}^2$, длина второго – $0,5 \text{ м}$, площадь поперечного сечения 3 мм^2 . Сопротивление какой проволоки больше и во сколько раз?
4. Перед вами хромелевая и медная проволока. Длина и площадь поперечного сечения одинаковые. Во сколько раз сопротивление хромелевой проволоки больше сопротивления медной?
5. Никелиновая проволока какой длины потребуется для изготовления спирали с площадью поперечного сечения $0,5 \text{ мм}^2$ и сопротивлением 2 Ом ?
6. Сопротивление спирали длиной 2 м, изготовленной из нихромовой проволоки, равно $4,4 \text{ Ом}$. Найдите площадь поперечного сечения проволоки.



Соберите электрическую цепь, состоящую из источника тока, лампочки и ключа, и замкните цепь. Обратите внимание на то, как горит лампочка. Разомкните цепь и последовательно соедините лампочку с нихромовой проволокой длиной 0,5 м. Включите ток и проследите за тем, как горит лампочка. Объясните, почему на этот раз яркость лампочки уменьшилась.

§ 16. ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ

Зависимость силы тока от напряжения

Соберем электрическую цепь из источника тока, никелиновой спирали, амперметра, вольтметра и ключа. Пусть при замыкании цепи вольтметр покажет 2 В, амперметр — 0,5 А (рис. 59).

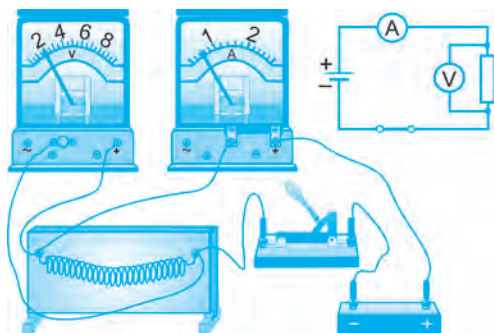


Рис. 59

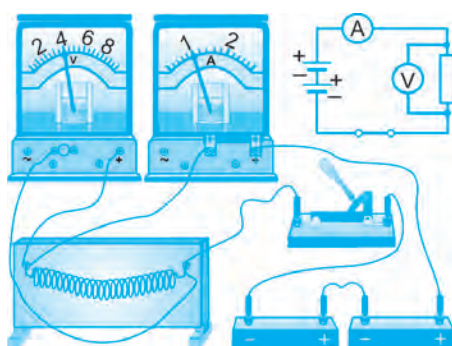


Рис. 60

Последовательно подсоединим к источнику тока другой такой же источник. При включении тока вольтметр покажет напряжение 4 В, а амперметр — силу тока 1 А, т. е. в спирали и напряжение, и сила тока увеличатся в два раза (рис. 60). Если довести число источников тока до трех, напряжение и сила тока в спирали также увеличатся в три раза.

Из опыта можно сделать вывод: во сколько раз увеличивается напряжение, приложенное к проводнику при постоянном сопротивлении, во столько же раз увеличивается в нем сила тока.



Сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению между концами проводника.

То есть:

$$I \sim U. \quad (1)$$

Зависимость силы тока от электрического сопротивления

В предыдущем опыте спираль не изменялась, т. е. электрическое сопротивление проводника было постоянным. Напряжение же на его кон-

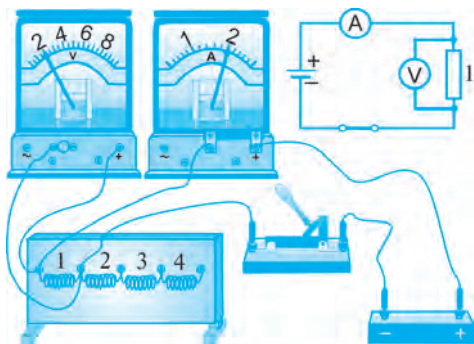


Рис. 61

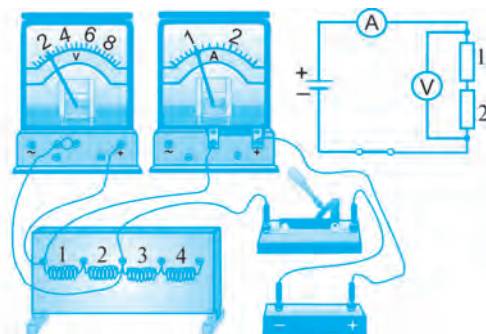


Рис. 62

цах было различным. Теперь рассмотрим случай, когда напряжение на концах проводника остается постоянным, а сопротивление различное.

Соберем электрическую цепь, изображенную на рис. 61. Цифрами 1, 2, 3, 4 обозначены спиральные проводники, электрическое сопротивление каждого из которых равно 1 Ом. В первую очередь соединим цепь с проводником 1. Пусть при включении тока вольтметр покажет напряжение 2 В, а амперметр – силу тока 2 А.

Во вторую очередь последовательно соединим цепь с проводниками 1 и 2. В этом случае их совместное сопротивление составит 2 Ом. При включении тока вольтметр покажет, что напряжение на концах проводника осталось постоянным, а амперметр покажет, что сила тока, протекающего по цепи, уменьшилась в два раза (рис. 62).

Теперь последовательно соединим проводники 1, 2, 3, 4 и образуем проводник с сопротивлением, равным 4 Ом. Включив ток, увидим, что и в этом случае напряжение на концах проводника осталось постоянным, а сила тока уменьшилась по сравнению с первым опытом в четыре раза.

Опыты позволяют сделать следующий вывод: во сколько раз увеличивается сопротивление проводника при постоянном напряжении, во столько же раз уменьшается сила тока, протекающего по нему.



При постоянном напряжении на концах проводника сила тока обратно пропорциональна сопротивлению проводника.

То есть:

$$I \sim \frac{1}{R}. \quad (2)$$

Закон Ома

Зависимость между силой тока, напряжением на участке цепи и сопротивлением этого проводника называется **законом Ома** в честь немецкого физика **Георга Ома**, открывшего этот закон в 1827 г.

Обобщив выводы двух предыдущих опытов, зависимость между силой тока I , напряжением U и сопротивлением R можно выразить в виде

$$I = \frac{U}{R}. \quad (3)$$

Это формула **закона Ома для участка цепи**. Этот закон формулируется так:



Сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на его концах и обратно пропорциональна сопротивлению проводника.

Исходя из формулы закона Ома, напряжение и сопротивление описываются формулами

$$U = IR; \quad (4) \quad R = \frac{U}{I}. \quad (5)$$

Из формулы (5) вытекает определение единицы электрического сопротивления:



За 1 Ом принято сопротивление проводника, по которому при напряжении на концах, равном 1 В, проходит ток силой 1 А (рис. 63).

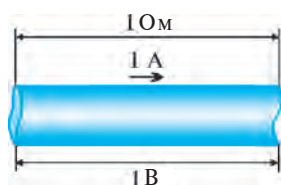


Рис. 63

То есть: $1 \text{ Ом} = 1 \text{ В} / 1 \text{ А}$.

Пример решения задачи

Напряжение на концах никелиновой проволоки длиной 1 м и площадью поперечного сечения $0,4 \text{ мм}^2$ равно 2 В. Определите силу тока, проходящего по цепи.

Дано:

$$l = 1 \text{ м};$$

$$S = 0,4 \text{ мм}^2 = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$U = 2 \text{ В};$$

$$\rho = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Найти:

$$I \text{ -?}$$

Формула:

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

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

Решение:

$$R = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot \frac{1 \text{ м}}{0,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2} = 1 \text{ Ом}.$$

$$I = \frac{2 \text{ В}}{1 \text{ Ом}} = 2 \text{ А}.$$

Ответ: $I = 2 \text{ А}$.



1. Какой будет зависимость силы тока от напряжения, если электрическое сопротивление проводника принято постоянным?
2. Какой будет зависимость силы тока от сопротивления проводника, если напряжение постоянное?
3. Охарактеризуйте закон Ома для участка цепи.
4. Как по формуле закона Ома определяется напряжение на концах проводника, если известны сопротивление проводника и сила тока, протекающего по нему?
5. Как по формуле закона Ома определяется сопротивление проводника, если известны напряжение на его концах и сила тока, протекающего по нему?
6. Что принимается за 1 Ом?



1. Если к потребителю приложено напряжение 2 В, то сила тока в нем будет равна 0,1 А. Какое напряжение нужно приложить к проводнику, чтобы сила тока достигла 0,3 А?
2. Лампочка карманного фонаря под напряжением 4,5 В горит при силе тока 0,3 А. Каково сопротивление спирали лампочки?
3. Через лампочку, подключенную к электрической сети напряжением 220 В, проходит ток 0,5 А. Определите сопротивление спирали лампочки.
4. Какое напряжение нужно приложить к концам проводника, чтобы пустить ток силой 2 А через проводник с сопротивлением 110 Ом?
5. Какое напряжение надо приложить к концам медной проволоки сопротивлением 1,7 Ом, чтобы возник ток 3 А? Какова длина проволоки, если площадь ее поперечного сечения равна 0,5 мм²?
6. Напряжение в алюминиевой проволоке длиной 100 м и площадью поперечного сечения 0,5 мм² равно 7 В. Определите силу тока, проходящего по цепи.



Возьмите два гальванических элемента по 1,5 В и лампочку, рассчитанную на напряжение 3 В. Сначала подсоедините лампочку к одному гальваническому элементу, затем к последовательно соединенным двум гальваническим элементам. Объясните усиление яркости лампочки, наблюдаемое во втором случае.

§ 17. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА С ПОМОЩЬЮ АМПЕРМЕТРА И ВОЛЬТМЕТРА

(Лабораторная работа)

Оборудование: три источника тока, никелиновая спираль, амперметр, вольтметр, ключ, соединительные провода.

Порядок выполнения работы

1. Соберите цепь, состоящую из источника тока (аккумулятор), никелиновой спирали, амперметра, вольтметра и ключа (рис. 64).

2. Включите ток и занесите в табл. 3 показания вольтметра U_1 и амперметра I_1 .

3. Вычислите сопротивление никелиновой спирали по формуле $R_1 = U_1 / I_1$ и занесите результаты в таблицу.

4. Последовательно соедините два аккумулятора и занесите в таблицу показания вольтметра U_2 и амперметра I_2 .

5. Вычислите сопротивление спирали во втором опыте по формуле $R_2 = U_2 / I_2$ и занесите результаты в таблицу.

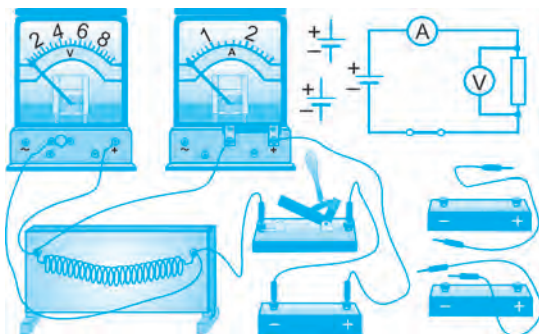


Рис. 64

6. Последовательно соедините три аккумулятора и занесите в таблицу показания вольтметра U_3 и амперметра I_3 .

7. Вычислите сопротивление спирали в третьем опыте по формуле $R_3 = U_3 / I_3$ и занесите результат в таблицу.

8. По выражению $R_{\text{ср.}} = R_1 + R_2 + R_3 / 3$ найдите среднее значение сопротивления и занесите результат в таблицу.

9. Проанализируйте результаты и сделайте выводы.

Таблица 3

№	U , В	I , А	R , Ом	$R_{\text{ср.}}$, Ом
1				
2				
3				



1. Что называется электрическим сопротивлением?
2. Как последовательно соединяются аккумуляторы?
3. Какой вид имеет формула закона Ома?
4. Можно ли считать, что сопротивление проводника прямо пропорционально напряжению на его концах и обратно пропорционально силе тока, проходящего через него?

§ 18. РЕЗИСТОРЫ. РЕОСТАТЫ. ПОТЕНЦИОМЕТРЫ

Резисторы

Зависимость силы тока в электрической цепи от сопротивления проводника широко используется в электротехнике. Ток в электрической цепи можно регулировать с помощью проводников с различным сопротивлением. Для этого в электротехнике используют резисторы.



Резистор — электрический прибор с определенным сопротивлением, используемый для регулирования тока и напряжения в электрической цепи. Слово «резистор» происходит от латинского resistere, что означает «сопротивляться».

Простейший резистор изображен на рис. 65, а. Он состоит из каркаса, проволоки и облицовки. Каркас и облицовка изготовлены из негорючего и не проводящего ток материала, например фарфора, а проволока — из материала с большим удельным сопротивлением. Проволока двумя концами соединяется с соответствующей частью цепи.

Во многих случаях вместо проволоки в резисторе используется стержень из материала, обладающего большим сопротивлением (рис. 65, б). Оба конца этого стержня прикреплены к проводящей проволоке, которая соединена с цепью.

Резистор, показанный на рис. 65, в, обладает малым сопротивлением. В нем проволока в форме спирали помещена в токонепроводящий и несгораемый керамический цилиндр.

Условное обозначение резисторов на схемах электрической цепи показано на рис. 65, г. Таким условным обозначением на схеме можно обозначить любой потребитель электричества.

На рис. 66 представлены различные образцы резисторов.

Реостаты

Во многих случаях бывает необходимо постепенно уменьшать или увеличивать сопротивление в электрической цепи. Например, для постепенного уменьшения освещения в зале кинотеатра равномерно уменьшают ток в цепи.

Для постепенного увеличения скорости трамвая, троллейбуса или электровоза равномерно увеличивают электрический ток в двигателе. Использования резисторов в этих целях оказывается недостаточно, так как резистор обладает определенным сопротивлением, которое изменить нельзя. Для равномерного изменения силы тока путем изменения сопротивления используется реостат.

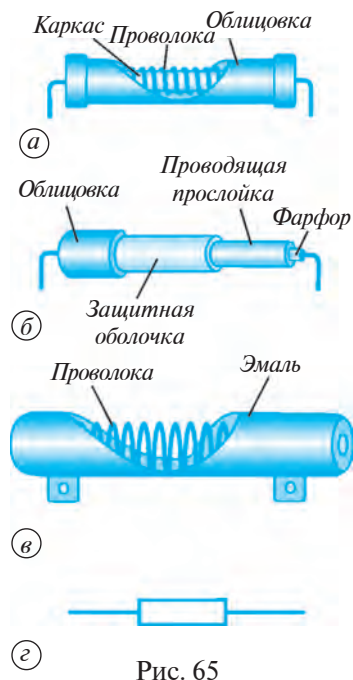


Рис. 65



Рис. 66



Реостат — электрический прибор, используемый для регулирования, т. е. изменения силы тока и напряжения в электрической цепи.

Слово «реостат» происходит от греческих слов rheos (течение, поток) и statos (стоящий), что означает «неподвижный поток». Простейший реостат можно изготовить из материала, имеющего большое удельное сопротивление, например, из никелиновой или нихромовой проволоки.

Прикрепим оба конца никелиновой проволоки через изолятор к штативам и соберем электрическую цепь, как показано на рис. 67. Передвигая подвижный контакт B в ту или другую сторону, можно уменьшать или увеличивать длину включенного в цепь участка AB . При этом будет меняться сопротивление проводника, а следовательно, и сила проходящего по нему тока.

На практике используют портативные реостаты, которые работают так же, как изложено выше. Один из школьных реостатов, а также условное

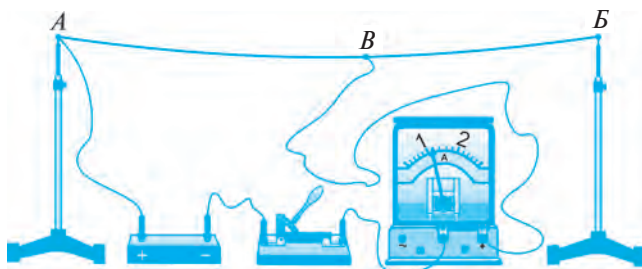


Рис. 67

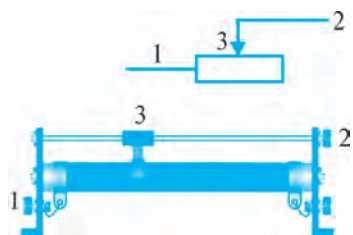


Рис. 68

обозначение реостатов на схеме электрической цепи представлены на рис. 68. В таком реостате никелиновая проволока намотана на керамический цилиндр. Проволока покрыта тонким слоем изоляции. Концы проволоки присоединены к зажимам 1 и 2.

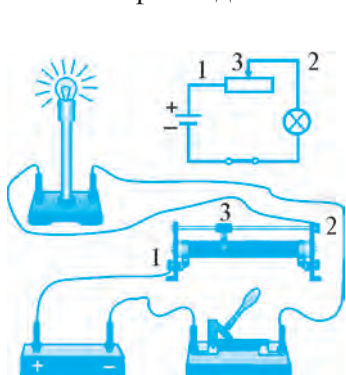


Рис. 69

Над обмоткой расположен металлический стержень, по которому может перемещаться ползун 3. Ползун своими контактами касается витков обмотки. От трения ползуна о витки обмотки слой изоляции под контактами стирается. В результате ток, идущий к зажиму 1, через витки и контакты ползуна проходит к стержню. Проходя через зажим 2 на конце стержня, ток продолжает свой путь по цепи (рис. 69).

Перемещая ползун по стержню реостата, можно равномерно изменять его сопротивление, а следовательно, и силу тока в цепи.

Потенциометр

В некоторых случаях возникает необходимость равномерно уменьшать или увеличивать напряжение в цепи. В этих целях используется потенциометр. В качестве потенциометра можно пользоваться реостатом, для чего его необходимо подключить к электрической цепи, как показано на рис. 70.



Потенциометр — электрический прибор, используемый для регулирования, т. е. изменения напряжения в электрической цепи.

При равномерном передвижении ползуна потенциометра напряжение в цепи постепенно изменяется.

Используемые на практике потенциометры чаще всего имеют форму окружности (рис. 71). Здесь зажимы 1, 2, 3 подключаются к цепи, как на рис. 65. При повороте регулятора ползун 4 совершает круговые движения,

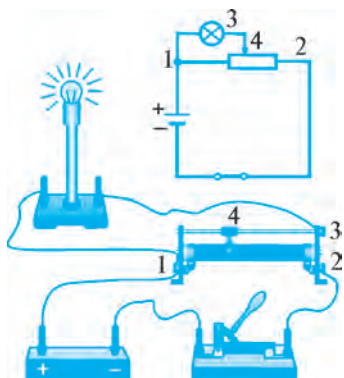


Рис. 70

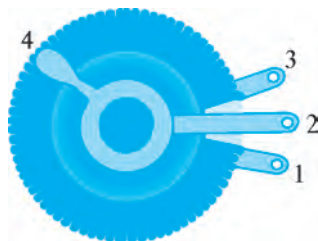


Рис. 71



Рис. 72

и напряжение в цепи равномерно изменяется. Потенциометры применяют в радиотехнике, в частности, для регулирования звука в радиоприемниках и телевизорах.

Различные виды потенциометров показаны на рис. 72.



1. Что такое реостат? В каких целях он используется?
2. Объясните устройство резистора и способ его подключения к сети.
3. Для чего служит реостат? Объясните, как он работает.
4. Для чего служит потенциометр?
5. Чем потенциометр отличается от реостата?



1. Напряжение на концах резистора равно 9 В. Каким должно быть его сопротивление, чтобы по нему прошел ток в 0,5 А?
2. Сопротивление резистора, подключенного к электрической цепи, равно 60 Ом. Ток какой силы пройдет через резистор, если напряжение на его концах составляет 12 В?
3. При подключении реостата, показанного на рис. 69, к напряжению 220 В и перемещении ползуна по стержню на расстояние 25 см от зажима 1 его сопротивление равно 110 Ом. На каком расстоянии от зажима 1 должен находиться ползун, чтобы по реостату прошел ток 1,2 А?
4. Ползун потенциометра, подключенного к сети с напряжением 220 В, находится на 1/5 части стержня. Каким будет напряжение, полученное в этом положении ползуна?



1. Откройте верхнюю часть резистора и изучите его устройство.
2. Возьмите деталь, регулирующую звук радио, телевизора или магнитофона, и посмотрите, как она работает в качестве реостата.

§ 19. РЕГУЛИРОВАНИЕ СИЛЫ ТОКА С ПОМОЩЬЮ РЕОСТАТА

(Лабораторная работа)

Оборудование: источник тока (аккумулятор), реостат, амперметр, вольтметр, ключ и соединительные провода.

Порядок выполнения работы

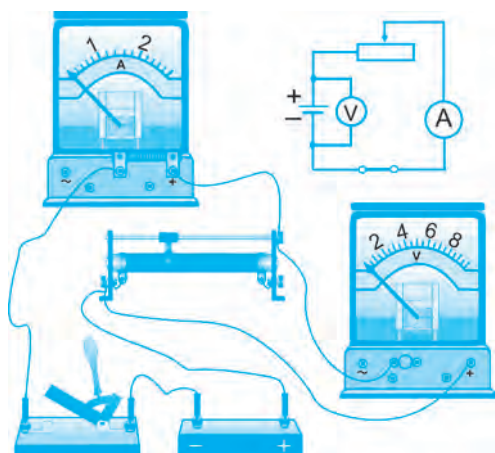


Рис. 73

1. Соберите цепь, состоящую из источника тока, реостата, амперметра, вольтметра и ключа (рис. 73).

2. Начертите схему электрической цепи.

3. Включите ток и занесите в табл. 4 напряжение U , показанное вольтметром.

4. Равномерно перемещайте ползун реостата по стержню справа налево и слева направо. При этом вы будете наблюдать, что при неизменном напряжении сила тока равномерно изменяется.

5. Передвиньте ползун реостата от клеммы 1 до 1/4 части стержня.

Занесите в таблицу показание амперметра I_1 . По формуле закона Ома $R_1 = U/I_1$ найдите сопротивление.

6. Передвиньте ползун реостата примерно до середины стержня. Занесите в таблицу показание амперметра I_2 . По формуле закона Ома $R_2 = U/I_2$ найдите сопротивление.

7. Передвиньте ползун реостата примерно до 3/4 части стержня. Занесите в таблицу показание амперметра I_3 . По формуле закона Ома $R_3 = U/I_3$ найдите сопротивление.

8. Передвиньте ползун реостата в правый конец стержня. Занесите в таблицу показание амперметра I_4 . По формуле закона Ома $R_4 = U/I_4$ найдите сопротивление.

9. Проанализируйте результаты и сделайте выводы.

Таблица 4

№	U , В	I , А	R , Ом
1			
2			
3			
4			



1. Как амперметр соединяется с реостатом?

2. Как измеряется напряжение в реостате?

3. Какой вид имеет формула закона Ома?

4. Почему при перемещении ползуна реостата сила тока в цепи изменяется?

§ 20. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Сила тока в цепи при последовательном соединении

Обычно на практике в электрических цепях соединяется не один, а несколько потребителей электрической энергии. При этом под потребителем подразумеваются электрическая лампочка, радио, магнитофон, телевизор, холодильник, электрокипятильник, утюг и другие электроприборы. В электрической цепи вместо потребителя могут быть также соединены один или несколько резисторов.

Соберем цепь, изображенную на рис. 74, соединив последовательно две лампочки. При включении тока по цепи проходит ток, и лампочки загораются. При этом все три амперметра, подсоединенные к цепи, будут показывать одинаковое значение. Следовательно, общая сила тока I , проходящего по цепи, равна силе тока I_1 и I_2 , проходящего по первой и второй лампочкам, т.е. $I_1 = I_2 = I$. Если в цепи будет последовательно соединено n лампочек, то сила тока, протекающего по ним, будет также одинаковой:

$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n. \quad (1)$$



При последовательном соединении потребителей сила тока, протекающего по ним, будет одинаковой.

Напряжение в цепи при последовательном соединении

При включении тока в электрической цепи, изображенной на рис. 75, первый вольтметр покажет напряжение 4 В, а второй и третий вольтметры – по 2 В. Лампочки будут гореть неярко. Общее напряжение в цепи будет равно сумме напряжений обеих последовательно соединенных лампочек, т.е. $U = U_1 + U_2$.

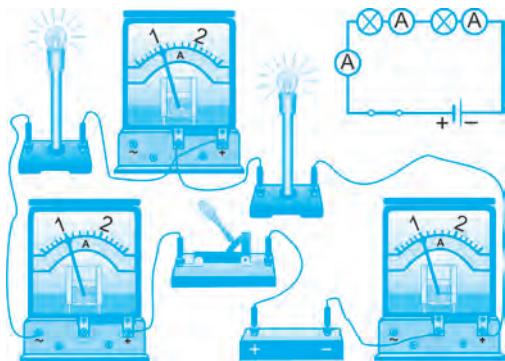


Рис. 74

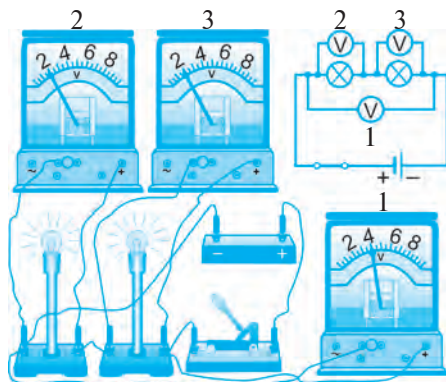


Рис. 75

Если в цепи последовательно соединены n лампочек, то общее напряжение в цепи будет равно:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n. \quad (2)$$



При последовательном соединении потребителей общее напряжение в цепи будет равно сумме напряжений всех потребителей, включенных в цепь.

Сопротивление при последовательном соединении

Согласно закону Ома, в электрической цепи, показанной на рис. 75, напряжение на первой лампочке равно $U_1 = IR_1$, на второй — $U_2 = IR_2$. Из этих выражений получим формулу общего напряжения в цепи:

$$U = U_1 + U_2 = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2). \quad (3)$$

Исходя из того, что общее сопротивление R лампочек в цепи равно силе проходящего по ним тока I , для общего напряжения U получаем:

$$U = IR. \quad (4)$$

Уравняем правые стороны уравнений (3) и (4): $IR = I(R_1 + R_2)$, отсюда определим общее сопротивление:

$$R = R_1 + R_2. \quad (5)$$

Если в цепи последовательно соединены n лампочек, то общее сопротивление проводников в цепи будет равно:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n. \quad (6)$$



При последовательном соединении потребителей общее сопротивление цепи равно сумме сопротивлений всех потребителей, включенных в цепь.

Примером последовательного соединения потребителей может служить гирлянда елочных лампочек. Если в такой гирлянде последовательно соединены $n = 75$ лампочек, рассчитанных на напряжение $U' = 3$ В каждая, то общее напряжение, прилагаемое к ним, должно быть приблизительно равно $U = nU' = 75 \cdot 3$ В = 225 В. Поэтому такую гирлянду можно прямо подключать к электрической сети 220 В. Если одна из лампочек в этой гирлянде перегорит или будет удалена, другие лампочки не загорятся, так как цепь в этом случае разомкнется.

Пример решения задачи

Три проводника с сопротивлениями 1; 2 и 3 Ом соответственно последовательно соединены и по ним проходит ток 1 А. Определите напряжение в каждом проводнике, а также общее сопротивление и напряжение в цепи.

<i>Дано:</i>	<i>Формула:</i>	<i>Решение:</i>
$R_1 = 1 \text{ Ом};$	$U_1 = IR_1;$	$U_1 = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ Ом} = 1 \text{ В};$
$R_2 = 2 \text{ Ом};$	$U_2 = IR_2;$	$U_2 = 1 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом} = 2 \text{ В};$
$R_3 = 3 \text{ Ом};$	$U_3 = IR_3;$	$U_3 = 1 \text{ А} \cdot 3 \text{ Ом} = 3 \text{ В};$
$I = 1 \text{ А}.$	$R = R_1 + R_2 + R_3;$	$R = 1 \text{ Ом} + 2 \text{ Ом} + 3 \text{ Ом} = 6 \text{ Ом};$
<i>Найти:</i>	$U = IR.$	$U = 1 \text{ А} \cdot 6 \text{ Ом} = 6 \text{ В}.$
$U_1-?$ $U_2-?$ $U_3-?$ $R-?$ $U-?$	<i>Ответ:</i> $U_1 = 1 \text{ В}, U_2 = 2 \text{ В}, U_3 = 3 \text{ В}, R = 6 \text{ Ом}, U = 6 \text{ В}.$	



1. Какова связь между общей силой тока в цепи из последовательно соединенных потребителей и силой тока, проходящего по каждому потребителю?
2. Какова связь между общим напряжением в цепи из последовательно соединенных потребителей и напряжением в каждом потребителе?
3. Как определяется общее сопротивление последовательно соединенных потребителей?



1. По двум последовательно соединенным лампочкам проходит ток 0,2 А. Определите напряжение в каждой лампочке, сопротивление и общее напряжение цепи, если сопротивление потребителей равно 5 и 10 Ом.
2. Две одинаковые лампочки, рассчитанные на напряжение 220 В, последовательно подсоединены к электрической сети напряжением 220 В. Под каким напряжением горит каждая лампочка?
3. Сопротивление последовательно соединенных потребителей составляет 4; 10 и 16 Ом соответственно, общее напряжение в цепи равно 6 В. Определите силу тока в потребителях и напряжение в каждом из них. Начертите схему электрической цепи.
4. Гирлянду последовательно соединенных елочных лампочек необходимо подсоединить к электрической сети напряжением 220 В. Сколько одинаковых лампочек надо последовательно соединить, чтобы напряжение в каждой лампочке не превышало 9 В? Какой величины ток проходит по гирлянде лампочек, если сопротивление спирали каждой лампочки равно 10 Ом? Каким будет общее сопротивление всех лампочек?
5. По двум последовательно соединенным электрическим лампочкам, включенным в сеть напряжением 220 В, проходит ток 0,5 А. Определите напряжение в каждой лампочке, если сопротивление первой лампочки в три раза больше, чем сопротивление второй.



Соберите сначала электрическую цепь, изображенную на рис. 55, а затем — показанную на рис. 74. Объясните, почему лампочки во второй цепи горят менее ярко. Вычислите сопротивление каждой лампочки и общее сопротивление обеих лампочек.

§ 21. ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Напряжение при параллельном соединении

В быту все электрические приборы — лампа, телевизор, холодильник и др. — подключаются к электрической сети одновременно. Если бы эти при-

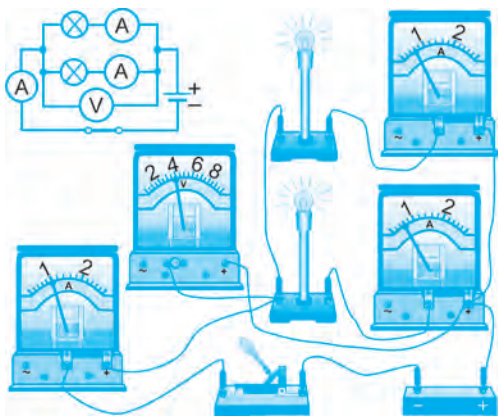


Рис. 76

боры соединялись последовательно, напряжение распределялось бы между ними. В этом случае лампы горели бы очень тускло, для изображения телевизора и охлаждения холодильника напряжения не хватило бы. Кроме того, при выключении одного из потребителей погасли бы и остальные. В связи с этим в быту все электрические приборы обычно соединяются параллельно друг другу.

Соберем электрическую цепь, показанную на рис. 76, где две лампочки соединяются параллельно друг другу. При этом обе лампочки

одинаково прикрепляются к двум амперметрам соответственно. Допустим, что вольтметр, параллельно соединенный с ними, показывает напряжение 4 В. Показания вольтметра отражают как напряжение в каждой лампочке, так и общее напряжение в цепи.

Следовательно, напряжение обеих параллельно соединенных лампочек одинаковое и равно общему напряжению в цепи, т. е. $U_1 = U_2 = U$.

Если в цепи будут параллельно соединены n лампочек, то напряжение в них будет равно

$$U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n. \quad (1)$$



При параллельном соединении потребителей напряжение на концах каждого потребителя одинаково.

Сила тока в цепи при параллельном соединении

Пусть при включении тока первый амперметр покажет $I_1 = 0,6$ А, а второй — $I_2 = 0,4$ А. В этом случае амперметр, находящийся в неразветвленной части цепи, покажет $I = 1$ А. Значит, сумма сил тока I_1 и I_2 , проходящего по параллельно соединенным первой и второй лампочкам, равна общей силе тока I , т. е. силе тока, протекающего по неразветвленной части цепи:

$$I = I_1 + I_2. \quad (2)$$

Если в цепи параллельно соединяются n лампочек, то сила общего тока в цепи будет выражаться формулой

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n. \quad (3)$$



При параллельном соединении потребителей общая сила тока в цепи равна сумме сил тока в каждой ветви.

Сопротивление при параллельном соединении

Согласно закону Ома, сила тока, протекающего по первой лампочке в цепи, показанной на рис. 76, равна $I_1 = \frac{U}{R_1}$, сила тока второй лампочки — $I_2 = \frac{U}{R_2}$, а общая сила тока — $I = \frac{U}{R}$. Здесь R_1 и R_2 — электрические сопротивления первой и второй лампочек, R — общее сопротивление обеих лампочек. Подставив эти три формулы в формулу (2), получим:

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} \quad \text{или} \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}. \quad (4)$$

Если в цепи параллельно соединяются n лампочек, то величина, обратная общему сопротивлению в цепи, будет равна:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots + \frac{1}{R_n}. \quad (5)$$



При параллельном соединении потребителей величина, обратная общему сопротивлению в цепи, равна сумме величин, обратных сопротивлению каждого проводника.

При решении задач или на практике часто встречаются случаи параллельного соединения только двух потребителей. В таких случаях вместо формулы (4) для общего сопротивления удобно пользоваться следующей:

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}. \quad (6)$$

Пример решения задачи

К электрической сети напряжением 220 В параллельно подсоединены лампочка, холодильник и телевизор. Определите общую силу тока, потребляемого от сети потребителями, сопротивление каждого потребителя и общее сопротивление потребителей, если по лампочке проходит ток 0,5 А, по холодильнику — 0,4 А, по телевизору — 1 А.

<i>Дано:</i>	<i>Формула:</i>	<i>Решение:</i>
$U = 220 \text{ В};$	$I = I_1 + I_2 + I_3;$	$I = 0,5 \text{ А} + 0,4 \text{ А} + 1 \text{ А} = 1,9 \text{ А};$
$I_1 = 0,5 \text{ А};$	$R_1 = \frac{U}{I_1}; \quad R_2 = \frac{U}{I_2};$	$R_1 = \frac{220 \text{ В}}{0,5 \text{ А}} = 440 \text{ Ом}; \quad R_2 = \frac{220 \text{ В}}{0,4 \text{ А}} = 550 \text{ Ом};$
$I_2 = 0,4 \text{ А};$	$R_3 = \frac{U}{I_3}; \quad R = \frac{U}{I}$	$R_3 = \frac{220 \text{ В}}{1 \text{ А}} = 220 \text{ Ом}; \quad R = \frac{220 \text{ В}}{1,9 \text{ А}} \approx 116 \text{ Ом}.$
$I_3 = 1 \text{ А}.$	<i>или</i>	
<hr/>	$R = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}.$	$R = \frac{440 \cdot 550 \cdot 220}{440 \cdot 550 + 440 \cdot 220 + 550 \cdot 220} \text{ Ом} \approx 116 \text{ Ом};$
<i>Найти:</i>		
$I - ? \quad R_1 - ?$		
$R_2 - ? \quad R_3 - ?$		
$R - ?$		

Ответ: $I = 1,9 \text{ А}, R_1 = 440 \text{ Ом}, R_2 = 550 \text{ Ом}, R_3 = 220 \text{ Ом}, R \approx 116 \text{ Ом}.$



1. Какова связь между напряжением в цепи при параллельном соединении потребителей и напряжением на концах каждого потребителя, включенного в цепь?
2. Какова связь между силой тока в параллельно соединенном потребителе и общим напряжением в цепи?
3. Какова связь между общим сопротивлением параллельно соединенных потребителей и сопротивлением каждого проводника?



1. Два потребителя с сопротивлениями 3 и 6 Ом соединены параллельно. Определите общее сопротивление участка цепи, включающего потребителей.
2. К электрической цепи подключены четыре лампочки с сопротивлением каждой, равным 110 Ом. Определите общее сопротивление участка цепи.
3. Три потребителя с сопротивлениями 10; 15 и 30 Ом соединены параллельно. Определите сопротивление участка цепи, включающего потребителей.
4. Две лампочки с сопротивлениями 40 и 80 Ом параллельно соединены друг с другом. Каким будет общее сопротивление на данном участке цепи? Найдите силу тока в каждой лампочке и общую силу тока в цепи, если напряжение в лампочках равно 8 В.
5. В жилище горят шесть лампочек, параллельно подсоединенных к сети напряжением 220 В. Сопротивление двух из них составляет по 200 Ом, следующих двух – по 400 Ом, последних двух – по 800 Ом. Вычислите общее сопротивление лампочек, силу тока, протекающего по каждой, и общую силу тока, потребляемого ими всеми от электрической сети.



Допустим, что в люстре гостиной вашего дома горят пять одинаковых лампочек, параллельно соединенных друг с другом. Вычислите силу тока, протекающего по каждой лампочке, сопротивление спирали одной лампочки и общее сопротивление всех лампочек в люстре, если через провод, соединенный с люстрой, проходит ток 4,5 А.

§ 22. ИЗУЧЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО И ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

(Лабораторная работа)

Оборудование: источник тока (аккумулятор), два никелиновых проводника в форме спирали, амперметр, вольтметр, ключ, соединительные провода.

Порядок выполнения работы

1. Последовательное соединение потребителей

1. Соберите цепь из источника тока, двух последовательно соединенных потребителей – никелиновых проводников в форме спирали и ключа. Начертите схему собранной цепи (рис. 77).

2. С помощью амперметра измерьте силу тока I в цепи.

3. С помощью вольтметра измерьте напряжения U_1 и U_2 на отдельных проводниках. Используя формулу $U = U_1 + U_2$, определите общее напряжение.

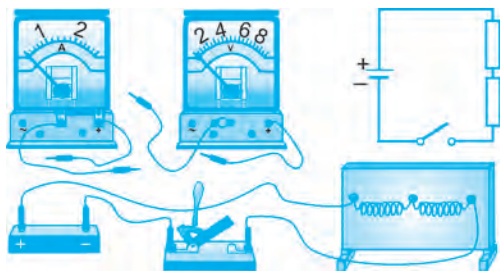


Рис. 77

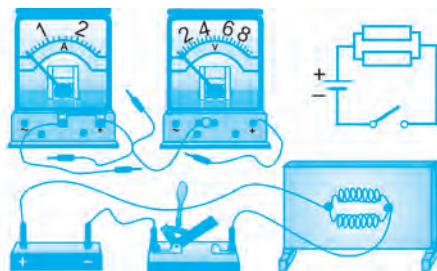


Рис. 78

4. Используя формулу $R = U/I$, рассчитайте общее сопротивление.
5. Пользуясь формулами $R_1 = U_1/I$ и $R_2 = U_2/I$, вычислите сопротивление каждого проводника.
6. С помощью формулы $R = R_1 + R_2$ вычислите общее сопротивление. Результаты запишите в таблицу.
7. Сравните значения общего сопротивления, полученные в пп. 4 и 6.
8. Проанализируйте результаты (табл. 5) и сделайте выводы.

Таблица 5

I	U_1	U_2	$U = U_1 + U_2$	$R = U/I$	$R_1 = U_1 / I$	$R_2 = U_2 / I$	$R = R_1 + R_2$

II. Параллельное соединение потребителей

1. Соберите цепь из источника тока, двух параллельно соединенных никелиновых проводников в форме спирали и ключа. Начертите схему собранной цепи. (рис. 78).
2. С помощью вольтметра измерьте напряжение U на концах проводников.
3. С помощью амперметра измерьте силы тока I_1 и I_2 , проходящего по отдельным проводникам. Найдите общую силу тока по формуле $I = I_1 + I_2$.
4. Используя формулу $R = U/I$, рассчитайте общее сопротивление.
5. Пользуясь формулами $R_1 = U/I_1$ и $R_2 = U/I_2$, вычислите сопротивление каждого проводника. С помощью формулы $R = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$ вычислите общее сопротивление. Результаты запишите в таблицу.
6. Сравните значения общего сопротивления, полученные в пп. 4 и 5.
7. Проанализируйте результаты (табл. 6) и сделайте выводы.

Таблица 6

U	I_1	I_2	$I = I_1 + I_2$	$R = U/I$	$R_1 = U/I_1$	$R_2 = U/I_2$	$R = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$



1. Какой вид имеет формула закона Ома для участка цепи?
2. Как вычисляются общее напряжение и общее сопротивление участка цепи при последовательном соединении потребителей?
3. Как вычисляются общая сила тока и общее сопротивление участка цепи при параллельном соединении потребителей?

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ II

- Упорядоченное движение заряженных частиц называется электрическим током.
- Для образования в проводнике электрического тока необходимо, чтобы в нем существовало электрическое поле.
- Постоянное равномерное течение заряженных частиц называется постоянным током. Источником постоянного тока называется источник, в котором имеются положительный и отрицательный полюса и образуется постоянный ток.
- В гальваническом элементе и аккумуляторе химическая энергия превращается в электрическую.
- Источник тока, проводник, потребитель и ключ составляют простейшую электрическую цепь.
- Электрический ток в металлах есть результат упорядоченного движения (потока) электронов.
- За направление тока в электрической цепи условно принято направление движения по проводнику положительно заряженных частиц от положительного полюса источника тока к отрицательному.
- Физическая величина, численно равная работе, выполняемой при прохождении заряда в 1 Кл по отдельному отрезку цепи, называется напряжением между концами этого отрезка цепи:
$$U = \frac{A}{q}.$$
- Электрическое напряжение измеряется с помощью вольтметра. Вольтметр включается в электрическую цепь параллельно потребителю, напряжение которого измеряется.
- Физическая величина, численно равная количеству электрического заряда, проходящего через поперечное сечение проводника в единицу времени, называется силой тока.
$$I = \frac{q}{t}.$$
- Сила тока в электрической цепи измеряется прибором, который называется амперметром. Амперметр включается в электрическую цепь потребления, сила тока которого измеряется, последовательно.
- Свойство проводника препятствовать протеканию тока в цепи называется электрическим сопротивлением и обозначается буквой R . Электрическое свойство вещества характеризуется величиной, называемой удельным сопротивлением:
$$R = \rho \frac{l}{S}.$$
- Закон Ома для одной части цепи: Сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению между его концами и обратно пропорциональна сопротивлению проводника:
$$I = \frac{U}{R}.$$

- Резистор — электрический прибор с определенным сопротивлением, используемый для регулирования тока в электрической цепи.
- Реостат — электрический прибор, используемый для регулирования, т.е. изменения силы тока и напряжения в электрической цепи.
- Потенциометр — электрический прибор, используемый для регулирования, т.е. изменения напряжения в электрической цепи.
- При последовательном соединении потребителей общее напряжение в цепи будет равно сумме напряжений всех потребителей, включенных в цепь: $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$.
- При параллельном соединении проводников величина, обратная общему сопротивлению цепи, равна сумме величин, обратных сопротивлениям каждого проводника: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$.

ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ ГЛАВЫ II

1. Почему при наличии электрического поля по проводнику проходит ток?
2. Как на электрической схеме условно обозначаются источник тока, ключ, лампочка, амперметр, вольтметр, резистор и потенциометр?
3. Начертите простейшую электрическую схему.
4. Начертите такую схему электрической цепи, чтобы каждая из двух лампочек, имеющихся в ней, включалась самостоятельно.
5. Сколько электронов проходит через поперечное сечение проводника за 1 нс при силе тока 32 мкА?
6. Через лампочку в электрической сети в течение какого-то времени прошел заряд в 10 Кл и выполнена работа в 50 Дж. Под каким напряжением горела лампочка?
7. Сотовый телефон подключен к источнику тока с напряжением 6 В. Какая работа совершается при прохождении через него в течение какого-то времени заряда, равного 200 Кл?
8. Переносный магнитофон подключен к источнику тока с напряжением 12 В. Какой заряд должен пройти через магнитофон, чтобы была выполнена работа 600 Дж?
9. Вольтметр, соединенный с лампочкой, показывает 8 В. Сколько электронов должно пройти через спираль лампочки, чтобы совершилась работа 40 Дж? Заряд одного электрона равен $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.
10. Известно, что через лампочку электрической сети за 10 мин проходит заряд, равный 90 Кл. Какую силу тока покажет амперметр в цепи?
11. Сила тока, протекающего по цепи с лампочкой, равна 0,5 А. Сколько кулонов пройдет через спираль лампочки за 1 мин? Вычислите число электронов, проходящих через лампочку за это время.
12. Сила тока, протекающего через лампочку электрической цепи, равна 0,5 А. За сколько времени через спираль лампочки пройдет заряд, равный 400 Кл?
13. Аккумулятор в течение 48 ч может давать ток силой 4 А. Какой электрический заряд может накопить этот аккумулятор?

14. Вычислите сопротивление железной проволоки длиной 1 м и сечением: а) 2 мм^2 ; б) 4 мм^2 ; в) $0,5 \text{ мм}^2$; г) $0,01 \text{ мм}^2$.
15. Во сколько раз изменится сопротивление проводника (без изоляции), если его свернуть пополам и скрутить?
16. На специальном станке проволоку протягивают так, что она становится длиннее и тоньше в два раза. Как изменится ее сопротивление в результате протягивания?
17. Рассчитайте сопротивление медного провода, длина которого 9 км, а площадь поперечного сечения 60 мм^2 .
18. Вычислите и сравните сопротивления алюминиевого и нихромового проводов, если каждый имеет длину 10 м и сечение $0,2 \text{ мм}^2$.
19. Найдите сопротивление алюминиевой проволоки длиной 50 м и площадью поперечного сечения 5 мм^2 .
20. Сопротивление медной проволоки с площадью поперечного сечения 1 мм^2 равно 20 Ом. Найдите длину провода.
21. Сопротивление проволоки длиной 4 м и площадью поперечного сечения $0,5 \text{ мм}^2$ равно 0,2 Ом. Из какого вещества изготовлена проволока?
22. Имеются два отрезка проволоки, изготовленные из одного и того же материала. Длина первого 10 м, площадь поперечного сечения $0,2 \text{ мм}^2$, длина второго — 1 м, площадь поперечного сечения — 1 мм^2 . Сопротивление какой проволоки больше и во сколько раз?
23. Обмотка реостата сопротивлением 84 Ом выполнена из никелиновой проволоки с площадью поперечного сечения 1 мм^2 . Какова длина проволоки?
24. Перед вами нихромовая и алюминиевая проволока. Длина и площадь поперечного сечения одинаковые. Во сколько раз сопротивление нихромовой проволоки больше сопротивления алюминиевой?
25. Хромелевая проволока какой длины потребуется для изготовления спирали, площадь поперечного сечения которой равна $0,3 \text{ мм}^2$, а сопротивление — 9 Ом?
26. Сопротивление спирали длиной 5 м, изготовленной из нихромовой проволоки, равно 2 Ом. Найдите площадь поперечного сечения проволоки.
27. Сколько метров никелиновой проволоки сечением $0,2 \text{ мм}^2$ потребовалось для изготовления ползункового реостата, имеющего сопротивление 30 Ом?
28. В одну и ту же сеть включают различные бытовые приборы: лампу, утюг и холодильник. Почему через эти приборы проходит неодинаковой силы ток?
29. В сеть с напряжением 220 В включены электрический чайник и лампа. Сопротивление спирали чайника 44 Ом, сопротивление нити накала лампы — 440 Ом. Чему равна сила тока в том и другом приборе?
30. Реостат изготовлен из никелиновой проволоки длиной 40 м и площадью поперечного сечения $0,5 \text{ мм}^2$. Напряжение на зажимах реостата равно 80 В. Чему равна сила тока, проходящего через реостат?
31. Электрическая лампа, сопротивление которой 440 Ом, горит полным накалом при силе тока 0,5 А. Чему равно напряжение на зажимах лампы?
32. Если к потребителю приложено напряжение 10 В, то сила тока в нем будет равна 0,5 А. Какое напряжение нужно приложить к проводнику, чтобы сила тока достигла 1 А?
33. Лампочка карманного фонаря под напряжением 6 В горит при силе тока 0,5 А. Каково сопротивление спирали лампочки?

34. Через лампочку, подключенную к электрической сети с напряжением 220 В, проходит ток 0,4 А. Определите сопротивление спирали лампочки.
35. Какое напряжение нужно приложить к концам проводника, чтобы пустить ток силой в 1 А через проводник с сопротивлением 220 Ом?
36. Какое напряжение надо приложить к концам медной проволоки с сопротивлением 3,4 Ом, чтобы возник ток в 2 А? Какова длина проволоки, если площадь ее поперечного сечения равна 0,25 мм²?
37. Напряжение на алюминиевой проволоке длиной 10 м и площадью поперечного сечения 0,25 мм² равно 10 В. Определите силу тока, проходящего по ней.
38. Напряжение на концах резистора равно 12 В. Каким должно быть его сопротивление, чтобы по нему прошел ток в 1 А?
39. Сопротивление резистора, подключенного к электрической цепи, равно 100 Ом. Ток какой силы пройдет через резистор, если напряжение на его концах составляет 10 В?
40. При подключении реостата, показанного на рис. 69, к напряжению 220 В и перемещении ползуна по стержню на расстояние 15 см от зажима 1 его сопротивление равно 55 Ом. На каком расстоянии от зажима 1 должен находиться ползун, чтобы по реостату прошел ток 0,5 А?
41. Ползун потенциометра, подключенного к сети с напряжением 220 В, находится на 2/5 части стержня. Каким будет напряжение, полученное в этом положении ползуна?
42. Можно ли включить в сеть с напряжением 220 В потенциометр, на котором написано: а) 30 Ом, 5 А; б) 2000 Ом, 0,2А?
43. На электрической схеме, изображенной на рис. 79, вольтметр показывает 9 В, амперметр — 0,5 А. Определите сопротивление спирали лампочки.
44. Найдите силу тока в стальной проволоке длиной 10 м и площадью поперечного сечения 2 мм², находящейся под напряжением 12 мВ.
45. На электроплитку с открытой спиралью поставили чайник с водой. При кипении часть воды вылилась на часть спирали. Как изменилась степень накаливания не залитой водой части спирали?
46. Каждая из двух ламп с сопротивлением по 220 Ом соединены последовательно и включены в сеть напряжением 220 В. Чему равна сила тока в каждой лампе?
47. Четыре одинаковые лампочки последовательно подключены к сети с напряжением 220 В. Под каким напряжением горит каждая лампочка?
48. Сопротивление последовательно соединенных потребителей 100; 200 и 400 Ом, общее напряжение в цепи равно 10 В. Определите силу тока в потребителях и напряжение в каждом из них. Начертите схему цепи.
49. По двум последовательно соединенным лампочкам проходит ток в 0,1 А. Определите напряжение каждой лампочки, сопротивление и общее напряжение цепи, если сопротивление проводников равно 25 и 40 Ом.
50. Сопротивление последовательно соединенных проводников составляет 10; 20; 40 и 50 Ом соответственно, общее напряжение в цепи равно 10 В. Определите силу тока в проводниках и напряжение в каждом из них. Начертите схему электрической цепи.

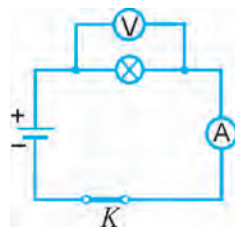


Рис. 79

51. Гирлянду последовательно соединенных елочных лампочек необходимо подсоединить к электрической сети с напряжением 220 В. Сколько одинаковых лампочек надо последовательно соединить, чтобы напряжение на каждой лампочке не превышало 12 В? Какой величины ток проходит по гирлянде лампочек, если сопротивление спирали каждой лампочки равно 15 Ом?
52. По двум последовательно соединенным электрическим лампочкам, включенным в сеть с напряжением 220 В, проходит ток 0,2 А. Определите напряжение в каждой лампочке, если сопротивление первой лампочки в четыре раза больше, чем сопротивление второй.
53. Для елочной гирлянды взяты лампочки, каждая из которых имеет сопротивление 20 Ом и потребляет ток 0,3 А. Сколько таких лампочек нужно соединить последовательно в гирлянду, чтобы ее можно было включить в сеть с напряжением 220 В?
54. Два проводника с сопротивлениями 5 и 20 Ом соединены параллельно и включены в цепь с напряжением 40 В. Чему равна сила тока в каждом проводнике?
55. Два потребителя с сопротивлениями 25 и 40 Ом соединены параллельно. Определите общее сопротивление участка цепи, включающего соединенные проводники.
56. К электрической цепи подключены три лампочки с сопротивлением в каждой 50 Ом. Определите общее сопротивление участка цепи.
57. Три потребителя с сопротивлениями 20, 40 и 60 Ом соединены параллельно. Определите сопротивление участка цепи, включающего потребителей.
58. Две лампочки с сопротивлениями 220 и 440 Ом параллельно соединены друг с другом. Каким будет общее сопротивление на данном участке цепи? Найдите силу тока в каждой лампочке и общую силу тока в цепи, если напряжение в лампочках равно 220 В.
59. Как изменится показание амперметра, если от схемы, приведенной на рис. 80, *а* перейти к схеме, показанной на рис. 80, *б*? Напряжение остается прежним.
60. Три одинаковые лампочки соединены по схеме, приведенной на рис. 81. Как будет изменяться накал каждой из ламп, если эти лампы выключать поочередно?
61. К цепи, показанной на рис. 81, подведено напряжение 90 В. Сопротивление лампы L_2 равно сопротивлению лампы L_1 , а сопротивление лампы L_3 в 4 раза больше сопротивления L_1 . Сила тока, потребляемая от источника, равна 0,5 А. Найдите сопротивление каждой лампы, напряжение в лампах L_2 и L_3 и силу тока в них.

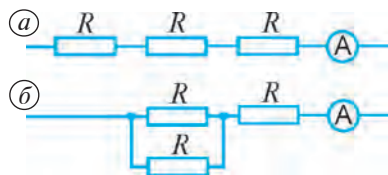


Рис. 80

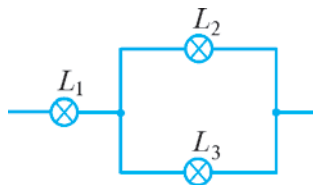


Рис. 81

ГЛАВА III

РАБОТА И МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

§ 23. РАБОТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Понятие о работе, выполняемой током

Известно, что электрическая цепь состоит из внутреннего и внешнего участков. На внутреннем участке цепи — в источнике тока, например в гальваническом элементе, химическая энергия превращается в электрическую.

На внешнем участке цепи, к которому подключен потребитель, электрическая энергия превращается в механическую, тепловую, световую и другие виды энергии. Например, в подключенном к цепи электродвигателе электрическая энергия превращается в механическую, а в лампочке — в тепловую и световую.

Превращение электрической энергии в энергию другого вида в потребителях происходит в результате работы, выполняемой током. Рассмотрим, от каких величин зависит работа тока.

Согласно определению напряжения, $U = \frac{A}{q}$. Отсюда находим выполненную работу

$$A = U q. \quad (1)$$

Из формулы силы тока $I = \frac{q}{t}$ следует, что $q = It$. Подставив это выражение в (1), найдем работу, выполненную током:

$$A = I U t. \quad (2)$$



Работа электрического тока, выполненная за определенное время, равна произведению силы тока на напряжение и время.

За единицу работы электрического тока принят **джоуль (Дж)**, или **ватт · секунда (Вт · с)**. $1 \text{ Дж} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ Вт} \cdot \text{с}$. О том, что такое ватт и единицей измерения какой величины он является, вы узнаете из следующего параграфа.



1 джоуль — это работа, выполненная током 1 А в течение 1 с на участке цепи напряжением 1 В.

Так как $\text{ватт} \cdot \text{с}$ очень маленькая единица, на практике вместо нее используется **ватт · час** ($\text{Вт} \cdot \text{ч}$). При этом $1 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ Вт} \cdot \text{с} = 3600 \text{ Дж}$. На практике широко применяются также производные единицы работы тока — **гектоватт · час** ($\text{гВт} \cdot \text{ч}$), **киловатт · час** ($\text{кВт} \cdot \text{ч}$) и **мегаватт · час** ($\text{МВт} \cdot \text{ч}$). При этом:

$$1 \text{ гВт} \cdot \text{ч} = 100 \text{ Вт} \cdot \text{ч}, \quad 1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 10 \text{ гВт} \cdot \text{ч}, \quad 1 \text{ МВт} \cdot \text{ч} = 1000000 \text{ Вт} \cdot \text{ч}.$$

Вычисление израсходованной электрической энергии



Рис. 82



Величина израсходованной электрической энергии численно равна работе, выполненной электрическим током.

Обозначив израсходованную энергию через W , получим выражение

$$W = IUt. \quad (3)$$

Работа электрического тока, т.е. потраченная на потребителя электрическая энергия, измеряется с помощью специального прибора — электрического счетчика (рис. 82).

Электрический счетчик подключается к цепи потребителя последовательно. Схема подключения счетчика к электрической цепи жилища показана на рис. 83.

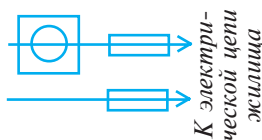


Рис. 83

Показания счетчика учитываются в $\text{кВт} \cdot \text{ч}$. Например, допустим, что счетчик с электродвигателем или электронный счетчик показывают расход электроэнергии $354,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$. Это — количество израсходованной энергии с момента установки электросчетчика.

Обычно плата за потребляемую электроэнергию осуществляется ежемесячно, поэтому необходимо знать, сколько электроэнергии израсходовано в течение месяца. Так, в начале месяца счетчик показывал $312,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$, а в конце месяца — $354,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$. В этом случае количество израсходованной энергии в месяц будет равно $354,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч} - 312,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 42,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

Тарифная стоимость $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ устанавливается государством. Умножив величину израсходованной за один месяц электроэнергии на тарифную стоимость $\text{кВт} \cdot \text{ч}$, можно определить сумму месячной оплаты электроэнергии.

Пример решения задач

Сила тока в цепи электродвигателя, подключенного к сети напряжением 220 В, равна 3 А. Какую работу выполняет двигатель в течение 1 ч, если его коэффициент полезного действия (КПД) составляет 80%?

<i>Дано:</i>	<i>Формула:</i>	<i>Решение:</i>
$I = 3 \text{ А};$ $U = 220 \text{ В};$ $t = 1 \text{ ч} = 3\,600 \text{ с};$ $\eta = 80\%.$	$A = IUt;$ $\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{общ}}} \cdot 100\%;$ $A_{\text{п}} = \frac{A \cdot \eta}{100\%}.$	$A = 3 \text{ А} \cdot 220 \text{ В} \cdot 3\,600 \text{ с} = 2\,376\,000 \text{ Дж};$ $A_{\text{п}} = \frac{2\,376\,000 \text{ Дж} \cdot 80\%}{100\%} =$ $= 1\,900\,800 \text{ Дж} \approx 1,9 \text{ МДж}.$
<hr/> <i>Найти</i> $A_{\text{п}} - ?$		

Ответ: $A_{\text{п}} \approx 1,9 \text{ МДж}.$



1. Как выражается работа электрического тока?
2. В каких единицах измеряется работа тока?
3. Изложите свои соображения по поводу израсходованной электроэнергии.
4. С помощью какого прибора и как измеряется электроэнергия?
5. Проанализируйте формулу (3), подумайте о том, что необходимо делать для экономии электроэнергии, и сделайте выводы.



1. По проводу, соединенному с электродвигателем, проходит ток 0,5 А, напряжение в нем – 20 В. Какую работу выполнит двигатель за 1 ч, если его КПД равен 80%?
2. Сколько электроэнергии будет израсходовано за 1 мин, если напряжение в лампочке карманного фонаря равно 4,5 В, а сила тока – 0,2 А?
3. Через раствор медного купороса в источнике тока проходит заряд 500 Кл. Какую работу выполнит ток, если напряжение на электродах 2 В?
4. Согласно показаниям счетчика, в жилище в течение месяца (30 дней) было израсходовано 33 кВт · ч электроэнергии. Ток какой величины протекал по цепи при включенных потребителях, если ежедневно они были включены в среднем по пять часов одновременно?



Вычислите с помощью вашего электросчетчика количество израсходованной за сутки электроэнергии и стоимость ее оплаты.

§ 24. МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Понятие о мощности тока

Электрические приборы отличаются друг от друга по мощности проходящего по ним тока. Например, мощность электрической лампочки отличается от мощности холодильника или телевизора. Даже сами лампы бывают различной мощности.

Мощность тока P находят путем деления работы тока A на время t , потраченное на выполнение этой работы, т.е.

$$P = \frac{A}{t}. \quad (1)$$

Известно, что работа, выполненная током за время t , равна $A = IUt$. Подставив это выражение в формулу (1), найдем следующее выражение мощности:

$$P = IU. \quad (2)$$



Мощность потребителя электричества равна произведению силы тока, проходящего по нему, и приложенного к нему напряжения.

За основную единицу мощности электрического тока принят **ватт (Вт)** в честь английского ученого **Джеймса Ватта** (1736–1819), который изобрел паровую машину.



Один ватт – это мощность тока силой 1 А на участке цепи напряжением 1 В.

На практике применяются также производные единицы мощности — **гектоватт (гВт)**, **киловатт (кВт)** и **мегаватт (МВт)**. При этом 1 гВт = 100 Вт, 1 кВт = 1000 Вт, 1 МВт = 1000000 Вт.

Мощность потребителей электричества

Как следует из формулы (2), для определения мощности тока у потребителей электричества необходимо знать силу тока и напряжение.

Обычно на электроприборах, являющихся потребителями тока, обозначается мощность, на которую они рассчитаны. Например, при покупке осветительных лампочек мы обращаем внимание на величину их мощности. В быту чаще всего используются лампочки мощностью 60; 100; 150; 200 Вт. Чем больше мощность лампочки, тем ярче она светит и тем больше электрической энергии расходует. Мощность различных электроприборов неодинакова (табл. 7).

Таблица 7

Мощность отдельных электроприборов

№	Электрический прибор	P , Вт	№	Электрический прибор	P , Вт
1	Электрические часы	0,1	5	Компьютер	40–200
2	Сотовый телефон	0,3–1	6	Телевизор	50–300
3	Карманный фонарь	1–3	7	Электрическая лампа	60–500
4	Перен. радиоприемник	2–10	8	Утюг	500–2000

Пример решения задачи

Две лампочки мощностью 100 и 200 Вт параллельно подключены к сети напряжением 220 В. Определите силу тока в каждой лампочке, общую силу тока в обеих лампочках, сопротивление каждой лампочки и общее сопротивление обеих лампочек.

<i>Дано:</i>	<i>Формула:</i>	<i>Решение:</i>
$P_1 = 100 \text{ Вт};$ $P_2 = 200 \text{ Вт};$ $U = 220 \text{ В}.$	$I_1 = \frac{P_1}{U}; \quad I_2 = \frac{P_2}{U};$ $I = I_1 + I_2; \quad R_1 = \frac{U}{I_1};$ $R_2 = \frac{U}{I_2}; \quad R = \frac{U}{I}.$	$I_1 = \frac{100 \text{ Вт}}{220 \text{ В}} \approx 0,45 \text{ А}; \quad I_2 = \frac{200 \text{ Вт}}{220 \text{ В}} \approx 0,91 \text{ А};$ $I = 0,45 \text{ А} + 0,91 \text{ А} = 1,36 \text{ А};$ $R_1 = \frac{220 \text{ В}}{0,45 \text{ А}} \approx 489 \text{ Ом}; \quad R_2 = \frac{220 \text{ В}}{0,91 \text{ А}} \approx 242 \text{ Ом};$ $R = \frac{220 \text{ В}}{1,36 \text{ А}} \approx 162 \text{ Ом}.$
<i>Найти:</i>		
$I_1 - ? \quad I_2 - ?$ $I - ? \quad R_1 - ?$ $R_2 - ? \quad R - ?$		

Ответ: $I_1 \approx 0,45 \text{ А}, \quad I_2 \approx 0,91 \text{ А}, \quad I \approx 1,36 \text{ А},$
 $R_1 \approx 489 \text{ Ом}, \quad R_2 \approx 242 \text{ Ом}, \quad R \approx 162 \text{ Ом}.$



1. Как выражается мощность электрического тока?
2. В каких единицах измеряется мощность тока?
3. Что вы знаете о мощности потребителей электричества?
4. Пользуясь формулой закона Ома и формулой (2), выведите выражение мощности тока с помощью силы тока и сопротивления, а также с помощью напряжения и сопротивления.



1. Найдите мощность двигателя, работающего при напряжении 220 В и силе тока 10 А.
2. Найдите мощность утюга, работающего при напряжении 220 В и силе тока 5 А.
3. В жилище одновременно работают две лампочки мощностью по 60 Вт и три лампочки – по 100 Вт, холодильник – 75 Вт, телевизор – 200 Вт, утюг – 1 кВт и электроплита мощностью 2 кВт, подключенные к сети 220 В. Ток какой величины проходит через электрический счетчик?
4. К сети напряжением 220 В параллельно подключены лампочки мощностью 60 и 100 Вт. Определите силу тока, проходящего через них.



Запишите мощность, указанную на электрической лампочке, рассчитанной на напряжение 220 В. Какой ток проходит по спирали лампочки при ее горении?

§ 25. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ТОКА И ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ В ЛАМПОЧКЕ

(Лабораторная работа для дополнительного занятия)

Оборудование: источник тока (аккумулятор), лампочка, амперметр, вольтметр, ключ, провода.

Порядок выполнения работы

1. Соберите цепь из источника тока, лампочки, амперметра, вольтметра и ключа (рис. 84).
2. Начертите схему собранной цепи.
3. Замкните цепь и нажмите на кнопку секундомера.
4. Определите показания амперметра и вольтметра и запишите в таблицу.

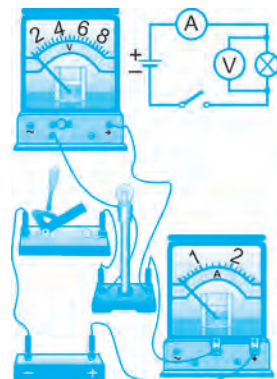


Рис. 84

5. Вычислите по формуле $P = IU$ мощность тока в лампочке и запишите в таблицу.

6. Разомкните цепь и, нажав в этот момент на кнопку секундомера, измерьте время t горения лампочки и запишите в таблицу.

7. Вычислите по формуле $W = IUt$ количество израсходованной энергии. Результат запишите в таблицу.

8. Повторите опыт три раза. Результаты запишите в таблицу.

9. Вычислите по формуле $P_{\text{ср}} = (P_1 + P_2 + P_3)/3$ среднюю мощность лампочки и сравните с мощностью, обозначенной на лампочке.

10. Проанализируйте результаты и сделайте выводы.

Таблица 8

№	I , А	U , В	P , Вт	$P_{\text{ср}}$, Вт	t , с	P , Вт·с
1						
2						
3						



1. Как выражается работа, выполняемая электрическим током?
2. Можно ли считать, что электрическая энергия, израсходованная потребителем, равна выполненной током работе?
3. Какие меры необходимы для того, чтобы уменьшить расход электроэнергии в жилище?

§ 26. НАГРЕВАНИЕ ПРОВОДНИКОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Количество теплоты, выделяемое проводником

Атомы металлов, потерявшие свои электроны и превратившиеся в ионы, находятся в состоянии непрерывного колебательного движения. При возникновении в металлическом проводнике электрического поля электроны стремятся направленно перемещаться в одну сторону. Однако, взаимодействуя на своем пути с ионами, они отдают им определенную часть энергии. В результате колебание ионов возрастает. Поэтому при прохождении тока электрическая энергия превращается во внутреннюю энергию проводника, и он нагревается.

Количество теплоты Q , выделяемое проводником, является величиной, характеризующей изменение внутренней энергии проводника.

Работа $A = IUt$, выполняемая электрическим током, равна количеству теплоты, выделяемой этим проводником. Согласно равенству $Q = A$, количество теплоты, выделяемое проводником при прохождении по нему тока, составляет:

$$Q = IUt.$$

(1)

Из равенства $U = IR$ вытекает следующее выражение количества теплоты, выделяемого проводником:

$$Q = I^2 R t. \quad (2)$$



Количество теплоты, выделяемое в результате нагревания проводника под воздействием электрического тока, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления проводника и времени прохождения тока по проводнику.

К такому выводу пришли на основе самостоятельно проведенных опытов английский ученый **Джеймс Прескотт Джоуль** (1818–1889) и русский ученый **Эмилий Христианович Ленц** (1804–1865). Поэтому этот закон получил название закона *Джоуля-Ленца*, а формула (2) – формулы *Джоуля-Ленца*.

Обычно количество теплоты, выделяемое при прохождении тока по проводнику, измеряют в *джоулях* (Дж), *килоджоулях* (кДж) и *мегаджоулях* (МДж).

Электрическая лампа накаливания

В быту для освещения используют в основном электрические лампы накаливания, которые светят за счет накаливания спирали при прохождении тока.

Основная часть лампы накаливания – это спираль, скрученная из тонкой вольфрамовой нити. Выбор вольфрамовой нити объясняется тем, что вольфрам при нагревании не плавится, так как имеет температуру плавления 3300°C и допускает накаливание до 3000°C .

Спираль из вольфрамовой нити помещается в стеклянную колбу. На открытом воздухе вольфрамовая нить окисляется и при нагревании обрывается, т.е. перегорает. Для предотвращения этого воздух в колбе выкачивают с помощью насоса и наполняют ее инертным газом – неонам, криптоном или аргоном. Инертные газы не допускают отрывания ионов вольфрама от нити и истончения вольфрама при накаливании.

Устройство лампы накаливания показано на рис. 85. Концы спирали *1* в колбе приварены к двум проволочкам, которые припаяны к частям цоколя *2*: одна припаяна к винтовой нарезке, а другая – к основанию *3* цоколя, изолированному от нарезки.

Для включения лампы накаливания в сеть ее ввертывают винтовым цоколем в патрон *4*. Пружинящийся контакт *5* во внутренней части патрона касается основания цоколя. К пружинящему контакту и винтовой нарезке прикрепляются провода от сети.

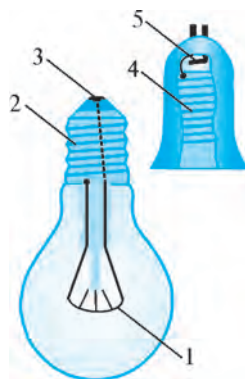


Рис. 85



Рис. 86



Рис. 87

Первую лампу накаливания изобрел в 1872 г. русский электротехник **Александр Николаевич Лодыгин** (1847–1923), а более усовершенствованную — в 1879 г. американский ученый **Томас Альва Эдисон** (1847–1931).

В быту применяют в основном лампы накаливания напряжением 220 В. Для карманных фонарей используют лампы 1,5; 3,0 и 4,5 В, для освещения автомобилей — 6 и 12 В, для освещения лифтов — 50 В. Различные виды ламп накаливания представлены на рис. 86.

Помимо ламп накаливания, в быту, на производстве, в бытовом обслуживании используют лампы с инертным газом. В таких лампах, заполненных инертными газами — аргоном, неоном, криптоном, — электрическое поле образуется с двух сторон. Под влиянием этого поля инертный газ ионизируется, и в результате притягивания ионов противоположного знака появляется свечение. Различные виды газонаполненных ламп приведены на рис. 87.

Поскольку в лампах накаливания большая часть электрической энергии превращается в теплоту, их коэффициент полезного действия небольшой. В лампах с инертным газом большая часть электрической энергии превращается в световую, и электрическая энергия расходуется меньше. Они не накаляются даже при длительном горении. Поэтому на предприятиях, в магазинах, на улицах, где освещение на ночь не выключается, используют чаще всего белые газонаполненные лампы. В последнее время такими лампами пользуются и для освещения жилья.

Коэффициент полезного действия потребителей электричества

Определенная часть общей работы $A_{\text{общ}}$ электрического тока расходуется на выполнение полезной $A_{\text{п}}$ работы.



Величина, измеряемая отношением полезной работы электрического тока к общей затраченной работе, называется коэффициентом полезного действия потребителя электричества и обозначается буквой η .

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{общ}}} \quad , \quad \text{или} \quad \eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{общ}}} \cdot 100\% \quad . \quad (3)$$

Коэффициент полезного действия (КПД) потребителя электричества описывается также через мощность:

$$\eta = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{общ}}} \quad , \quad \text{или} \quad \eta = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{общ}}} \cdot 100\% \quad , \quad (4)$$

где $P_{\text{общ}}$ – затраченная общая мощность, $P_{\text{п}}$ – полезная мощность.

Коэффициент полезного действия ламп накаливания невелик и составляет 4–6%. Это значит, что лишь 4–6% затраченной ею электроэнергии превращаются в световую энергию, а остальные 94–96% – в тепловую.

Пример решения задачи

По спирали с сопротивлением 40 Ом проходит ток 5 А. Какое количество теплоты выделяется спиралью в течение 1 ч?

Дано:
 $R = 40 \text{ Ом}; \quad I = 5 \text{ А};$
 $t = 1 \text{ ч} = 3600 \text{ с.}$

Формула:

$$Q = I^2 R t.$$

Решение:

$$Q = (5 \text{ А})^2 \cdot 40 \text{ Ом} \cdot 3600 \text{ с} =$$

$$= 3\,600\,000 \text{ Дж} = 3,6 \text{ МДж.}$$

Найти:

$$Q - ?$$

Ответ: $Q = 3,6 \text{ МДж.}$



1. Как выражается формула Джоуля-Ленца?
2. За счет чего освещает лампа накаливания?
3. Как определяется коэффициент полезного действия потребителей электричества?



1. По спирали с сопротивлением 50 Ом проходит ток 4 А. Какое количество теплоты выделится из спирали в течение 1 мин?
2. Какое количество теплоты выделяется в течение 1 ч из электрической плиты с сопротивлением 60 Ом, подключенной к сети напряжением 220 В?
3. К цепи источника тока последовательно присоединены медная и никелиновая проволоки с одинаковым поперечным сечением и длиной. Какая из проволок накалится сильнее?
4. По лампочке, подключенной к сети напряжением 220 В, проходит ток 0,9 А. 4% работы, выполненной током, превращается в световую энергию. Сколько световой энергии выделяется в лампочке в течение 1 ч?



Проанализируйте устройство бытовой электрической лампочки и ее патрона и изучите ее работу.

§ 27. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Электрические плиты

Принцип работы электронагревательных приборов основан на нагревании проводника при прохождении по нему электрического тока. В до-

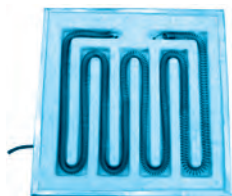


Рис. 88



Основную часть электрических нагревательных приборов составляет нагревательный элемент, который изготавливается из проводника с большим удельным сопротивлением, устойчивого к температуре 1000–1200°С.



Рис. 89

Чаще всего в качестве нагревательного элемента применяется нихромовая проволока. На рис. 88 изображен простейший электрический нагреватель — электроплита. В ней нагревательным элементом является спираль из нихромовой проволоки, уложенная в канавку керамической пластины. При прохождении тока по нихромовой проволоке она накаляется и нагревает помещение. На ней можно вскипятить чайник с водой. Такие плиты используются редко, так как представляют опасность при попадании на открытую спираль какого-нибудь горючего материала.



Рис. 90

В электроплитках, используемых в настоящее время, нагревательный элемент помещается между круглыми металлическими пластинами (рис. 89).

Электрические плиты, как и газовые, используют для приготовления пищи и кипячения воды (рис. 90).

Для обогрева помещений применяют разнообразные электронагревательные приборы. Один из таких приборов представлен на рис. 91. Он содержит два параллельно установленных нагревательных элемента, которые параллельно подключены к электрической сети. Нагревательный элемент представляет собой керамический стержень, на который намотана нихромовая проволока. Мощность каждого нагревательного элемента обычно равна 1 кВт.



Рис. 91

Нагревательные элементы электронагревательных приборов, накаляясь, иссушают воздух в помещении.

Поэтому для поддержания необходимой влажности на них ставят металлические сосуды с водой.

Для обогрева помещений используются также жидкостные электронагреватели (рис. 92, а), в которых нагревательный элемент нагревает непосредственно жидкость, а жидкость через тонкую металлическую обшивку отдает тепло в помещение.



Рис. 92

В последнее время для обогрева и охлаждения помещений используют современные кондиционеры (рис. 92, б).

Электрический утюг



Нагревательный элемент простейшего электрического утюга состоит из нихромовой спирали, на которую надеты керамические трубочки длиной 5–8 мм. Спираль с трубочками размещается в канавках металлической пластины.

При накаливании нагревательного элемента нагревается и тяжелая металлическая пластина с гладкой внешней поверхностью.

В случае поломки утюга, т.е. обрыва спирали, ее можно заменить точно такой же.

В настоящее время нагревательный элемент помещается внутри пластины (рис. 93). Такой утюг длительное время работает без поломок, однако поменять нагревательный элемент в случае поломки нельзя, так как вскрытие металлической пластины не предусмотрено.



Рис. 93

Электрический чайник

Внутри электрического чайника или самовара помещен водонагревательный элемент (рис. 94, а). Он состоит из тонкой нихромовой спирали и окружен не проводящим электрический ток, но хорошо проводящим тепло порошкообразным веществом. Поверхность этого вещества покрыта тонким слоем водонерастворимого материала. Водонагреватель должен работать только тогда, когда он погружен в воду. В случае подключения электрочайника или самовара (рис. 94, б) при отсутствии воды нагреватель тут же трескается и выходит из строя.



Рис. 94



Рис. 95



При подключении электрического чайника или самовара нужно убедиться в том, что в нем есть вода. Его нагреватель всегда должен быть погружен в воду.

В настоящее время широко используются различные виды электрических чайников (рис. 95), которые имеют сложное устройство, но удобны в употреблении.

Для кипячения воды часто применяют электрокипяtilьники (рис. 96). Отличие их от электрочайника и самовара состоит в том, что нагреватель чайника или самовара закреплен в нем самом, а кипяtilьник погружается в сосуд с водой.

Электрический паяльник



Рис. 96



Раскаленный конец электрического паяльника способен расплавить свинец, с помощью которого соединяют оборванные контакты в электроприборах.

Электросварка



Рис.97

При сварке металлов используется электрическая дуга, для получения которой берут два угольных стержня — электрода и соединяют их с проводами (рис. 98). Концы проводов, прикрепленных к электродам, подключаются к специальному источнику тока напряжением 30–60 В, способному давать ток силой 50–100 А.

При соединении концов электродов друг с другом и последующем разъединении между ними возникает искра в форме дуги. Температура электродуги достигает 10000°С. При такой температуре плавится даже самый тугоплавкий металл.

Электрод, используемый в электросварке, состоит из металлического провода, покрытого специальной смесью. Металлический зажим в руках сварщика

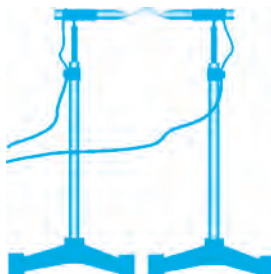


Рис. 98

подключается к одному полюсу (фазе) источника тока, а привариваемый металл с помощью провода соединяется со вторым полюсом (фазой) или заземляется. Захватив электрод металлическим зажимом, сварщик прикасается концом электрода к привариваемому металлу и сразу же отодвигает его. В этот момент на конце электрода возникает большая электрическая дуга (рис. 99).

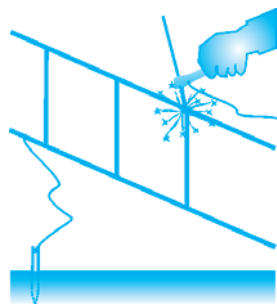


Рис. 99

Электрическая дуга расплавляет конец электрода и соответствующую часть металла, к которой прикоснулся электрод. В этот момент расплавляется смесь, покрывающая металлический провод, которая предохраняет свариваемую поверхность от окисления. Расплавленный электрод сваривает металл в определенном месте.



Электрическая дуга, возникающая при электросварке, такая яркая, что может ослепить. Смотреть на нее можно только сквозь защитные очки. Во время электросварки окружающим людям также не следует смотреть на электродугу.



1. Объясните устройство и работу электрической плиты.
2. Расскажите об устройстве и работе простейшего утюга.
3. Из каких элементов состоит электрочайник (электросамовар, кипятильник)?
4. В каких целях применяется электрический паяльник? Объясните, как он устроен и работает.
5. Как проводится электросварка?



1. Электрический обогреватель мощностью 2,2 кВт подключен к сети напряжением 220 В. Какой величины ток проходит по нему? Если одновременно с электрообогревателем включена электрическая лампа мощностью 100 Вт, во сколько раз больше электроэнергии расходуется в обогревателе, чем в лампе?
2. Спираль электроутюга изготовлена из нихромовой нити длиной 2 м и поперечным сечением $0,1 \text{ мм}^2$. Чему равна мощность утюга, если он рассчитан на напряжение 220 В?
3. Мощность электрического чайника, рассчитанного на напряжение 220 В, равна 500 Вт. Какой величины ток проходит по чайнику при подключении к сети и каково его электрическое сопротивление?
4. При электросварке напряжение между электродом и свариваемым металлом равно 60 В, и по электроду протекает ток 50 А. Определите мощность электросварочного аппарата.



Рассмотрите нагревательные элементы электрообогревателя и простейшего электроутюга. Разберите на части сломанный (вышедший из строя) электрокипятильник и проанализируйте его внутреннее устройство.

§ 28. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ЖИЛИЩА. КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ

Электрическая цепь жилища

Электрические цепи всех жилищ схожи друг с другом. Электрическая цепь любого жилища подключается к общей электрической сети напряжением 220 В параллельно другим жилищам (рис. 100).



Все потребители электричества в жилище соединяются параллельно.

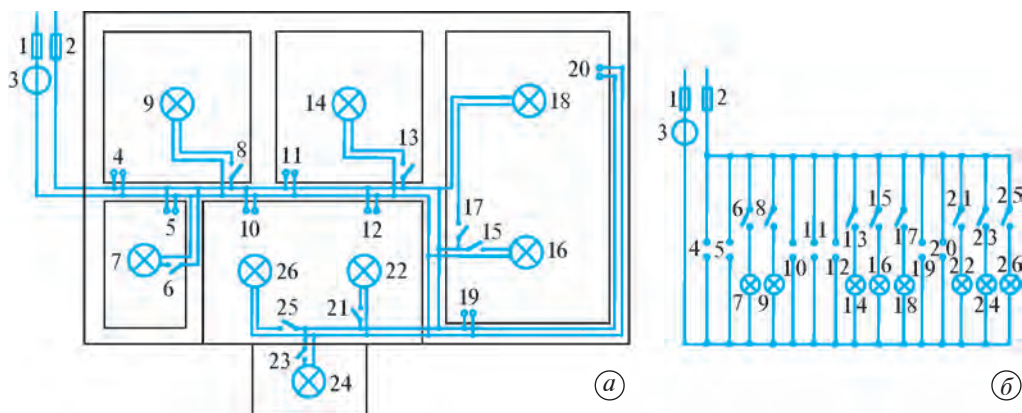


Рис. 100. План жилища со схемой электрической цепи (а) и вид цепи в отдельности (б).

Короткое замыкание

Провода электрической цепи рассчитываются на определенную максимальную силу тока. Если сила тока в цепи превысит допустимую величину, то провода могут нагреться, а покрывающий их изоляционный материал — расплавиться.

Предельная сила тока для проводов зависит от их поперечного сечения и материала (табл. 9).

При одновременном включении в жилище мощных потребителей тока, например, электрических плит, электрообогревателей, электрических чайников, утюга, сила тока в цепи резко увеличивается. В результате происходит сильный нагрев проводов, повреждающий их изоляцию, и короткое замыкание.



Соприкасание друг с другом оголенных участков электрических проводов, идущих от различных полюсов (фаз) источника тока, или резкое увеличение тока в результате стремления к нулю сопротивления потребителя называется коротким замыканием.

Таблица 9

Предельно допустимые величины силы тока для изолированных медных и алюминиевых проводов

№	S, мм ²	I, А		№	S, мм ²	I, А	
		медный	алюмин.			медный	алюмин.
1	0,5	4	3	5	4	20	15
2	1	6	4,5	6	10	31	25
3	1,5	10	7	7	16	43	35
4	2,5	15	11	8	25	75	60

Короткое замыкание может возникнуть при неправильном пользовании электрическими приборами, при внешнем повреждении изоляции проводов, по которым проходит ток. При коротком замыкании в месте соприкосновения проводов протекает очень большой ток. В момент замыкания возникает сильная искра, и провод плавится и обрывается (рис. 101).



Рис. 101

Допустим, например, что расстояние от места короткого замыкания до места соединения с электросетью равно 5 м, т.е. длина медного провода в цепи во время короткого замыкания равна 10 м, а ее поперечное сечение – 1 мм². Вычислим сопротивление проводника и величину тока, протекающего по нему:

$$R = \rho \frac{l}{S}; \quad R = 0,017 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot \frac{10 \text{ м}}{10^{-6} \text{ м}^2} = 0,17 \text{ Ом};$$

$$I = \frac{U}{R}; \quad I = \frac{220 \text{ В}}{0,17 \text{ Ом}} \approx 1300 \text{ А}.$$

При протекании по медному проводу с поперечным сечением 1 мм² тока такой величины в месте короткого замыкания возникает сильный разряд – электрическая дуга, провод плавится и обрывается. Это приводит к выходу из строя сети электроснабжения и появлению опасности возгорания.

Предохранители

Для обеспечения безопасности во время короткого замыкания в электрическую цепь жилища в месте ее подключения к общей электросети устанавливают предохранители. Они подсоединяются к обоим проводам, идущим к электрической цепи жилища.



Назначение предохранителей состоит в немедленном отключении цепи в случае, если ток в ней окажется больше допустимой нормы.

В радиоприемниках, телевизорах, магнитофонах, холодильниках и других электроприборах используются плавкие предохранители. В таких пре-

дохранителях тонкая проволока натянута по оси стеклянной трубки (рис. 102). На концах трубки имеются металлические наконечники, к которым приваривают концы проволоки. Трубка вставляется в специальный держатель.

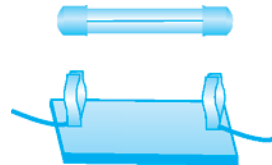


Рис. 102

В случае, если напряжение в цепи превышает 220 В или по электроприбору из-за каких-то неисправностей в нем протекает ток большой величины, тонкая проволока сразу обрывается. Это предохраняет электроприбор от поломки.



1. Почему потребители тока в жилище подключаются к цепи не последовательно, а параллельно?
2. Проанализируйте электрическую цепь жилища, показанную на рис. 100.
3. Что такое короткое замыкание? В каких случаях оно может произойти?
4. Объясните устройство и работу плавкого предохранителя.
5. Объясните устройство и принцип действия плавких предохранителей, применяемых в радиоприемниках, телевизорах, магнитофонах и других электроприборах.



1. Электрическая цепь жилища подключена к электрической сети напряжением 220 В посредством алюминиевого провода с площадью поперечного сечения $1,5 \text{ мм}^2$. Может ли алюминиевый провод с таким поперечным сечением выдержать силу тока, если в жилище будут одновременно включены в цепь три лампочки мощностью по 100 Вт, холодильник мощностью 100 Вт, телевизор мощностью 300 Вт и утюг мощностью 1 кВт?
2. В электрическую цепь жилища могут быть одновременно включены две лампочки мощностью по 100 Вт, две лампочки — по 150 Вт, холодильник мощностью 100 Вт, телевизор мощностью 300 Вт, утюг мощностью 1 кВт и электроплита мощностью 2 кВт. Какая минимальная площадь поперечного сечения должна быть у медного провода, соединяющего электрическую цепь жилища с сетью, чтобы он выдержал силу тока, проходящего по всем электроприборам?
3. На плавком предохранителе, вставленном в телевизор мощностью 400 Вт, рассчитанный на напряжение 220 В, есть надпись «2 А». Временами напряжение в сети превышает 220 В. При каком напряжении в сети плавкий предохранитель расплавится?



Начертите схему электрической цепи вашего жилища, как на рис. 100. Проанализируйте ее и сделайте выводы.

§ 29. СОЕДИНЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ЖИЛИЩА

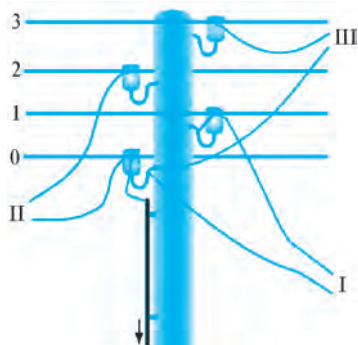
Подключение электрической цепи жилища к сети

На уличных электрических столбах имеется как минимум два провода, один из которых является нейтральным. В нейтральном проводе напряжение отсутствует, он, как правило заземлен.



Самый нижний провод электрического столба является нейтральным.

Допустим, на столбе имеется четыре провода, один из которых нейтральный (рис. 103). Напряжение между нейтральным проводом (0) и остальными тремя (1–3) равно 220 В. Если к одному столбу подключены электрические цепи трех жилищ (I–III), то один из проводов от каждого жилища подсоединяется к нейтральному (0) проводу столба, а второй – к одному из трех проводов столба. При таком подключении напряжение в сети каждой квартиры будет равно 220 В. В случае же подключения сети квартиры к первому и второму, ко второму и третьему или к первому и третьему проводам столба все электроприборы, включенные в сеть, тут же выйдут из строя, так как напряжение между проводами столба составит 380 В.



Заземление

Рис. 103

Определение наличия напряжения

Для определения наличия электрического напряжения в проводнике и электрических приборах, выявления среди проводников нейтрального используют различные инструменты. Простейшим из них является отвертка-индикатор (рис. 104).

По внешнему виду она напоминает простую отвертку. Посередине отвертки-индикатора помещена неоновая лампочка (1) напряжением 0,5–1 В. Одной стороной лампочка соединяется с наконечником отвертки-индикатора (2), а другой – с концом рукоятки (3).

Чтобы определить наличие напряжения в проводнике, нужно положить указательный палец на конец рукоятки и прикоснуться наконечником отвертки-индикатора к проводнику. При наличии в проводнике напряжения лампочка загорается. При этом одну часть напряжения она получает от проводника, а другую – от человека через его палец. У человека напряжение составляет несколько вольт, но и этого количества достаточно, чтобы загорелась лампочка напряжением 0,5–1 В.

Если напряжение в проводнике отсутствует, лампочка отвертки-индикатора не загорается.

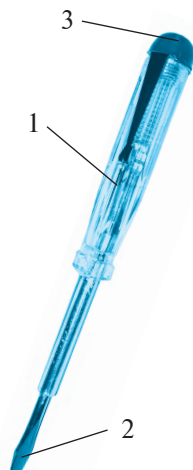


Рис. 104

Установка вилки и розетки

Один из проводов, идущих от уличного столба к электрической цепи жилища, является нейтральным, а второй находится под напряжением.

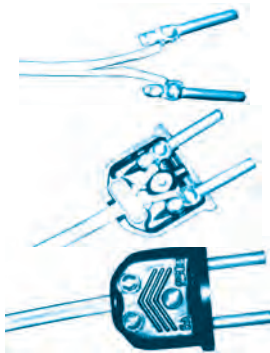


Рис. 105

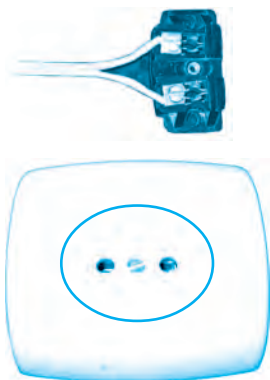


Рис. 106



Рис. 107

Напряжение между этими проводами равно 220 В. Оба провода во всех частях жилища располагаются рядом, параллельно друг другу (рис. 100), и нигде не должны соприкасаться.

Все электрические приборы в жилище одним проводом должны соединяться с нейтральным проводом, а другим — с проводом, который находится под напряжением. Электрические приборы подключаются к цепи не напрямую, а с помощью вилки и розетки. Каждый электрический прибор снабжен шнуром, внутри которого имеются два изолированных друг от друга провода. Конец шнура соединяется с вилкой. Чаще всего вилка и шнур бывают нераздельными (литыми), иногда вилка прикрепляется к шнуру с помощью винтов (рис. 105). Для этого концы каждого провода шнура очищаются от изоляции на 10–15 см, затем изолированные концы загибаются в кольцо и с помощью винтов прикрепляются к вилке.

Концы загнутых в кольцо проводов по возможности должны быть припаяны паяльником.

Для подсоединения розетки к электрической цепи последняя должна быть отключена от сети путем снятия обоих предохранителей. Розетка устанавливается только при условии отсутствия напряжения в электрической цепи. Чтобы установить розетку, концы проводов очищают от изоляции и загибают в форме кольца, винты вставляют в кольца и привинчивают к розетке (рис. 106). Розетка, соединенная с проводами, закрепляется в определенном месте.

В некоторых случаях электроприборы соединяются с розеткой через удлинитель. Один конец удлинителя снабжен вилкой, а другой выполняет функцию розетки. Второй конец удлинителя может иметь не одну, а несколько розеток (рис. 107).

Подключение патрона и выключателя

Для соединения частей патрона концы обоих проводов очищают от изоляции. Часть 1 патрона поворачивают и отделяют от части 2 (рис. 108). Концы провода прикрепляют винтами к части 3 патрона, кото-

рую затем устанавливают на место, и закручивают части 1 и 2.

При соединении вилки, розетки и патрона можно не обращать внимания на наличие напряжения в проводнике, однако это следует учитывать при установке выключателя.

Выключатель используется, в основном, для включения и выключения электрических ламп (рис. 109). Его можно соединять как с проводом под напряжением, так и с нейтральным проводом. Однако целесообразнее соединять выключатель с проводом под напряжением, идущим к лампе.

При установке выключателя прежде всего необходимо отключить электрическую цепь жилища от общей сети, сняв оба предохранителя. Затем перерезается провод под напряжением, идущий к лампочке. Оба конца перерезанного провода очищаются от изоляции и шурупами прикрепляются к соответствующим местам выключателя. После этого выключатель устанавливается в стену.

При подключении вилки, розетки и патрона участки обоих проводов, очищенные от изоляции, не должны соприкасаться. В противном случае произойдет короткое замыкание. При выполнении указанных работ требуется соблюдать правила безопасности.

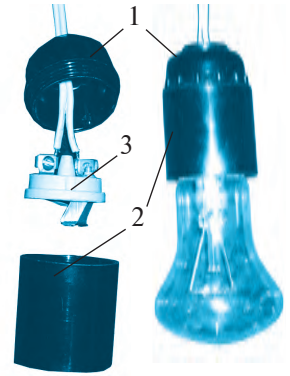


Рис. 108

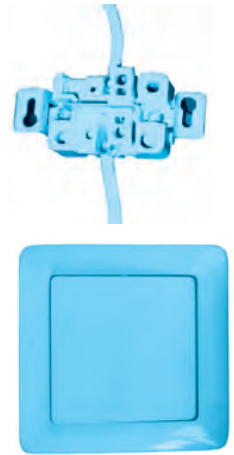


Рис. 109



1. Каким образом электрическая цепь жилища соединяется с проводами уличного электрического столба?
2. Как подсоединяется вилка к шнуру электроприборов?
3. Объясните процесс подключения розетки к электрической цепи жилища.
4. Как проводится соединение патрона электрической лампочки?
5. С какой целью устанавливается выключатель? Объясните, как он подключается к цепи.



Возьмите электрические провода, вилку, розетку, патрон и выключатель и поупражняйтесь в соединении их с проводами, не подключаясь к электрической цепи.

§ 30. МЕРЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

Нас окружает очень разветвленная электрическая сеть. В повседневной жизни мы постоянно имеем дело с электрическими приборами. Не соблюдая осторожность при пользовании электроприборами, особенно прибо-

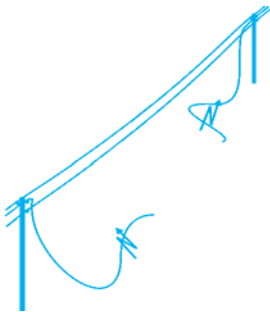


Рис. 110

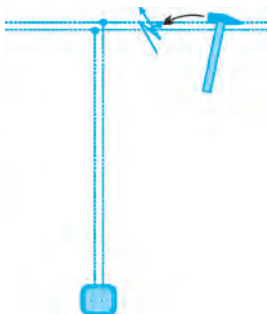


Рис. 111

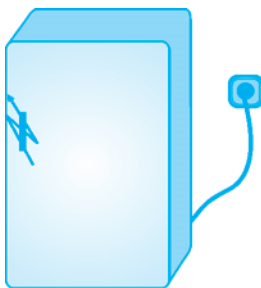


Рис. 112

рами, имеющими неисправность, мы подвергаем свою жизнь серьезной опасности.



Тело человека хорошо пропускает электрический ток. Электрическая сеть под напряжением свыше 42 В представляет опасность для человека.

Мы знаем, что напряжение электрической сети, к которой подключается электрическая цепь жилища, равно 220 В. Если по неосторожности взяться за провод под напряжением, то по телу человека пройдет ток. Такое состояние обычно называют ударом тока. Если человека, которого ударило током, не отделить от провода, он может погибнуть.

В каких случаях человека может ударить током? Какие меры безопасности следует соблюдать, чтобы избежать удара током?

1. Провода электрической сети, находящиеся на улице, не изолируются. Нередки случаи, когда один из проводов электросети обрывается и падает на землю. Человека, взявшего в руки такой провод, ударяет током (рис. 110), который переходит по его телу в землю.



Нельзя брать в руки провод уличной электрической сети, лежащий на земле. Будьте осторожны и предупредите об этом других.

2. Провода электрической сети жилища обычно располагаются под штукатуркой. При забивании в стену гвоздя можно повредить изоляцию и задеть провод. В этом случае человека ударяет током (рис. 111).



Перед забиванием гвоздя в стену необходимо убедиться в том, что в этом месте не проходит электрический провод.

3. В некоторых случаях из-за неисправности электрического прибора один из его проводов, по которому проходит ток, соприкасается с корпусом. Человек, притронувшийся к металлической части такого прибора, также может получить удар током (рис. 112).



Специальный зажим, находящийся на задней стороне неподвижно стоящего электроприбора, например, телевизора или холодильника, должен быть заземлен с помощью провода.

При заземлении корпуса электроприбора ток, проходящий по проводу, касающемуся корпуса, переходит в землю. В этом случае перегорает предохранитель, и поступление тока прекращается. Прибор может быть включен в цепь только после устранения неисправности и замены предохранителя.

4. Все розетки и электрические лампочки в жилище всегда находятся под напряжением (рис. 113).



Рис. 113

Очень опасно засовывать в отверстия розеток и в пустые патроны какие-либо металлические предметы (гвозди, проволоку, ножницы и др.), так как ток, идущий по этим предметам, может ударить человека.

Розетки следует устанавливать на значительном удалении от пола, чтобы до них не могли дотянуться маленькие дети. В семьях, где есть маленькие дети, розетки целесообразно закрывать специальными пластмассовыми приспособлениями.

5. Когда в общей электросети выключен ток, некоторые люди пытаются исправить поврежденное место в электрической цепи жилища. В таких случаях внезапная подача тока в сеть может привести к тому, что человека ударит током (рис. 114).

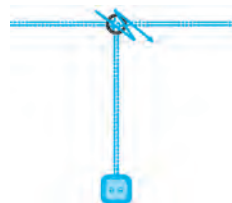


Рис. 114

Нередко ток может быть только в одной фазе общей электросети. Обнаружив, что лампочка не горит, некоторые люди пытаются устранить неисправность, притрагиваясь к оголенному месту провода. При наличии тока в одной фазе провода, если он не изолирован от земли, человека ударяет током.

При исправлении поврежденного места в электрической цепи жилища необходимо вывинтить из патронов оба предохранителя, независимо от наличия или отсутствия в сети электрического тока.

В случаях, когда человек изолирован от земли, т.е. под его ноги положен токонепроводящий материал и никакая часть его тела не касается земли, его не ударит током, если его тело касается провода, подключенного к фазе с током.

Оказание первой помощи при ударе электрическим током

В тот момент, когда по телу человека, по неосторожности взявшегося за провод, проходит электрический ток, он не в состоянии спасти себя сам.

Это объясняется тем, что, во-первых, под воздействием тока мышцы кисти руки самопроизвольно сжимаются и не могут отпустить провод, по которому течет ток. Во-вторых, при прохождении тока по телу человека его мышцы сводит судорогой, и они перестают его слушаться. В-третьих, ток поражает центральную нервную систему человека, и он теряет сознание.



Чем больше времени человек находится под воздействием электрического тока, тем труднее спасти его жизнь. Поэтому в первую очередь необходимо освободить его от воздействия тока.

Если несчастье произошло в жилище, нужно немедленно вынуть из розетки провод, касающийся потерпевшего. Если же провод напрямую соединен с электрической цепью жилища, необходимо быстро вынуть из патрона предохранителя, находящиеся под счетчиком, или нажать на их кнопки. Это позволит разомкнуть цепь жилища. Если несчастье произошло из-за обрыва провода уличной электрической сети, необходимо отодвинуть провод от потерпевшего с помощью сухой деревянной палки. В случае, когда провод с током сжат в руке потерпевшего, надо перерезать провод плоскогубцами с изолированной рукояткой, топором с сухим деревянным топорщиком или другим изолированным остrokонечным предметом. Освободив потерпевшего от воздействия тока, его необходимо немедленно уложить навзничь и расстегнуть пуговицы на одежде, мешающей ему дышать. При задержке дыхания нужно сделать искусственное дыхание. Одновременно с этим следует вызвать скорую медицинскую помощь или отвезти потерпевшего в ближайшее медицинское учреждение.



1. Какое напряжение считается опасным для человека?
2. Что необходимо предпринять, если на улице лежит оборванный провод электросети?
3. На что нужно обратить внимание перед тем, как забивать гвоздь в стену?
4. Что надо делать, чтобы предупредить удар током, если электрический провод внутри электроприбора касается его корпуса?
5. Почему опасно засовывать металлические предметы в отверстия розетки и в патроны?
6. Что необходимо предпринять перед тем, как приступать к устранению неисправности в электрической цепи жилища?



1. Среднее сопротивление тела человека составляет приблизительно 10 кОм. Какой величины ток пройдет по телу человека, если он, стоя на влажном месте, случайно схватит оголенный провод напряжением 220 В? А если он держит провод под напряжением 42 В, являющимся предельным для безопасности организма?
2. Применив условие задачи 1, вычислите мощность тока в теле человека, держащего оголенный провод под напряжением 220 В и держащего провод под напряжением 42 В.
3. Человек, не снимая обуви, забрался на подоконник и взял в руки оголенный провод под напряжением 220 В, чтобы устранить его неисправность. Чему будет равно напряжение, действующее на человека, если сопротивление между подоконником и влажной землей равно 80 кОм, сопротивление подошвы обуви – 20 кОм, а сопротивление тела человека – 10 кОм?

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ III

- Работа электрического тока, выполненная за определенное время, равна произведению силы тока на напряжение и время: $A = IUt$.
- Величина израсходованной электрической энергии численно равна работе, выполненной электрическим током: $W = IUt$.
- Мощность потребителя электричества равна произведению силы тока, проходящего по нему, и приложенного к нему напряжения: $P = IU$.
- Количество теплоты, выделяемое в результате нагревания проводника под воздействием электрического тока, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления проводника и времени прохождения тока по проводнику: $Q = I^2Rt$.
- Основную часть электрических нагревательных приборов составляет нагревательный элемент, который изготавливается из проводника с большим удельным сопротивлением, устойчивого к температуре 1000—1200°C.
- Соприкасание оголенных участков электрических проводов, идущих от различных полюсов (фаз) источника тока, или резкое увеличение тока в результате стремления к нулю сопротивления потребителя называется коротким замыканием.
- Назначение предохранителей состоит в немедленном отключении цепи в случае, если ток в ней окажется больше допустимой нормы.
- Самый нижний провод электрического столба является нейтральным.
- Тело человека хорошо пропускает электрический ток. Электрическая сеть под напряжением свыше 42 В представляет опасность для человека.
- Нельзя брать в руки оборвавшийся провод уличной электрической сети, лежащий на земле. Будьте осторожны и предупредите об этом других.
- Перед забиванием гвоздя в стену необходимо убедиться в том, что в этом месте не проходит электрический провод.
- Специальный зажим, находящийся на задней стороне электроприбора, например, телевизора, должен быть заземлен с помощью провода.
- Очень опасно засовывать в отверстия розеток и в пустые патроны какие-либо металлические предметы (гвозди, проволоку, ножницы и др.), так как ток, идущий по этим предметам, может ударить человека.
- При исправлении поврежденной электрической цепи необходимо вывинтить из патронов оба предохранителя независимо от наличия или отсутствия в сети электрического тока.
- В тот момент, когда по телу человека, по неосторожности взявшегося за провод, проходит электрический ток, он не в состоянии спасти себя сам.
- Чем больше времени человек находится под воздействием электрического тока, тем труднее спасти его жизнь. Поэтому в первую очередь необходимо освободить его от воздействия тока.

ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ ГЛАВЫ III

1. Чему равна работа, совершенная за 10 мин электрическим током, проходящим через лампу, если сила тока в цепи 0,5 А, напряжение в лампе — 220 В?
2. Определите мощность тока в электрической лампе, которая при напряжении 220 В потребляет ток 0,25 А.
3. Электродвигатель с сопротивлением 20 Ом включают в сеть с напряжением 220 В. Определите работу тока в электродвигателе за 8 ч.
4. Найдите мощность двигателя, работающего при напряжении 220 В и силе тока 5 А.
5. Найдите мощность утюга, работающего при напряжении 220 В и силе тока 4 А.
6. В жилище одновременно работают две лампочки мощностью по 100 Вт и три лампочки — по 200 Вт, холодильник — 50 Вт, телевизор — 150 Вт, утюг — 0,5 кВт и электроплита мощностью 1 кВт, подключенные к сети с напряжением 220 В. Ток какой величины проходит через электрический счетчик?
7. К сети напряжением 220 В подключены лампочки мощностью 100 и 200 Вт. Определите силу тока, проходящего через них.
8. Две электрические лампы мощностью 100 и 25 Вт параллельно включены под напряжение 220 В. Определите силу тока в каждой лампе. В какой лампе сопротивление нити накала больше?
9. Определите стоимость работы тока в течение 1 ч в следующих бытовых электрических приборах: а) в утюге мощностью 300 Вт; б) в лампе мощностью 60 Вт; в) в телевизоре мощностью 220 Вт. Стоимость 1 кВт·ч примите равной 60 сум.
10. Почему спираль электрической плитки нагревается сильнее в месте, где она тоньше?
11. По спирали с сопротивлением 100 Ом проходит ток в 10 А. Какое количество теплоты выделит спираль в течение 1 мин?
12. Какое количество теплоты выделяется в течение 1 ч из электрической плиты с сопротивлением 20 Ом, подключенной к сети с напряжением 220 В?
13. К цепи источника тока последовательно присоединены алюминиевая и хромелевая проволоки с одинаковыми поперечными сечениями и длиной. Какая из проволок накалится сильнее?
14. Электрический обогреватель мощностью 4,4 кВт подключен к сети с напряжением 220 В. Какой величины ток проходит по нему? Если одновременно с электрообогревателем включена электрическая лампа мощностью 200 Вт, во сколько раз больше электроэнергии расходуется в обогревателе, чем в лампе?
15. Спираль электроутюга изготовлена из хромелевой нити длиной 2,5 м и площадью поперечного сечения 0,2 мм². Чему равна мощность утюга, если он рассчитан на напряжение 220 В?
16. Мощность электрического чайника, рассчитанного на напряжение 220 В, равна 1 кВт. Какой величины ток проходит по чайнику при подключении к сети и каково его электрическое сопротивление?
17. При электросварке напряжение между электродом и свариваемым металлом равно 100 В, и по электроду протекает ток 40 А. Определите мощность электросварочного аппарата.

ГЛАВА IV

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

§ 31. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ЖИДКОСТЯХ

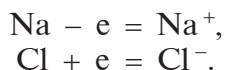
Ионная связь

Из курса химии известно, что атомы и молекулы вещества связываются между собой посредством трех видов связи: металлической, ковалентной и ионной.

В качестве примера ионной связи можно привести поваренную соль — хлорид натрия (NaCl). Атом натрия (Na) имеет 11 электронов, один из которых находится на внешней оболочке. Атом хлора (Cl) имеет 17 электронов, на внешней оболочке вращаются семь электронов (рис. 115, а).

Любой отдельно взятый атом всех элементов Периодической системы является электронейтральным, так как число отрицательно заряженных электронов, вращающихся вокруг ядра атома, равно числу положительно заряженных протонов в ядре. Точно так же электронейтральны отдельно взятые атомы натрия (Na) и хлора (Cl).

Для заполнения внешней электронной оболочки атома хлора недостает одного электрона. При приближении атомов натрия и хлора друг к другу происходит обмен электронами. Атом хлора притягивает один электрон из внешней оболочки атома натрия (115, б), в результате чего атом хлора превращается в отрицательно заряженный ион хлора (Cl^-), а атом натрия — в положительно заряженный ион натрия (Na^+). Этот процесс можно выразить в виде следующих равенств:



Разноименно заряженные ионы натрия и хлора притягиваются друг к другу кулоновской силой и образуют кристаллическую решетку NaCl (рис. 116).

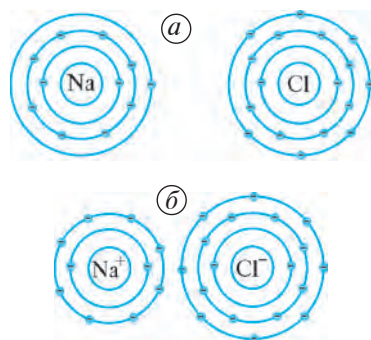


Рис. 115

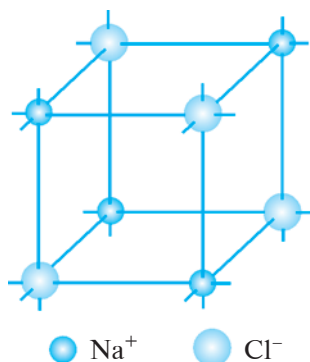


Рис. 116



Химическая связь, возникающая между ионами вследствие кулоновской силы притяжения, называется *ионной связью*.

Электролиты

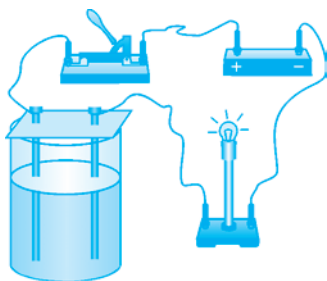


Рис. 117

Некоторые жидкости могут проводить электрический ток, другие же этим свойством не обладают. Электропроводимость жидкостей можно определить с помощью простейшего прибора, изображенного на рис. 117. Этот прибор состоит из стеклянного сосуда и опущенных в него двух угольных стержней — электродов. Один из электродов через включатель подсоединен к одному полюсу источника тока, а другой — через лампочку ко второму полюсу. Электрод, соединенный с положительным полюсом источника электричества, называется *анодом*, а соединенный с отрицательным полюсом — *катодом*.

Нальем в сосуд с электродами дистиллированную воду и включим ток. При этом лампочка не загорится. Значит, дистиллированная вода не проводит электрический ток.

Добавим к дистиллированной воде поваренную соль и образуем раствор хлорида натрия. Теперь включим ток и увидим, что лампочка загорелась. Следовательно, раствор хлорида натрия пропускает электрический ток. В чем причина?

При растворении поваренной соли в воде поляризованные молекулы воды притягивают к себе ионы Na^+ и Cl^- , расположенные в узлах кристаллической решетки хлорида натрия. В результате кристаллическая решетка NaCl разрушается и образуются ионы Na^+ и Cl^- , которые беспорядочно и свободно двигаются в воде (рис. 118 а). При включении тока ионы Na^+ начинают перемещаться в сторону катода, а ионы Cl^- — в сторону анода (рис. 118, б). В результате по цепи проходит ток.

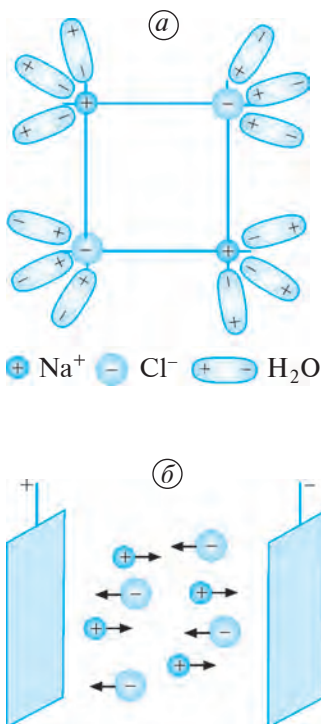


Рис. 118



Процесс распада веществ в растворах на положительные и отрицательные ионы называется *диссоциацией*.

Таким образом, есть вещества, которые пропускают электрический ток только в растворенном состоянии.



Вещества, которые в жидкости распадаются на ионы и вследствие этого проводят электрический ток, называются электролитами.

Чем больше в электролите ионов, тем лучше он проводит электрический ток. При растворении NaCl в воде он полностью распадается на ионы Na^+ и Cl^- , поэтому водный раствор хлорида натрия считается хорошим электролитом. Электролитами являются также водные растворы других солей, щелочей и кислот.



1. Что такое ион? Чем он отличается от атома?
2. Какая связь называется ионной? Объясните ее на примере хлорида натрия.
3. Объясните опыт, изображенный на рис. 117.
4. Как под воздействием молекул воды хлорид натрия распадается на ионы?
5. Какие вещества называются электролитами?

§ 32. ЭЛЕКТРОЛИЗ. ПЕРВЫЙ ЗАКОН ФАРАДЕЯ

Явление электролиза

При замыкании цепи в электролите образуется электрическое поле, и положительные ионы начинают двигаться к катоду, а отрицательные ионы — к аноду. Приблизившись к электродам, ионы отдают им свой заряд и превращаются в нейтральные атомы, образуя осадок. Чем больше ионов достигает электродов, чем больше вещества собирается на их поверхности.

Проведем следующий опыт.

Положим медный купорос (CuSO_4) в стеклянный сосуд с электродами, заполненный водой (электролитная ванна), и образуем электролит. При этом медный купорос распадется на ионы Cu^{2+} и SO_4^{2-} . Ионы Cu^{2+} будут двигаться в сторону катода K , а ионы SO_4 — в сторону анода A . При замыкании цепи через электролит начнет проходить ток (рис. 119). В результате на поверхности катода будут накапливаться атомы Cu . Со временем слой меди на катоде будет утолщаться. При длительном пропускании тока через электролит можно наблюдать оседание на катоде значительного количества чистой меди.



Явление выделения вещества на электродах при прохождении тока через электролит называется электролизом.

Английский физик М. Фарадей в ряде своих опытов пропускал через разные электролиты токи различных значений. Измеряя массу веществ, выделившихся на электродах, он открыл в 1833–1834 гг. два закона электролиза.

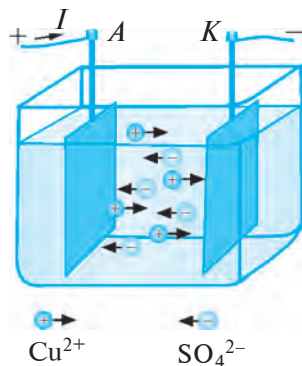


Рис. 119

Первый закон Фарадея

Опыты Фарадея показали, что масса вещества, выделяющегося на электродах, зависит от числа ионов,двигающихся в сторону электродов, т. е. от количества заряда, проходящего через электролит. Первый закон Фарадея выражает зависимость между массой вещества, выделяющегося во время электролиза, от количества заряда, проходящего через электролит. Этот закон формулируется следующим образом.



Масса вещества, выделяющегося на электродах во время электролиза, прямо пропорциональна количеству заряда, проходящего через электролит.

То есть:

$$m = kq; \quad (1)$$

здесь m — масса выделившегося вещества; q — количество заряда; k — коэффициент пропорциональности, который называется *электрохимическим эквивалентом вещества*.

Электрохимический эквивалент для разных веществ, выделяющихся при электролизе, различен.

Если в формуле (1) q принять равным 1 Кл, то $k = m$. Численное значение электрохимического эквивалента вещества равно массе вещества, выделившегося при прохождении через электролит заряда в 1 Кл. Это значит, что электрохимический эквивалент вещества измеряется в 1 кг/Кл. Поскольку эквивалент — очень маленькая единица, на практике вместо нее используется 1 мг/Кл. Например, электрохимический эквивалент для серебра равен 1,118 мг/Кл, для хлора — 0,367 мг/Кл, для меди — 0,329 мг/Кл, для никеля — 0,304 мг/Кл, для алюминия — 0,094 мг/Кл.

Учитывая, что в формуле (1) $q = I\Delta t$, можно получить выражение зависимости массы m вещества, выделившегося на электродах, от силы тока I , проходящего через электролит, и времени Δt прохождения тока:

$$m = kI\Delta t. \quad (2)$$

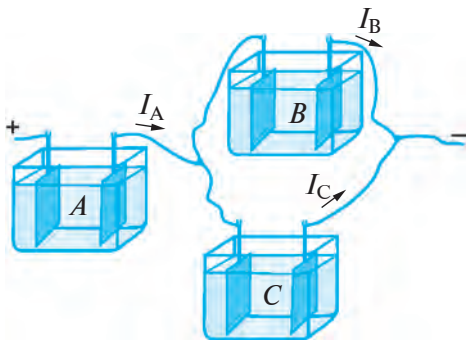


Рис. 120

Первый закон Фарадея был проверен на следующем опыте. В три электролитные ванны были залиты одинаковые электролиты A , B и C , и их электроды были соединены друг с другом так, как показано на рис. 120.

Согласно рисунку, сила тока I_A , протекающего через электролит A , рав-

на сумме сил тока I_B и I_C , протекающего через электролиты B и C . Если справедлива формула (2), то массы m_A , m_B , и m_C веществ, выделяющихся на электродах электролитов A , B и C , будут относиться как $m_A = m_B + m_C$.



1. Объясните опыт с медным купоросом.
2. Какое явление называется электролизом?
3. Сформулируйте первый закон Фарадея и запишите его выражение.
4. Как с помощью силы тока выражается первый закон Фарадея?
5. Как на опыте можно проверить первый закон Фарадея? Объясните опыт.



1. Через электролит, состоящий из водного раствора медного купороса, пропущен заряд в 12,5 Кл. Какое количество меди осело на катоде, опущенном в электролит?
2. Какой заряд нужно пропустить через электролит с ионами серебра, чтобы во время электролиза на катоде накопилось 10 мг серебра?
3. Во время электролиза, длившегося 1,5 ч, на катоде накопилось 15 мг никеля. Найдите силу тока, протекавшего через электролит во время электролиза.

§ 33. ВТОРОЙ ЗАКОН ФАРАДЕЯ

На уроках химии в 7 классе вы получили сведения о валентности (Z), количестве вещества (ν), молярной массе вещества (M), постоянной Авогадро ($N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$). Эти сведения послужат основой для изучения настоящей темы.

Пусть через электролит пропущен заряд $q = It$, который переносят N ионов. Тогда:

$$q = N(Ze) = It, \quad (1)$$

где e — элементарный заряд; Ze — заряд иона, Z — валентность иона; например, для иона Na^+ $Z = 1$, для иона Cu^{2+} $Z = 2$, для Al^{3+} $Z = 3$.

Из равенства (1) вытекает выражение

$$N = \frac{It}{Ze}. \quad (2)$$

Ионы оседают на электроде. Их общую массу можно выразить формулой

$$m = m_0 N, \quad (3)$$

где m_0 — масса одного атома.

Масса одного атома определяется отношением молярной массы этого вещества к постоянной Авогадро:

$$m_0 = \frac{M}{N_A}. \quad (4)$$

Подставив формулы (2) и (4) в (3), можно получить выражение для массы вещества, осевшего на электроде за время t :

$$m = \frac{It}{Ze} \frac{M}{N_A} \quad \text{или} \quad m = \frac{1}{F} \frac{M}{Z} It. \quad (5)$$

здесь $F = eN_A$ — постоянная Фарадея.

Выражение (5) можно сформулировать следующим образом.



Масса вещества, выделившегося на электроде во время электролиза, прямо пропорциональна молярной массе этого вещества, силе тока и времени и обратно пропорциональна валентности.

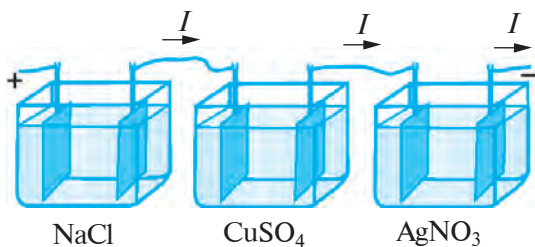


Рис. 121

Правильность этой формулировки можно проверить на следующем опыте.

Нальем в три электролитные ванны растворы солей NaCl , CuSO_4 и AgNO_3 соответственно. Опустим в электролиты электроды и последовательно подсоединим их с помощью проводов к источнику тока, как показано

на рис. 121. В результате процесса электролиза через каждый электролит будет проходить ток. При этом благодаря последовательному соединению электродов ток, протекающий через каждый электролит, будет одинаковым. За время t на электроды первого и второго электролитов будет попадать одинаковое число ионов, так как заряды ионов в этих электролитах одинаковы. Однако массы выделившихся на электродах натрия и серебра неодинаковы. Это объясняется различными атомными массами данных веществ. Измеряя массу натрия и серебра, осевшую на электродах, можно убедиться в том, что она прямо пропорциональна их молярной массе.

Число ионов Cu^{2+} , попавших на электрод во втором электролите за время t , в два раза меньше числа ионов Na^+ и Ag^+ , попавших на электроды первого и третьего электролитов, так как натрий и серебро, участвовавшие в электролизе, являются одновалентными, а медь двухвалентна. Опыт подтверждает, что масса выделившихся на электродах во время электролиза веществ обратно пропорциональна их валентности.

Сопоставив уравнение (5) с уравнением (2) из предыдущей темы (§ 32), получим выражение электрохимического эквивалента вещества k :

$$k = \frac{1}{F} \frac{M}{Z}. \quad (6)$$

Формула (6) выражает второй закон Фарадея. Этот закон формулируется следующим образом.



Электрохимический эквивалент вещества прямо пропорционален молярной массе и обратно пропорционален валентности этого вещества.

Измерение массы вещества с молярной массой M и валентностью Z , выделившегося в процессе электролиза на электроде за время t при прохождении через электролит тока I , позволило с помощью формулы (5) определить постоянную Фарадея: $F = 96500$ Кл/моль.

Из выражения $F = eN_A$ можно найти значение элементарного электрического заряда — заряда электрона:

$$e = \frac{F}{N_A}; \quad e = \frac{96\,500}{6,02 \cdot 10^{23}} \text{ Кл} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

Значение элементарного электрического заряда было впервые определено этим путем в 1874 г.



1. Объясните формулу (5), выведенную для массы вещества, выделившегося во время электролиза.
2. Как на опыте можно обосновать, что масса выделившегося во время электролиза вещества прямо пропорциональна его молярной массе?
3. Как на опыте можно проверить зависимость массы вещества, выделившегося во время электролиза, от его валентности?
4. Как формулируется и выражается второй закон Фарадея?
5. Каким путем было определено значение элементарного электрического заряда?



1. В процессе электролиза в качестве электролита использован раствор NaCl . Найдите электрохимический эквивалент натрия.
2. В процессе электролиза в качестве электролита использован раствор CuSO_4 . Определите электрохимический эквивалент меди.
3. В процессе электролиза в качестве электролита использован раствор AgNO_3 . Сколько серебра выделилось на катоде, если через электролит в течение 1 ч проходил ток силой в 2А?

§ 34. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛИЗА

Выделение меди

В электротехнике часто используется чистая медь. При наличии даже незначительных примесей других веществ ее электропроводимость ухудшается. Медь отделяют от различных примесей следующим способом.

Большую электролитную ванну заполняют раствором медного купороса и опускают в нее параллельно расположенные тонкие пластины из чистой меди. Пластины, соединенные с отрицательным полюсом источника тока, выполняют функцию катода. Между катодами параллельно устанавливают толстые пластины из неочищенной меди, которые служат анодом.

В процессе электролиза чистая медь, выделившаяся из раствора медного купороса, оседает на катоде. Анод расплавляется, и медь из него переходит в раствор, а инородные примеси оседают на дно ванны. Со временем пластины, являющиеся катодом, утолщаются, а пластины, являющиеся анодом, становятся тоньше. Через некоторое время катод и анод вынимают из ванны и вместо них опускают другие. Извлеченная из ванны толстая пластина состоит из чистой меди.

Помимо меди, методом электролиза выделяют также алюминий, магний, натрий, калий, кальций и др. Среди них самым широко используемым является алюминий. Получение алюминия лабораторным способом обходилось бы так же дорого, как и выделение золота. Выделение алюминия методом электролиза относительно недорого. Месторождения алюминия на Земле достаточно многочисленны. Они встречаются и в горных районах нашей страны. Благодаря недорогому способу выделения методом электролиза алюминий считается относительно дешевым металлом и широко используется, в основном, для изготовления проводов линии электропередач.

Гальваностегия

Изделия, изготовленные из железа, быстро ржавеют в результате окисления их поверхности. Ржавчина постепенно разъедает металл и изделие приходит в негодность. Обычно поверхность окисляемых металлических изделий покрывают трудноокисляемыми металлическими покрытиями из никеля, цинка, серебра, золота и др. В повседневной жизни мы часто пользуемся никелированной посудой и другими предметами, покрытыми никелем.



Покрытие поверхности предметов трудноокисляемыми металлами с использованием электролиза называется гальваностегией.

Рассмотрим процесс никелирования предметов методом электролиза. Для этого поверхность предмета очищают от масла и грязи и опускают в электролитную ванну. Электролитом является аммиачный раствор соли $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. В качестве анода используют никелевые пластины. Предметы для никелирования служат катодом. При пропускании через электролит тока в течение некоторого времени поверхность предмета покрывается никелем (рис. 122).

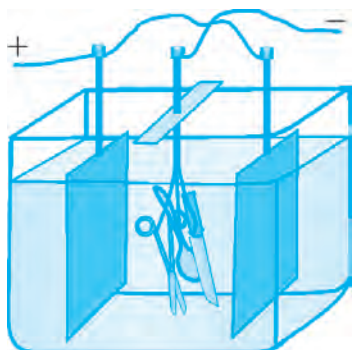


Рис. 122

При покрытии изделий серебром в качестве электролита используют раствор солей серебра, а в качестве анода — пластины из серебра. При покрытии золотом — в качестве электролита берут раствор солей золота, а в качестве анода — золотые пластины.

Гальванопластика

С помощью электролиза можно получать металлические копии поверхностей со сложными узорами и рельефных предметов. Например, для получения копии узора, вырезанного на деревянной доске, узор покрывают тонким слоем графита, в результате данная сторона доски становится токопроводящей. Подготовленную таким образом доску опускают в раствор медного купороса. Графит на поверхности доски с помощью провода соединяют с отрицательным полюсом источника тока, т. е. графитовый слой выполняет функцию катода. В качестве анода служит медная пластина, которую опускают в электролит. При пропускании через электролит тока медь, выделившаяся в результате электролиза, оседает на графитовый слой. После того, как медь полностью покрывает графитовую поверхность, процесс электролиза останавливают и отделяют медный слой от доски. При этом на поверхности медного слоя появляется негативное изображение узора. На медном негативе все вогнутые места на доске будут иметь выпуклую форму, а выпуклые – вогнутую.

Негативное изображение, полученное таким образом, называется **матрицей**. Матрица – это шаблон, с помощью которого в типографиях отливают буквы, изготавливают медали, монеты, штампы и др. изделия.



Покрытие поверхности предметов металлом с помощью электролиза с целью получения формы называется гальванопластикой.

Гальванопластика широко используется в типографском деле в сочетании с современными технологиями и компьютерной техникой. В полиграфической промышленности гальванопластика применяется также для получения гальванопластических копий: цинкографских клише. Гальванопластический метод позволяет отпечатывать огромные тиражи не только книг со сплошным текстом, но и книг, снабженных иллюстрациями.



1. Как с помощью электролиза выделяют медь?
2. Какие еще металлы можно выделять с помощью электролиза?
3. Каким образом поверхность посуды и других изделий покрывают трудноокисляемым металлом?
4. Какой процесс называется гальваностегией?
5. Что такое гальванопластика? В каких целях она используется?



Подготовьте реферат на тему: «Значение электролиза».

§ 35. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ГАЗАХ

Электрический разряд в газе

Соединим плоский конденсатор с электрометром и зарядим электрометр (рис. 123, а). При этом стрелка электрометра, показывающая опре-

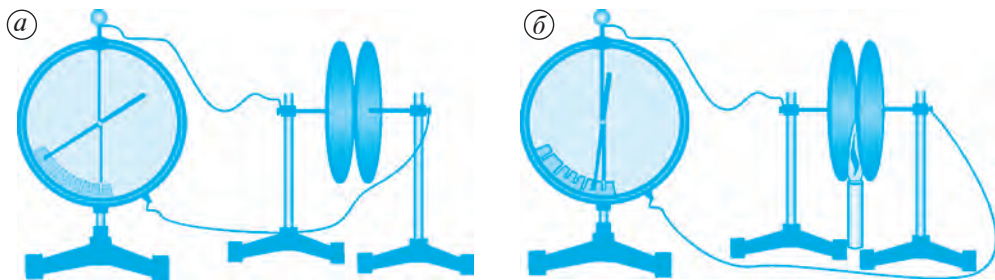


Рис. 123

деленное значение, почти не сдвинется с места, и заряд в нем не уменьшится. Это означает, что по воздуху между обкладками конденсатора ток не протекает. При комнатной температуре сухой воздух можно считать диэлектриком.

Зажжем свечу и прогреем воздух между обкладками конденсатора. При этом тут же стрелка электрометра начнет падать, т.е. конденсатор теряет заряд (рис. 123, б). Следовательно, через прогретый воздух проходит ток.



Процесс протекания электрического тока через газ называется газозовым разрядом.

Ионизация газов

В составе воздуха, помимо азота, кислорода, водорода, молекул воды, содержится около 1% инертных газов – неона и аргона. При комнатной температуре все атомы и молекулы воздуха находятся в нейтральном состоянии. При нагревании воздуха нейтральные атомы начинают превращаться в ионы, т.е. ионизируются. Рассмотрим этот процесс на примере инертных газов неона и аргона.

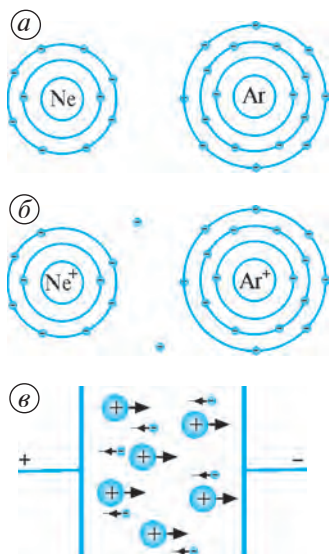


Рис. 124

Вокруг ядра атома неона Ne вращаются 10 электронов, а вокруг ядра атома аргона Ar – 18. Внешняя оболочка атома аргона, на которой находятся 8 электронов, считается заполненной. Заряд ядра неона равен $+10e$, общий заряд электронов $-10e$. У аргона эти показатели соответственно равны $+18e$ и $-18e$ (рис. 124, а). Отдельно взятые атомы Ne и Ar электро-нейтральны.

При нагревании воздуха скорость движения атомов и молекул этих газов, а также число столкновений их друг с другом возрастают. В результате один из электронов, вращающихся на внешних оболочках отдельных атомов неона, покидает свой атом. Атом неона Ne, потерявший один электрон, превращается в ион Ne^+ , а атом аргона Ar, получивший один электрон, превращается в ион Ar^+ (рис. 124, б).

Чем выше температура воздуха, чем больше ионов в нем образуется.

Под воздействием электрического поля ионы Ne^+ и Ar^+ двигаются в сторону отрицательно заряженной прокладки конденсатора, а отделившиеся от атомов электроны — в сторону положительно заряженной прокладки (рис. 124, в). В результате по воздуху проходит ток.

Электропроводимость газов при участии ионов подобна электропроводимости электролитов, а электропроводимость газов при участии электронов — электропроводимости металлов.



Электропроводимость в газах — это упорядоченное движение ионов и электронов в электрическом поле.

В газах ионизация происходит также под влиянием других внешних воздействий, например, сильного излучения.

Рекомбинация

При удалении электрического поля и прекращении внешнего воздействия ионы и электроны в газе, соединяясь друг с другом, снова превращаются в нейтральные атомы.



Процесс образования в газах нейтральных атомов в результате соединения электронов и положительно заряженных ионов называется рекомбинацией заряженных частиц.

В отсутствие электрического поля и во время прекращения внешнего воздействия заряженные частицы исчезают только вследствие рекомбинации, и газ снова становится диэлектриком.

В момент внешнего ионизирующего воздействия при отсутствии электрического поля происходит, с одной стороны, ионизация газа, с другой, — рекомбинация заряженных частиц. При постоянном внешнем ионизирующем воздействии процесс ионизации и рекомбинации уравнивается, то есть наступает динамическое равновесие. Число заряженных частиц в газе при этом остается неизменным. В условиях динамического равновесия число образующихся заряженных частиц равняется числу исчезающих.



1. Каким образом можно осуществить протекание электрического тока в газах?
2. Почему при нагревании воздуха по нему проходит электрический ток?

3. Какие частицы участвуют в электропроводимости газов?
4. Какой процесс называется рекомбинацией?
5. При каком условии между образующимися и исчезающими заряженными частицами в газах наступает динамическое равновесие?

§ 36. НЕСАМОСТОЯТЕЛЬНЫЙ И САМОСТОЯТЕЛЬНЫЙ РАЗРЯДЫ

Несамостоятельный разряд

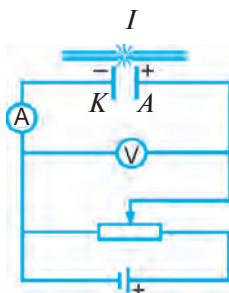


Рис. 125

Рассмотрим зависимость силы тока, протекающего в газах, от величины пущенного электрического поля — электрического напряжения. Для этого соберем электрическую цепь, схема которой показана на рис. 125.

Установим анод A и катод K параллельно друг другу, подобно прокладкам плоского конденсатора. Напряжение между анодом и катодом измеряется вольтметром V , а сила тока, протекающего по воздуху между анодом и катодом, — амперметром A . С помощью реостата R можно изменять напряжение между анодом и катодом.

Для постоянной ионизации воздуха между анодом и катодом установлен ионизатор I . При непрерывной работе ионизатора воздух между анодом и катодом нагревается и ионизируется.

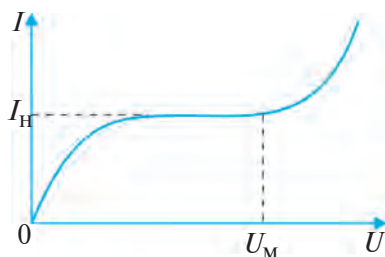


Рис. 126

Через короткое время после включения ионизатора между ионизацией и рекомбинацией устанавливается динамическое равновесие. Замкнем цепь и начнем постепенно повышать напряжение. С увеличением напряжения между анодом и катодом начнет постепенно возрастать и сила возникающего тока. Это объясняется тем, что с увеличением напряжения заряды, возникающие за единицу времени, быстрее достигают анода и катода.

Изменение тока, протекающего в воздухе в зависимости от напряжения, показано на рис. 126. При достижении определенного значения напряжения сила тока перестает увеличиваться, то есть ток достигает значения насыщения. Такой ток называется *насыщенным* I_n .

Что является причиной насыщения тока?

При низком напряжении до анода и катода доходит лишь часть зарядов, возникающих за единицу времени. С повышением напряжения число зарядов, доходящих до анода и катода начинает возрастать, и по дости-

жении определенного значения напряжения до анода и катода доходят все возникающие в воздухе заряды.

При выключении ионизатора значение силы тока в цепи тут же становится равным нулю, так как прекращается разряд. Без ионизатора в воздухе между анодом и катодом разряд самостоятельно не возникает.



Разряд, останавливающийся после прекращения действия ионизатора, называется *несамостоятельным*.

Самостоятельный разряд

Что произойдет, если продолжать повышать напряжение между анодом и катодом?

Продолжим опыт, изображенный на рис. 125, и будем повышать напряжение. При достижении максимального значения напряжения U_m сила тока начнет резко возрастать (рис. 126). Чем это объясняется?

Электроны, движущиеся в сторону анода, на своем пути неоднократно сталкиваются с нейтральными атомами газа. Если скорость электронов небольшая, то их кинетическая энергия также будет небольшой. Поэтому при столкновении с электронами малой энергии нейтральные атомы не превращаются в ионы. С повышением напряжения возрастает и скорость электронов, возникающих в газе и движущихся к аноду. При дальнейшем повышении напряжения электроны достигают такой скорости, при которой их кинетической энергии оказывается достаточно, чтобы выбивать электроны из нейтральных атомов, с которыми они сталкиваются на своем пути, и ионизировать их. Образующиеся новые свободные электроны, приобретая значительную скорость в поле с высоким напряжением, образуют другие ионы и электроны. Вследствие этого резко усиливается ионизация газа, что в свою очередь приводит к резкому увеличению силы тока.

Ионизация газа не прекращается даже при прекращении внешнего воздействия – выключении ионизатора. Электрический разряд будет продолжаться самостоятельно без воздействия ионизатора.



Разряд, продолжающийся при прекращении действия ионизатора, называется *самостоятельным*.

Положительные ионы газового разряда двигаются к катоду с большой скоростью и, с силой ударяясь о катод, выбивают из него электроны. Эти электроны также участвуют в ионизации новых атомов и электропроводности.



1. Объясните опыт, изображенный на рис. 125.
2. Почему при достижении определенного значения напряжения между анодом и катодом ток имеет постоянное значение?

3. Какой разряд называется несамостоятельным?
4. Почему при высоком напряжении сила насыщенного тока начинает возрастать?
5. Какой разряд называется самостоятельным?
6. Почему электроны вылетают из катода при большом напряжении между анодом и катодом?

§ 37. ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Разряд электрической дуги



Рис. 127

Существует несколько видов газовых разрядов. В зависимости от вида они используются в различных целях.

Один из видов разряда — разряд электрической дуги.

Возьмем два угольных электрода и подадим на них напряжение в 40–50 В. Приблизим концы электродов друг к другу, а затем немного отдалим. При этом между концами электродов возникнет ослепительная вспышка — *разряд электрической дуги* (рис. 127). Электрическая дуга будет длиться до тех пор, пока не будет снято напряжение между электродами. В небольшой дуге сила тока достигает нескольких ампер. В большой дуге сила тока составляет несколько сотен ампер, хотя напряжение находится в пределах 50 В.

Разряд электрической дуги является мощным источником света. Он используется в проекторах, маяках и в других установках.

В связи с тем, что разряд электрической дуги сопровождается очень высокой температурой, его применяют при плавке и сварке металлов, получении различных сплавов. Особенно сподручно использование сильной электрической дуги при получении высококачественной стали.

Искровой разряд

Соединим два изолированных друг от друга электрода с источником высокого напряжения. Когда напряжение на электродах достигнет определенного высокого значения, между ними вспыхнет *искровой разряд*, который сопровождается своеобразным потрескиванием и ослепительно ярким светом.

Несмотря на то, что в линиях электропередач высокого напряжения токопроводящие провода подвешивают на металлические опоры с помощью изоляторов, иногда на них возникает сильный электрический разряд. Во избежание появления искры изоляторы между опорой и токопроводящими проводами должны быть очень мощными: чем выше напряжение на линии электропередач, тем толще должны быть изоляторы.

Изучение искрового разряда путем специальных съемок показало, что он состоит из ряда прерывных вспышек, а не непрерывно текущего тока.

В обычных условиях искровой разряд возникает тогда, когда напряжение электрического поля в воздухе достигает 3 000 000 Н/Кл.

В природе искровой разряд проявляется в виде молнии. Вы знаете, что молния возникает между облаками или между облаками и землей. Когда два облака, имеющие заряды противоположного знака, приближаются друг к другу, между ними возникает сильный электрический разряд — молния. Напряжение между облаками может превышать 100 000 000 В. Сила тока, проходящего по воздуху в момент разряда, достигает 10 000 А. Продолжительность искрового разряда составляет лишь 0,001–0,02 с.

Учитывая, что искровой разряд сопровождается краткой вспышкой яркого света, это явление используется в фотоаппаратах.

При получении искрового разряда между двумя электродами, находящимися под высоким напряжением, на аноде появляется углубление, а на катоде — выпуклость (рис. 128). Это явление используется при обработке металлов. Металл, в котором, например, нужно просверлить отверстие, является анодом. При приближении катода на аноде появляется углубление (рис. 129, а). Процесс продолжают до тех пор, пока на металле, взятом в качестве анода, не возникнет отверстие (рис. 129, б).

Используя искровой разряд, можно высверливать отверстия заданного размера и формы в закаленных сталях и даже в более прочных сплавах. Метод металлообработки с помощью искрового разряда применяется также при изготовлении различного рода штампов, при резке металлов, а также при заточке режущих приборов.

Мерцающий разряд

В концы закрытой стеклянной трубки установлены напротив друг друга анод и катод. Когда давление в трубке равно атмосферному давлению, по воздуху внутри нее ток не проходит. Однако, если воздух в трубке постепенно выкачивать специальным насосом, по ней начнет проходить ток (рис. 130, а).

Разряд становится ощутимым, если воздух в трубке разредить примерно в десять раз. При стократном разрежении воздуха пространство между



Рис. 128

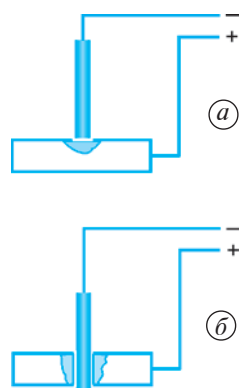


Рис. 129

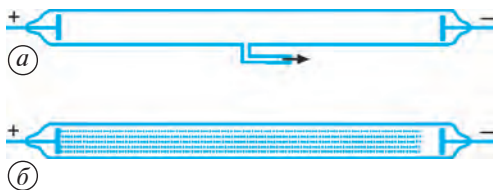


Рис. 130

анодом и катодом заполнится мерцающим светом (рис. 130, б). Поэтому такой разряд называют **мерцающим**. При этом участок трубки, близкий к катоду, остается темным.

Мерцающий разряд используется в так называемых лампах дневного

света в качестве источника освещения. Такие лампы излучают белый свет, так как их внутреннюю поверхность обрабатывают люминофорным веществом.



1. Как получают разряд электрической дуги?
2. В каких целях используют разряд электрической дуги?
3. Как образуется искровой разряд?
4. Как в природе возникает молния?
5. В каких целях используют искровой разряд?
6. Как получается мерцающий разряд?
7. В каких целях используют мерцающий разряд?

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ IV

- Химическая связь, возникающая между ионами вследствие кулоновской силы притяжения, называется ионной связью.
- Вещества, которые в жидкости распадаются на ионы и вследствие этого проводят электрический ток, называются электролитами.
- Явление выделения вещества на электродах при прохождении тока через электролит называется электролизом.
- Первый закон Фарадея: масса вещества, выделяющегося на электродах во время электролиза, прямо пропорциональна количеству заряда, проходящего через электролит, то есть: $m = kq$, или $m = kI\Delta t$.
- Масса вещества, выделившегося на электроде во время электролиза, прямо пропорциональна молярной массе этого вещества, силе тока и времени, и обратно пропорциональна валентности.
- Второй закон Фарадея: электрохимический эквивалент вещества прямо пропорционален молярной массе и обратно пропорционален валентности этого вещества.
- С помощью электролиза выделяют медь, алюминий, магний, натрий, калий, кальций и другие металлы.
- Покрытие поверхности предметов трудноокисляемыми металлами с использованием электролиза называется гальваностегией.

- Покрытие поверхностей предметов металлом с помощью электролиза с целью получения формы называется гальванопластикой.
- Процесс протекания электрического тока через газ называется газовым разрядом.
- Электропроводимость в газах — это упорядоченное движение ионов и электронов в электрическом поле.
- Процесс образования в газах нейтральных атомов в результате соединения электронов и положительно заряженных ионов называется рекомбинацией заряженных частиц.
- Разряд, останавливающийся после прекращения действия ионизатора, называется несамостоятельным.
- Разряд, продолжающийся при прекращении действия ионизатора, называется самостоятельным.
- При приближении концов электродов под большим напряжением, а затем отдалении между ними возникает разряд электрической дуги. Его используют в проекторах, маяках, при плавке металлов и получении различных сплавов.
- Когда напряжение на электродах достигает определенного высокого значения, между ними возникает искровой разряд.
- Искровой разряд используется в фотоаппаратах, при сверлении отверстий в металлах.
- В разреженном газе возникает мерцающий разряд. Он используется в лампах дневного света.

ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ ГЛАВЫ IV

1. Прохождение тока через раствор медного купороса сопровождается выделением на одной из пластин чистой меди, а при прохождении тока через медную проволоку не происходит переноса меди. Почему?
2. Через раствор азотнокислого серебра пропускают ток, чтобы получить на катоде чистое серебро. Какие явления происходят при этом в растворе? Как можно ускорить процесс выделения серебра на катоде?
3. Через раствор медного купороса в источнике тока прошло 500 Кл заряженных ионов. Какая работа выполнена током, если напряжение в прокладках равно 2 В?
4. Электрический ток пропускают через электролитическую ванну, наполненную раствором медного купороса. Угольные электроды погружены в раствор приблизительно наполовину своей длины. Как изменится количество меди, выделяющейся на катоде, за один и тот же небольшой промежуток времени, если: *а)* заменить угольный анод медным такой же формы и объема; *б)* заменить угольный катод медным; *в)* увеличить напряжение на электродах; *г)* долить электролита той же концентрации; *д)* увеличить концентрацию раствора; *е)* сблизить электроды; *ж)* уменьшить погруженную часть анода; *з)* уменьшить погруженную часть катода; *и)* нагреть раствор электролита?

5. Две одинаковые электролитические ванны (*A* и *B*) наполнены раствором медного купороса. Концентрация раствора в ванне *A* больше, чем в ванне *B*. В какой из ванн выделится больше меди, если их соединить последовательно? А если параллельно?
6. Через электролит, состоящий из водного раствора медного купороса, пропущен заряд в 40 Кл. Какое количество меди осело на катоде, опущенном в электролит?
7. Какой заряд нужно пропустить через электролит, чтобы во время электролиза на катоде накопилось 25 мг меди?
8. Во время электролиза, длившегося 2 ч, на катоде накопилось 40 мг никеля. Найдите силу тока, протекавшего через электролит во время электролиза.
9. Сколько времени длилось никелирование, если на изделие осел слой никеля массой 1,8 г? Сила тока – 2 А.
10. При проведении опыта по определению электрохимического эквивалента меди были получены следующие данные: время прохождения тока – 20 мин, сила тока – 0,5 А, масса катода до опыта – 70,4 г, масса после опыта – 70,58 г. Какое значение электрохимического эквивалента меди было получено по этим данным?
11. Зная постоянную Фарадея и используя таблицу Менделеева, найдите электрохимические эквиваленты двух- и четырехвалентного олова.
12. Зная электрохимический эквивалент серебра, вычислите электрохимический эквивалент золота.
13. В процессе электролиза в качестве электролита использован раствор AgNO_3 . Определите электрохимический эквивалент серебра.
14. В процессе электролиза в качестве электролита использован раствор AgNO_3 . Сколько серебра выделилось на катоде, если через электролит в течение 2 ч проходил ток силой в 1 А?
15. Сравните массы трехвалентного железа и двухвалентного магния, выделившиеся на катодах при последовательном соединении электролитических ванн.
16. Для получения алюминия электролитическим способом использована ванна, работающая при силе тока в 40 кА и под напряжением 5 В. Сколько времени и энергии потребуется для получения 1 т алюминия.
17. Сравните затраты электроэнергии на получение электролитическим путем одинаковых масс алюминия и меди, если по нормам напряжение в ванне при получении алюминия в 14 раз больше, чем при рафинировании меди.
18. Каков расход энергии (в кВт · ч) на рафинирование 1 т меди, если напряжение в электролитической ванне по техническим нормам равно 0,4 В?
19. Какова сила тока насыщения при самостоятельном газовом разряде, если ионизатор образует каждую секунду 10^9 пар ионов в одном кубическом сантиметре, площадь каждого из двух плоских параллельных электродов 100 см^2 и расстояние между ними 5 см?

ГЛАВА V

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

§ 38. ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ О МАГНЕТИЗМЕ

Постоянный магнит и его свойства

Известно, что магниты притягивают друг друга и железные предметы (рис. 131). Люди знали про магниты еще в древние времена.



Слово «магнит» происходит от названия города Магнесия в древней Малой Азии. Камень, найденный в этих местах и притягивавший железо, называли «магнетическим камнем».

Наш великий соотечественник Абу Райхан Беруни (973–1047) в своих трудах называл магнит «оханрабо» («притягивающий железо»). Беруни писал об использовании магнита для отделения частиц железа от частиц золота, смешанных с песком. С помощью опытов он установил, что одноименные полюсы магнита отталкиваются, а разноименные — притягиваются, и сталь при трении о магнит также намагничивается.

В настоящее время в электротехнике и радиотехнике применяются, в основном, искусственные магниты.



Стальные бруски, намагниченные при трении о природный магнит в течение длительного времени, называются *искусственными магнитами*.

Искусственные магниты обладают такими же свойствами, как и природные. И природные, и искусственные магниты являются постоянными магнитами.



Тело, сохраняющее свое намагниченное состояние в течение длительного времени, называется постоянным магнитом или просто магнитом.

Свойства постоянных магнитов были впервые изучены английским врачом Уильямом Гильбертом (1544–1603). В своей книге «О магните, магнитных телах и огромном магните — Земле», изданной в 1600 г., Гильберт описал следующие свойства магнитов:



Рис. 131

1. Различные места магнита имеют разную силу притяжения, на концах — полюсах магнита — сила притяжения самая большая.
2. У всякого магнита есть два полюса — северный и южный, которые различаются по своим свойствам.
3. Разноименные полюсы притягиваются друг к другу, а одноименные — отталкиваются.
4. Полюсы магнита, горизонтально подвешенного на нити, указывают на север и юг.
5. Магнит с одним полюсом получить невозможно.
6. Земной шар является огромным магнитом.
7. При сильном нагревании как природные, так и искусственные магниты теряют свои магнитные свойства.
8. Магниты воздействуют через стекло, кожу и воду.

Магнитное поле

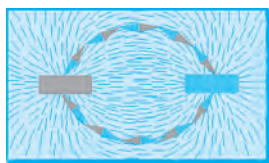


Рис. 132

Как взаимодействуют между собой магниты?

Насыпем на тонкое стекло железные опилки, поставим его на концы подковообразного магнита и будем тихо постукивать по краю стекла. При этом опилки расположатся вокруг концов магнита по определенным линиям (рис. 132).



Вокруг магнита существует поле, которое называется магнитным. Линии, по которым располагаются железные опилки в магнитном поле, указывают на магнитные силовые линии.

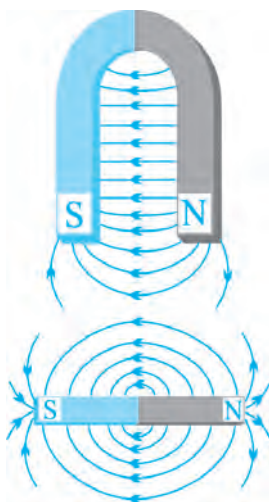


Рис. 133

Если вдоль магнитных силовых линий положить определенное число укрепленных на неподвижной оси магнитных стрелок, они расположатся так, как показано на рис. 132.

Южный полюс магнита принято обозначать буквой S («souts» — «юг») или Ю, а северный — буквой N («nourds» — «север») или С. За направление магнитных силовых линий принято направление с северного полюса N на южный S (рис. 133).

В отличие от силовых линий электрического поля, силовые линии магнитного поля образуют замкнутый контур.

Если приблизить друг к другу два магнита одноименными полюсами, они оттолкнутся, если же

приблизить разноименными полюсами — они притянутся друг к другу (рис. 134).

При помещении между магнитами железной пластины они не смогут воздействовать друг на друга, так как железо заграждает магнитное поле, в отличие от таких материалов, как медь, алюминий, стекло и пластмасса.

Магнитное поле Земли

Стрелки компаса или подвешенный на нити магнит устанавливаются в направлении с юга на север (рис. 135). Это связано с тем, что земной шар окружен магнитным полем.

Магнитные силовые линии Земли направлены от южного магнитного полюса в сторону северного (рис. 136).

Южный магнитный полюс Земли расположен около 75° северной широты и 99° западной долготы, на расстоянии приблизительно 2100 км от северного географического полюса земного шара.

Северный магнитный полюс находится вблизи южного географического полюса Земли — на $66,5^\circ$ южной широты и 140° восточной долготы.

Компас указывает на северный магнитный полюс земного шара.

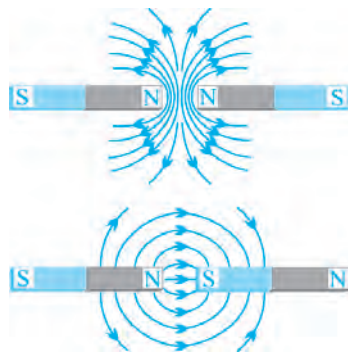


Рис. 134

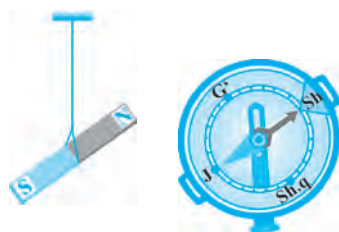


Рис. 135

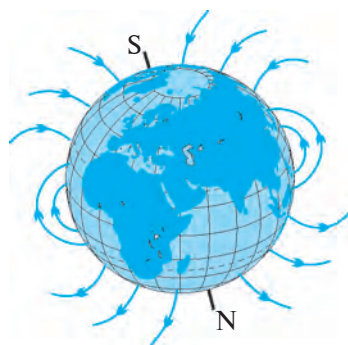


Рис. 136



1. Откуда произошло слово «магнит»?
2. Какие сведения о магнитах приводятся в трудах Беруни?
3. Что такое искусственный магнит? Чем он отличается от природного магнита?
4. Какое тело называют постоянным магнитом?
5. Объясните свойства магнита, выявленные Гильбертом.
6. Что такое магнитное поле? Дайте характеристику магнитных силовых линий.
7. Как обозначаются южный и северный полюсы магнита? В каком направлении располагаются магнитные силовые линии по этим полюсам?
8. Что вы знаете о магнитном поле Земли? Почему стрелка компаса не указывает на географические полюсы Земли?



1. Возьмите куски магнита и изучите их воздействие друг на друга и на железные предметы.
2. Проведите опыт, изображенный на рис. 132, и запишите свои выводы в тетрадь.

§ 39. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ТОКА

Опыт Эрстеда

Зависимость магнитного поля от электрического тока впервые была установлена на опыте датским физиком Хансом Кристианом Эрстедом (1777–1851) в 1820 г.

Мы можем сами провести опыт Эрстеда. С этой целью соберем цепь, изображенную на рис. 137.

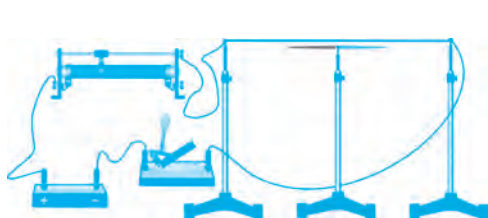


Рис. 137

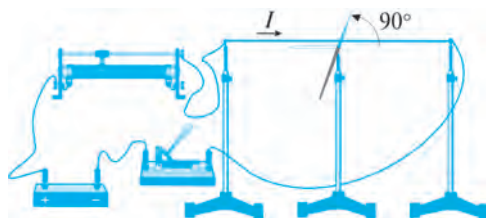


Рис. 138

Пусть один из проводов проводника туго натянут с юга на север. Установим стрелку магнита под этот провод, как показано на рисунке. При этом стрелка расположится в направлении провода.

Теперь замкнем цепь и пропустим ток по проводнику. В этот же момент магнитная стрелка под проводом повернется на 90° перпендикулярно к проводу (рис. 138).



Опыт Эрстеда показывает, что вокруг проводника, по которому идет электрический ток, существует магнитное поле.

Магнитное поле прямого тока

Существование магнитного поля вокруг проводника, по которому проходит ток, можно доказать на следующем опыте.

Пропустим тонкий металлический стержень через отверстие, просверленное посередине пластмассовой пластины. Рассыпьем на поверхности пластины железные опилки и пропустим через стержень ток.

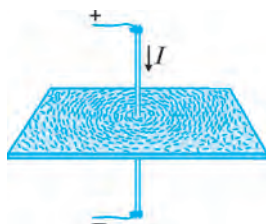


Рис. 139



Магнитные силовые линии прямого тока характеризуются окружностями вокруг проводника, по которому проходит ток.

Продолжим опыт и поместим вокруг стержня, по которому течет ток, мелкие магнитные стрелки. Стрелки сразу равномерно распределятся в направлении магнитных силовых линий (рис. 140).

Теперь изменим направление тока в стержне. При этом все магнитные стрелки повернутся на 180° (рис. 141).

Следовательно, направление магнитных силовых линий тока зависит от направления тока в проводнике. Направление силовых линий магнитного поля, образуемого вокруг прямого тока, можно определить с помощью *правила буравчика* (рис. 142).



Если направление поступательного движения буравчика совпадает с направлением тока в проводнике, то направление вращения рукоятки буравчика будет указывать на направление магнитных силовых линий тока.

Магнитное поле катушки

Открытие Эрстедом магнитного поля проводника с током послужило толчком для исследований в области электромагнетизма. В 1820 г. французские физики **Андре Мари Ампер** (1775–1836) и **Доминик Франсуа Араго** (1786–1853) соорудили катушку, намотав токопроводящий провод на деревянный стержень. Пропустив через катушку ток, они образовали магнитное поле, которое было намного сильнее поля прямого тока.

Рассмотрим сначала магнитное поле тока, проходящего по спиральной проволоке.

Изготовим спираль из металлической проволоки и пропустим через нее ток. Приблизим к обеим сторонам спирали две магнитные стрелки (рис. 143). Обе стрелки повернутся в сторону оси спирали. При этом полюсы стрелок установятся в одном направлении.

Закрутим металлическую проволоку в форме спирали и пропустим ее через органическое стекло. Насыпем на поверхность стекла железные опилки или положим магнитные стрелки. Пропуская по проволоке ток, можно наблюдать, каким будет направление магнитных силовых линий тока в форме спирали (рис. 144).

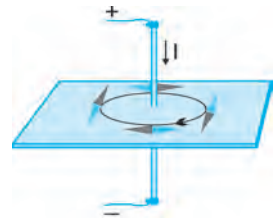


Рис. 140

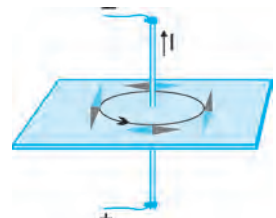


Рис. 141

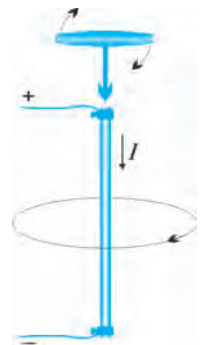


Рис. 142

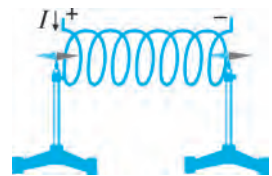


Рис. 143

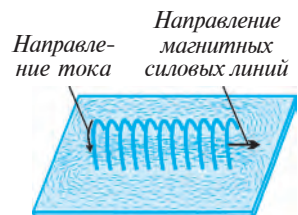


Рис. 144

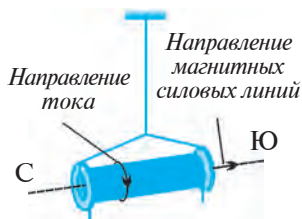


Рис. 145

Если подвесить спираль, по которой идет ток, на нить, ее ось установится вдоль линии, соединяющей южный и северный магнитные полюсы Земли. Один конец спирали будет южным полюсом (Ю), а другой конец – северным полюсом (С).

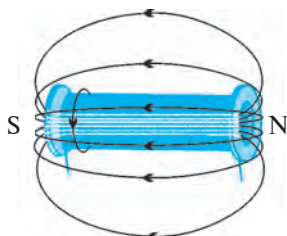


Рис. 146

Для простоты мы рассмотрели вместо катушки магнитное поле тока в форме спирали. Число витков проволоки в катушке равно не 5–10, как в спирали, а 50–100 и более. Результаты опыта для спирали справедливы и для катушки. Однако в случае катушки за счет большего числа витков магнитное поле сильнее.

Обычно проводник наматывают на пластмассовую катушку. Если подвесить такую катушку на нить в горизонтальном положении и пропустить через нее ток, она, как и магнитная стрелка, будет поворачиваться вдоль южного и северного полюсов Земли (рис. 145).

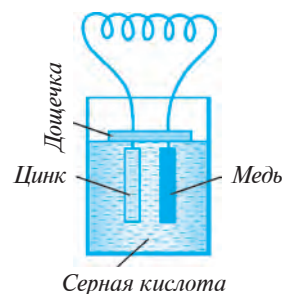


Рис. 147



Вокруг катушки, по виткам которой проходит ток, существует магнитное поле, внутри которого силовые линии располагаются параллельно друг другу (рис. 146). Катушка с током, как и магнитная стрелка, имеет два магнитных полюса.

Для изменения магнитных полюсов в катушке нужно изменить направление тока в ней.

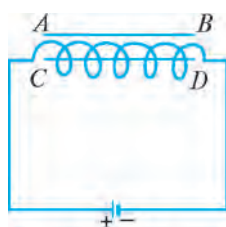


Рис. 148



1. Что представляет собой опыт Эрстеда?
2. Какое направление имеют магнитные силовые линии прямого тока?
3. Расскажите о правиле буравчика.
4. Какое направление имеют магнитные силовые линии катушки?
5. Каким образом катушку с током можно сравнить с магнитной стрелкой?

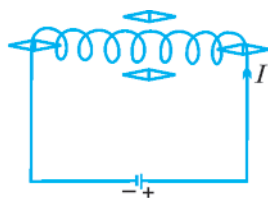


Рис. 149



1. На рис. 147 изображен «плавающий» элемент Вольта, к электродам которого подсоединены концы катушки. Пользуясь правилом буравчика, определите, какой из концов катушки является северным магнитным полюсом, а какой – южным. Можно ли использовать данную установку в качестве компаса?
2. На рис. 148 оси магнитных стрелок показаны с помощью отрезков AB и CD . Перенесите рис. 148 в тетрадь и обозначьте полюсы магнитных стрелок соответствующими буквами.

3. На рис. 149 изображена катушка с током, вблизи которой помещены четыре магнитные стрелки. Перенесите рис. 149 в тетрадь и покажите на нем полюсы магнитных стрелок.



Возьмите пластмассовую трубку длиной 5–6 см и изготовьте катушку с 10–15 витками. Подсоедините к концам витков гальванический элемент. Проследите, как витки катушки притягивают легкие железные предметы.

§ 40. ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ

Электромагнит и его магнитное поле

Соберем цепь, изображенную на рис. 150. Установим ось катушки перпендикулярно южному и северному полюсам Земли. Поместим магнитную стрелку на расстоянии 10–15 см от конца катушки и замкнем цепь. При этом стрелка повернется в сторону катушки на определенный угол.

При введении внутрь катушки железного стержня стрелка повернется на еще больший угол. Значит, железный стержень усиливает магнитное поле катушки.

Обычно для получения катушки с сердечником на железный стержень наматывают изолированный провод.



Катушка, изготовленная наматыванием на железный стержень нескольких слоев изолированного провода, называется электромагнитом.

Электромагнит был изобретен в 1825 г. английским артиллеристом **Уильямом Стерженом**. Катушка созданного им электромагнита состояла только из одного слоя провода. В 1828 г. американский физик **Джозеф Генри** (1797–1878) создал электромагнит большей силы, обмотав железный стержень множеством слоев изолированного провода.

Определим, от каких параметров зависит сила действия магнитного поля электромагнита. Для этого соберем цепь, показанную на рис. 151. Над концом подключенного к цепи электромагнита через динамометр подвешен якорь в виде железной пластины. Проведем опыт в следующей последовательности.

1. Замкнем цепь, при этом якорь будет притягиваться к катушке. Сила притяжения якоря к катушке измеряется с помощью динамометра. Если с помощью реостата увеличить ток в катушке в два раза, сила притяжения якоря к катушке также увеличится в два раза. Во сколько раз увеличивается

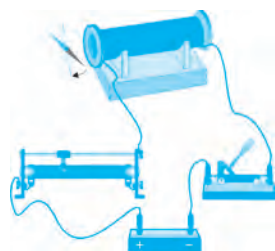


Рис. 150

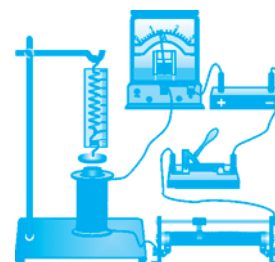


Рис. 151

сила тока, во столько же раз возрастает сила притяжения катушки. Следовательно:



Сила притяжения электромагнита прямо пропорциональна силе тока, проходящего по нему.

То есть:

$$F \sim I. \quad (1)$$

2. С уменьшением количества витков провода катушки в два раза сила притяжения якоря к электромагниту также уменьшается в два раза. С увеличением количества витков катушки в два или три раза во столько же раз возрастет сила притяжения якоря. Следовательно:



Сила притяжения электромагнита прямо пропорциональна числу витков в обмотке катушки.

То есть:

$$F \sim n. \quad (2)$$

3. Заменяем этот электромагнит другим электромагнитом вдвое меньшей длины, но с таким же числом витков в катушке. При этом будет наблюдаться увеличение силы притяжения якоря к электромагниту в четыре раза. Следовательно:



Сила притяжения электромагнита обратно пропорциональна квадрату длины катушки.

$$F \sim \frac{1}{d^2}. \quad (3)$$

Обобщив выражения (1), (2) и (3), можно записать следующую формулу:

$$F = \mu \frac{In}{d^2}, \quad (4)$$

где μ — коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств материала, из которого изготовлен сердечник электромагнита.



Рис. 152



Сила притяжения электромагнитом железного якоря прямо пропорциональна силе тока и числу витков на единицу длины катушки.

Применение электромагнита

Электромагниты широко используются во всех областях техники, в частности, на транспорте, телеграфе, радио, телевидении, в электротехнике и др.

Простое применение электромагнита показано на рис. 152. С помощью электромагнитного крана переносятся железные и стальные грузы. Преимущество такого крана состоит в том, что переносимый груз не грузится на платформу и не закрепляется. Электромагнитный кран приближают к переносимому грузу и включают ток в обмотке. В этот момент груз притягивается к крану, который переносит его в нужное место. Затем ток выключают, и груз отделяется. В технике электромагниты широко используются в качестве электромагнитного реле.



1. Что называется электромагнитом?
2. Какова зависимость силы притяжения электромагнита от силы тока, проходящего по нему? Как эту зависимость можно показать на опыте?
3. Какова зависимость силы притяжения электромагнита от числа витков в обмотке? Как можно обосновать такую зависимость на опыте?
4. Как на опыте обосновывается зависимость силы притяжения электромагнита от длины катушки?
5. Какой вид имеет формула силы притяжения электромагнита?
6. Что вы знаете об использовании электромагнита?

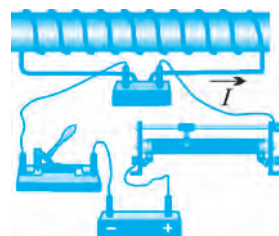


Рис. 153



1. Через катушку с железным стержнем пропущен ток в направлении, показанном на рис. 153. Определите образовавшиеся полюсы электромагнита. Как можно изменить положение полюсов этого электромагнита?
2. На рис. 154 показаны полюсы электромагнита, возникшие при прохождении тока по катушке. Определите направление тока в катушке и полюсы источника тока.
3. На рис. 155 стрелками указано направление тока в витках обмотки подковообразного электромагнита. Определите полюсы электромагнита.

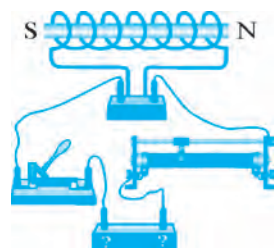


Рис. 154



Возьмите железный стержень длиной 5–6 см и обмотайте его изолированным проводом. Пусть количество витков будет 10–20. Концы провода соедините с гальваническим элементом. К готовому электромагниту приблизьте различные легкие железные предметы. Запишите в тетрадь свои выводы о сборке и работе простейшего электромагнита.

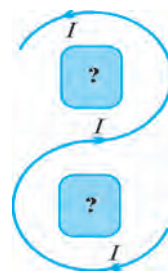


Рис. 155

§ 41. СБОРКА ЭЛЕКТРОМАГНИТА И ИСПЫТАНИЕ ЕГО ДЕЙСТВИЯ

(Лабораторная работа)

Оборудование: источник тока, реостат, ключ, провода, компас, катушка, железный сердечник, электромагнит с железным стержнем.

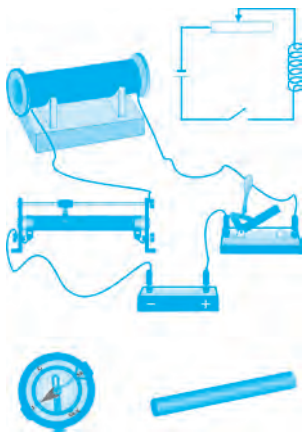


Рис. 156

Порядок выполнения работы

1. Соберите цепь из источника тока, реостата, катушки и ключа (рис. 156).
2. Начертите схему собранной цепи.
3. Замкните цепь и определите с помощью компаса полюсы катушки.
4. Отодвигайте компас от катушки вдоль ее оси до тех пор, пока воздействие магнитного поля не станет совсем слабым.
5. Вставьте в катушку железный стержень, наблюдайте за воздействием электромагнита на стрелку компаса и сделайте выводы. Запишите выводы в тетрадь.



1. Из каких элементов состоит простейшая электрическая цепь?
2. Как собирается простейший электромагнит?
3. Каково направление силовых линий магнита?

§ 42. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ РЕЛЕ

Устройство и принцип действия реле



Электромагнитное реле — это прибор, автоматически замыкающий и размыкающий цепь по внешнему сигналу.

На рис. 157 показана схема простейшего реле. Основная часть реле — электромагнит 1. При замыкании цепи и прохождении тока по обмотке электромагнита его стержень намагничивается и притягивает к себе якорь 2, который соединяется с контактом 3 рабочей цепи.

К рабочей цепи могут быть подключены различные потребители тока — электродвигатели, электрические лампы и др. При размыкании цепи реле пружина 4 оттягивает якорь 2, и рабочая цепь размыкается. На рис. 157 рабочая цепь соединена с двигателем 5.

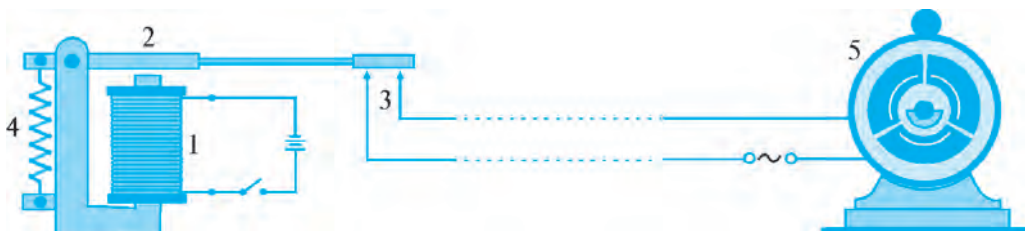


Рис. 157

Слово «реле» в переводе с французского означает «перезапрягать». Такое название во Франции носили отделения связи, где кучера почтовых дилижансов меняли лошадей.

Для оттягивания якоря электромагнитного реле электромагнитная цепь подсоединяется к источнику тока низкого напряжения, например 1,5–4,5 В. При этом достаточно пропустить по обмотке слабый ток. А рабочая цепь соединяется с источником тока большого напряжения, например 220–5000 В, и по ней протекает большой ток. С помощью цепи низкого напряжения реле позволяет замыкать и размыкать цепи большого напряжения.

Обозначения электромагнитного реле и контактов на электротехнических схемах представлены на рис. 158.

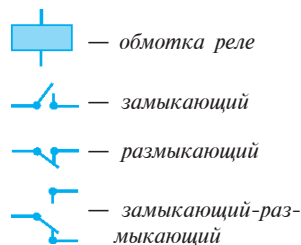


Рис. 158

Примеры использования электромагнитного реле

Электромагнитные реле широко используются во всех областях техники, особенно в автоматике.

1. Рассмотрим работу установки, сигнализирующей о пожаре в больших зданиях.

С возникновением пожара термоэлемент, установленный на потолке помещения, нагревается, и в нем появляется ток. Образовавшийся в термоэлементе ток замыкает контакты соединенного с ним реле (рис. 159). В этот же момент загораются лампы сирены и срабатывают двигатели пожарных насосов.

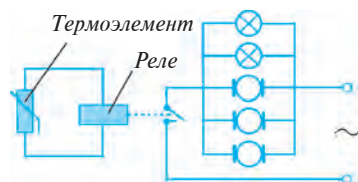


Рис. 159

2. В контрольно-пропускных автоматах метро используют электромагнитные реле с фотоэлементом. Если вы попытаетесь пройти через контрольно-пропускной автомат, не опустив жетон в отверстие, вам преградят дорогу створки с обеих сторон автомата. Каким же образом створки «чувствуют», что вы не опустили жетон?

Вы, наверное, обращали внимание на то, что из окошечка на одной стороне автомата выходит луч света, который падает на другую его сторону (рис. 160). При попадании луча света на установленный в противоположной стороне фотоэлемент в нем непрерывно образуется ток, и якорь реле притягивается к электромагниту. За счет этого рабочая цепь находится в разомкнутом состоянии. Проходя между двумя окошечками, человек загораживает луч света, и тотчас же прекращается образование тока в фото-



Рис. 160

элементе, якорь оттягивается от электромагнита, и рабочая цепь замыкается. В рабочей цепи установлены специальные механизмы, которые при прохождении по цепи тока приводят в движение створки, и проход закрывается.

При выходе человека обратно из прохода луч света снова попадает на фотоэлемент, якорь опять притягивается к электромагниту и размыкает рабочую цепь. В этот момент створки возвращаются на свое место, и проход открывается. При повторной попытке пройти через проход, не опустив жетон в отверстие, створки опять загородят проход.

В случае опускания жетона в отверстие автомата рабочая цепь размыкается в другом месте, при этом створки при прохождении человека через световой луч не приходят в движение и не закрывают прохода.

В контрольно-пропускных автоматах метро устанавливают замыкающее реле.

3. Электромагнитные реле с фотоэлементом применяют также в подъемных лифтах многоэтажных зданий. Луч света, выходящий из окошка в нижней части двери лифта, попадает в окошко напротив (рис. 161). Если человек заходит в лифт в момент закрывания двери, луч света преграждается, и тут же дверь открывается. Это предотвращает сдавливание дверью входящего или выходящего человека.

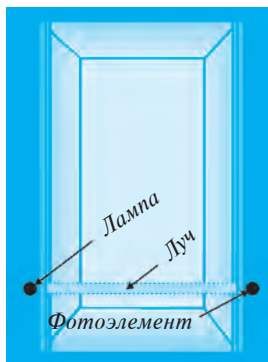


Рис. 161

Чем же отличается принцип работы реле, используемых в лифте, от принципа работы тех, которые применяются в контрольно-пропускных автоматах метро? Это отличие состоит в том, что при заграждении луча света в автомате метро он закрывается, а в лифте при заграждении светового луча дверь открывается. В подъемных лифтах высотных зданий, отличие от метро, используют замыкающие электромагнитные реле.



1. Объясните устройство и принцип действия электромагнитного реле.
2. Как работает установка, сигнализирующая о пожаре?
3. В чем состоит функция электромагнитного реле, используемого в контрольно-пропускных автоматах метро?
4. Объясните, как работает реле, используемое в лифте.



Соберите простейший электромагнит из железного стержня, изолированного провода и гальванического элемента. Возьмите железную пластину круглой формы и проверьте, как она притягивается к электромагниту при ее подключении к току.

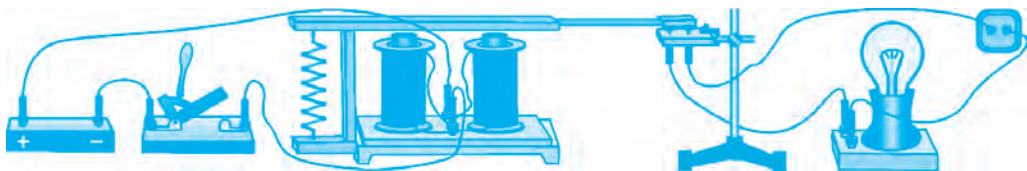


Рис. 162

§ 43. ИЗУЧЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РЕЛЕ

(Лабораторная работа для дополнительного занятия)

Оборудование: детали, необходимые для сборки электромагнита, источник тока, ключ, лампочка на подставке, розетка с напряжением 220 В, подключенная к электрической сети, провода.

Порядок выполнения работы

1. Соберите из готовых деталей электромагнитное реле (рис. 162).
2. Включите ток и проверьте работу реле.
3. Соберите рабочую цепь из источника тока и электрической лампочки.
4. С помощью ключа замыкайте и размыкайте цепь реле и наблюдайте за явлениями, происходящими в рабочей цепи.
5. Начертите схему опыта, опишите в тетради процесс выполнения работы и наблюдаемое явление.



1. Расскажите о принципе работы электромагнитной установки.
2. Расскажите о назначении каждой детали собранного в опыте электромагнита.
3. Объясните явление зажигания и гашения лампы при замыкании и размыкании цепи реле.

§ 44. ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОВОДНИК С ТОКОМ

Правило левой руки

На проводник с током в магнитном поле действует определенная сила. Для изучения этой силы проведем следующий опыт. Соберем цепь и установку, изображенные на рис. 163, *а*. Здесь проводник *AB* на гибких проводах подвешен к штативу. Концы проводов соединены с электрической цепью. Проводник *AB* помещен между полюсами магнита, т.е. расположен в магнитном поле. При замыкании цепи проводник придет в движение и подтянется к магниту (рис. 163, *б*). При удалении магнита проводник вернется в исходное положение. Если изменить полюсы магнитного поля, проводник будет отталкиваться от него, а если изменить направление тока в цепи, проводник будет притягиваться к магниту.

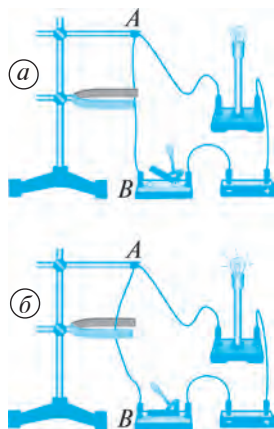


Рис. 163



Если ладонь левой руки держать так, чтобы сквозь нее проходили силовые линии магнитного поля, а четыре пальца — вытянутыми вдоль направления тока, то отогнутый на 90° большой палец будет указывать направление силы, действующей на проводник с током.

Устройство и принцип действия электроизмерительных приборов

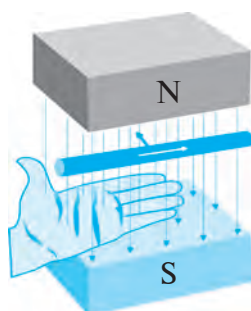


Рис. 164

Соберем цепь и установку, изображенные на рис. 165, и поместим в магнитное поле проволочную рамку с током. При замыкании цепи рамка повернется и установится перпендикулярно силовым линиям магнитного поля.

При изменении направления тока рамка повернется на 180° . Явление поворота рамки с током в магнитном поле используется в электроизмерительных приборах.

На рис. 166 изображено устройство простейшего амперметра. Здесь к магниту 1 прикреплены наконечники 2 полюса. Подвижная часть — рамка 3 состоит из алюминиевого каркаса, на который намотана тонкая медная проволока. Рамка может свободно вращаться вокруг неподвижного стержня 4 и насажена на ось 5. Концы проволоки 6 обмотки соединяются с цепью. Произвольному вращению рамки препятствует спираль 7.

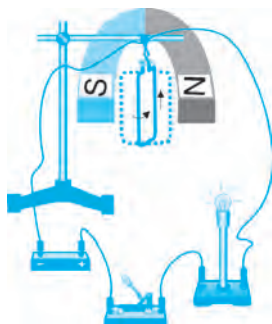


Рис. 165

При замыкании цепи рамка под воздействием магнитного поля повернется перпендикулярно к полюсам магнита. Повороту рамки на 90° будет препятствовать спираль 7. Чем большим будет ток в цепи, тем на больший градус повернется стрелка 8, укрепленная на оси 5. Стрелка показывает соответствующее значение силы тока на градуированной шкале 9. При выключении тока в цепи рамка под действием спирали возвращается в исходное положение, а стрелка указывает нулевое значение.

Принцип работы вольтметра такой же, как и амперметра.



1. Охарактеризуйте опыт, изображенный на рис. 165.
2. Расскажите о правиле левой руки.
3. Объясните устройство и принцип работы простейшего амперметра.



1. В какую сторону покатится легкая алюминиевая трубка при замыкании цепи, изображенной на рис. 167? Обоснуйте ответ.
2. На двух оголенных проводниках, подсоединенных к полюсам источника тока, лежит легкая алюминиевая трубка AB . В какую сторону покатится трубка, если силовые линии магнитного поля направлены снизу вверх (рис. 168)?
3. Между полюсами магнита помещены четыре проводника с током (рис. 169). Определите, в какую сторону будет двигаться каждый проводник.

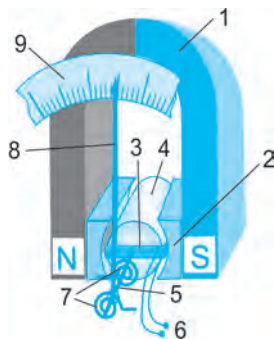


Рис. 166

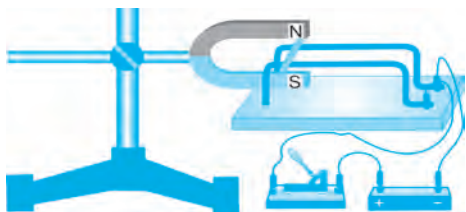


Рис. 167

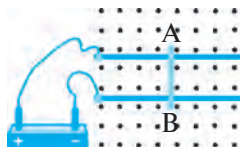


Рис. 168



Рис. 169

§ 45. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Устройство электродвигателя



Электрический двигатель постоянного тока — установка, состоящая из двух основных частей — статора и ротора, которая превращает электрическую энергию постоянного тока в механическую энергию.

Слово «*статор*» в переводе с латинского означает «*неподвижный*». Статор состоит из постоянного магнита (рис. 170, *а*) или из электромагнита со стержнем особой формы (рис. 170, *б*). Статор закреплен на корпусе двигателя.

Слово «*ротор*» в переводе с латинского означает «*вращать*». Ротор составляет вращающуюся часть двигателя. Основная часть ротора состоит

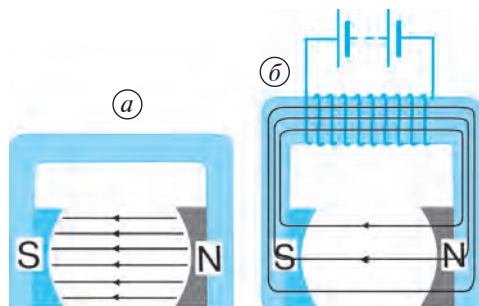


Рис. 170

из рамки, снабженной одной или несколькими катушками, и коллектора. Концы проводов обмотки рамки соединяются с пластинами коллектора.

Коллектор вращается вместе с рамкой. Напротив обеих пластин коллектора неподвижно закреплены две угольные щетки, которые с помощью специальных пружин плотно прижимаются к пластинам. Ток к пластинам коллектора подводится этими щетками.

Принцип действия электродвигателя

Рассмотрим принцип действия простейшего двигателя, состоящего из ротора с одной рамкой (рис. 171). Пластины коллектора двигателя представляют собой два полукольца, к которым плотно прижаты щетки *A* и *B*. Они присоединяются к проводам, идущим от полюсов источника тока.

От источника ток проходит по щетке, коллектору и рамке в направлении *A*–*1*–*2*–*3*–*4*–*B* (рис. 171, *a*). Под воздействием магнитного поля рамка устанавливается перпендикулярно силовым линиям магнитного поля. При этом щетки *A* и *B* не касаются пластин коллектора, и по рамке не проходит ток (рис. 171, *б*). Однако рамка, продолжая двигаться по инерции, располагается параллельно магнитным силовым линиям (рис. 171, *в*). При этом щетки касаются пластин коллектора, и по рамке в направлении *A*–*4*–*3*–*2*–*1*–*B* проходит ток. Под действием магнитного поля рамка опять стремится установиться перпендикулярно силовым линиям магнитного поля.

Процесс продолжается таким образом, и рамка вращается непрерывно. Движение рамки с током, вращающейся под влиянием магнитного поля, передается по оси ротора на другие механизмы.

На практике не используются двигатели с ротором, состоящим из одной рамки, так как рамка вращается неравномерно и не способна вращать

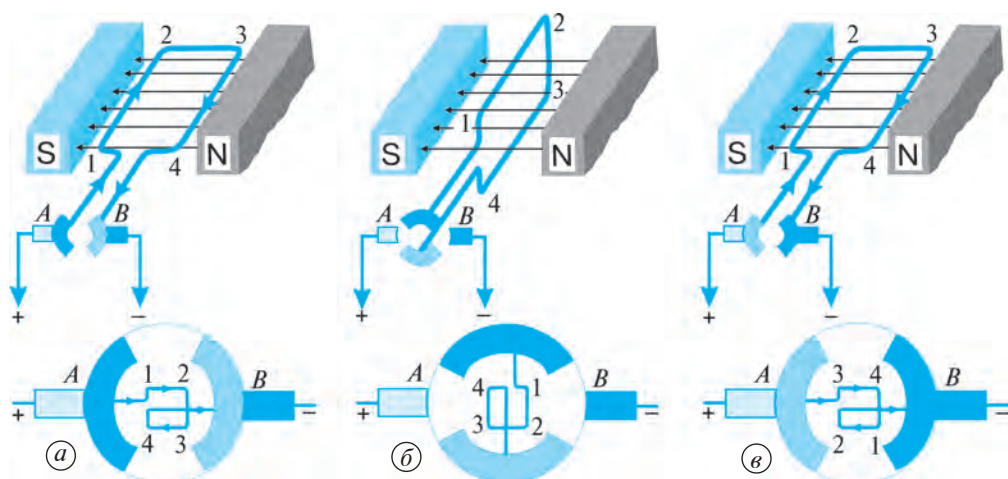


Рис. 171

ось ротора. Переходя из перпендикулярного положения к параллельному относительно магнитных силовых линий, рамка совершает медленные и слабые вращательные движения.

В электродвигателях, применяемых на практике, ротор имеет две рамки, которые насажены на одну ось перпендикулярно друг другу. При этом число пластин коллектора составляет не две, а четыре (рис. 172).

Когда по первой рамке, расположенной параллельно магнитным силовым линиям, проходит ток, она под воздействием магнитного поля стремится занять перпендикулярное положение. В то время, когда первая рамка находится в перпендикулярном положении, ток проходит по второй рамке, расположенной параллельно магнитным силовым линиям, и теперь она стремится занять перпендикулярное положение. Таким образом рамки вращают ротор равномерно.

Для увеличения мощности двигателей, применяемых в технике, ротор снабжают пятью-шестью рамками. Их обмотка состоит из большого числа витков, которые располагаются в пазах железного цилиндра. При этом цилиндр выполняет функцию стержня. На рис. 173 представлено изображение ротора с шестью рамками и железным сердечником и статора в поперечном сечении.

На рис. 174 показан электродвигатель большой мощности, широко используемый в технике.

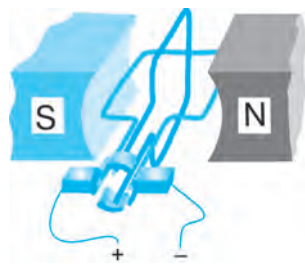


Рис. 172

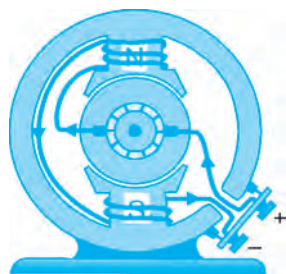


Рис. 173



Рис. 174

Применение электрических двигателей

Электрические двигатели по сравнению с тепловыми обладают рядом преимуществ. Во-первых, электродвигатели более компактны и удобны в работе, их можно установить в любом подходящем месте. Во-вторых, при работе они не выделяют газов, дыма или пара. В-третьих, для них не нужен запас топлива и воды. В-четвертых, коэффициент полезного действия электродвигателей составляет свыше 80%, в то время как у тепловых двигателей этот показатель не превышает 20%.



Преимущества электродвигателей: компактны и удобны в использовании, не загрязняют окружающую среду, т.е. экологически чистые, не требуют топлива и воды, имеют высокий коэффициент полезного действия.

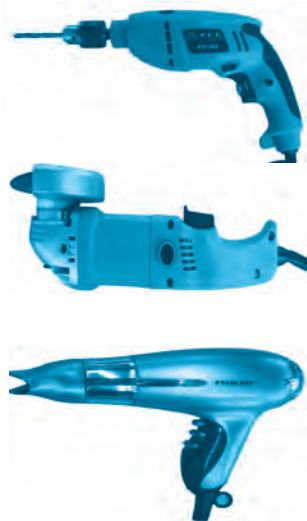


Рис. 175

Существуют электродвигатели самых различных мощностей: например, от нескольких ватт в электрических бритвах до нескольких мегаватт в электровозах, на кораблях и др.

Электродвигатели устанавливают в различных бытовых электроприборах – дрелях, заточках, фенах (рис. 175), в магнитофонах, вентиляторах, холодильниках, швейных и стиральных машинах. На предприятиях электрические двигатели приводят в движение различные станки и машины. В сельском хозяйстве с использованием электродвигателей работают насосы, молотилки, элеваторы и др.

На транспорте электрические двигатели приводят в движение трамваи, троллейбусы, поезда метро, электровозы.

Применение электродвигателей в самых различных областях облегчает труд человека и создает удобства для него.



1. В какую энергию превращается энергия электрического тока в электрическом двигателе постоянного тока?
2. Объясните устройство электродвигателя.
3. На чем основан принцип действия электродвигателя?
4. Расскажите о принципе действия электродвигателя.
5. Какие преимущества имеет электродвигатель?
6. Что вы знаете о применении электродвигателей?



Рассмотрите электродвигатель, используемый в электроприборах (например, в электробритве, вентиляторе, магнитофоне, швейной или стиральной машине) и запишите свои соображения в тетрадь.

§ 46. ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА (НА МОДЕЛИ)

(Лабораторная работа)

Оборудование: источник тока, ключ, провода, детали, необходимые для сборки модели электродвигателя постоянного тока.

Порядок выполнения работы

1. Просмотрите каждую из деталей электродвигателя постоянного тока и запишите в тетрадь название и назначение каждой детали.
2. Соберите модель электродвигателя постоянного тока.
3. Соберите электрическую цепь из источника тока, электродвигателя и ключа.

4. Начертите схему собранной электрической цепи.
5. Замкните цепь, при этом ротор двигателя должен начать вращаться. Если же ротор не будет вращаться, найдите и устраните причину этого.
6. Проследите за движением ротора, обращая внимание на то, какие части двигателя неподвижны, какие вращаются, как изменяется положение щеток, коллектора и рамок по отношению друг к другу. Запишите наблюдения в тетрадь.
7. Проанализируйте результаты и сделайте выводы.



1. Из каких частей состоит модель электродвигателя постоянного тока?
2. Из каких деталей состоит ротор и статор?
3. Какая сила приводит в движение ротор двигателя?

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ V

- Слово «магнит» происходит от названия города Магнесия в древней Малой Азии. Камень, найденный в этих местах и притягивавший железо, называли «магнетическим камнем».
- Стальные бруски, намагниченные при трении о природный магнит в течение длительного времени, называются искусственными магнитами.
- Тело, сохраняющее свое намагниченное состояние в течение длительного времени, называется постоянным магнитом или просто магнитом.
- Вокруг магнита существует поле, которое называется магнитным. Линии, по которым располагаются железные опилки в магнитном поле, указывают на магнитные силовые линии.
- Южный полюс магнита принято обозначать буквами *S* («souts» — «юг») или *Ю*, а северный — буквами *N* («pours» — «север») или *C*. За направление магнитных силовых линий принято направление с северного полюса *N* на южный *S*.
- Южный магнитный полюс Земли расположен около 75° северной широты и 99° западной долготы на расстоянии приблизительно 2100 км от северного географического полюса земного шара.
- Северный магнитный полюс находится вблизи южного географического полюса Земли — на $66,5^\circ$ южной широты и 140° восточной долготы.
- Компас указывает не на географические, а на магнитные полюсы Земли.
- Вокруг проводника, по которому идет электрический ток, существует магнитное поле.
- Магнитные силовые линии прямого тока характеризуются окружностями вокруг проводника, по которому проходит ток.
- Направление силовых линий магнитного поля, образующегося вокруг прямого тока, можно определить с помощью правила буравчика. Если направление поступательного движения буравчика совпадает с направлением тока в про-

воднике, то направление вращения рукоятки буравчика будет указывать на направление магнитных силовых линий тока.

- Вокруг катушки, по виткам которой проходит ток, существует магнитное поле, внутри которого силовые линии располагаются параллельно друг другу. Катушка с током, как и магнитная стрелка, имеет два магнитных полюса.
- Катушка, изготовленная наматыванием на железный стержень нескольких слоев изолированного провода, называется электромагнитом.
- Сила притяжения электромагнита прямо пропорциональна силе тока и числу витков на единицу длины катушки.
- Электромагнитное реле — это прибор, автоматически замыкающий и размыкающий цепь по внешнему сигналу.
- Направление силы, действующей на проводник с током в магнитном поле, можно определить с помощью правила левой руки. Если ладонь левой руки держать так, чтобы сквозь нее проходили силовые линии магнитного поля, а четыре пальца — вытянутыми вдоль направления тока, то отогнутый на 90° большой палец будет указывать на направление силы, действующей на проводник с током.
- Электрический двигатель постоянного тока превращает электрическую энергию постоянного тока в механическую энергию.
- Преимущества электродвигателей: компактны и удобны в использовании, не загрязняют окружающую среду, т.е. экологически чистые, не требуют топлива и воды, имеют высокий коэффициент полезного действия.

ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ ГЛАВЫ V

1. Как при помощи магнита отделить железные опилки от медных? Почему это можно сделать?
2. Из двух стальных игл одна намагничена. Как узнать, какая игла намагничена, имея в распоряжении только эти две иглы?
3. Как будут вести себя эти иглы, если их поместить на пробки, плавающие в воде?
4. Стрелка компаса отклоняется от своего первоначального положения, если к ней подвести магнит. Будет ли она отклоняться при поднесении к ней железного бруска? А медного бруска?
5. Используя правило буравчика и правило левой руки, покажите, что параллельные токи, направленные в одну сторону, притягиваются друг к другу, а направленные в противоположные стороны — отталкиваются.
6. В каком направлении повернется магнитная стрелка в контуре, обтекаемом током, как показано на рис. 176?
7. Круглый виток провода свободно висит на подводящих проводах. По витку течет ток в указанном на рис. 177 направлении. Как поведет себя виток, если перед ним поместить линейный магнит: а) обращенный южным полюсом к витку; б) обращенный северным полюсом к витку; в) расположенный параллельно плоскости витка южным полюсом справа?

8. Круговой проводник A закреплен, а круговой проводник B может вращаться вокруг оси (рис. 178). Как расположится проводник B , если по проводникам пропустить ток в направлениях, указанных на рисунке?

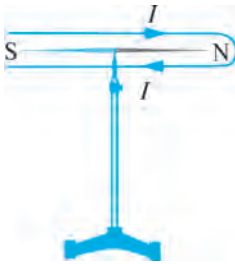


Рис. 176

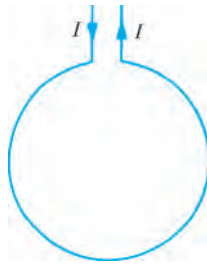


Рис. 177

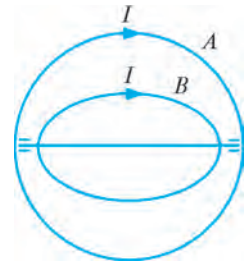


Рис. 178

9. Пометьте знаками «+» и «-» полюсы источника тока, питающего соленоид, чтобы наблюдалось указанное на рис. 179 взаимодействие.
10. На рис. 180 представлены взаимодействия магнитного поля с током. Сформулируйте задачу для каждого из приведенных случаев и решите ее.
11. Какого условия не хватает, чтобы определить полюсы магнита (рис. 181). Определите положение полюсов магнита, подставив недостающее условие.

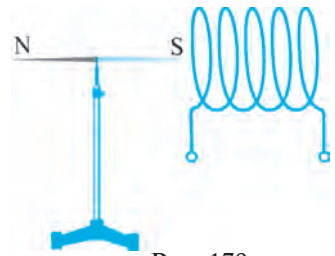


Рис. 179

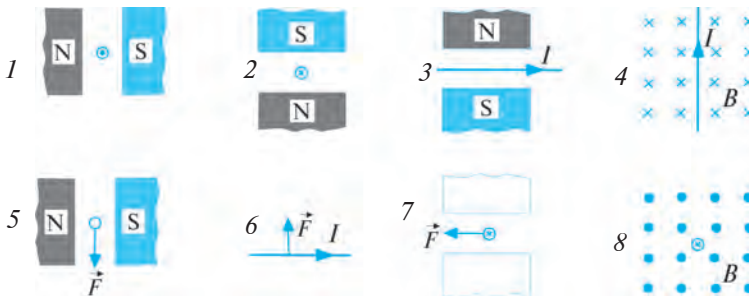


Рис. 180



Рис. 181

ГЛАВА VI

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

§ 47. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ИНДУКЦИОННОГО ТОКА

Опыты Фарадея

Если электрический ток приводит к образованию магнитного поля, нельзя ли с помощью магнитного поля получить электрический ток в проводнике?

В 1822 г. английский ученый Майкл Фарадей поставил перед собой задачу — получить в проводнике электрический ток с помощью магнитного поля. С этой целью он провел ряд опытов, но только в 1831 г. эти опыты дали результат. После девятилетних поисков Фарадею удалось получить электрический ток в проводнике с помощью магнитного поля. Это явление получило название *электромагнитной индукции*.

Открытие Фарадея явилось одним из величайших в первой половине XIX в.

В те времена еще не были созданы ни гальванометр, ни амперметр — приборы для обнаружения или измерения силы тока. Это осложняло получение результата в подобных опытах.

В настоящее время опыты, проведенные Фарадеем, можно выполнять в школьных кабинетах физики, используя гальванометр.

Возьмем проводник, присоединим его концы к зажимам гальванометра и будем перемещать проводник между полюсами магнита вверх и вниз. При этом гальванометр покажет, что в проводнике появился ток (рис. 182). Если проводник внутри магнита оставим неподвижным или будем двигать его параллельно магнитным силовым линиям, ток в нем

не возникнет.

Плотность магнитных силовых линий между полюсами магнита бывает неодинаковой. При передвижении проводника действующие на него магнитные силовые линии изменяются со временем. Поэтому в проводнике возникает ток.

Соединим концы проволоки катушки с гальванометром и введем в катушку магнит. При этом гальванометр покажет, что в катушке появился ток (рис. 183, а). Подержим магнит в неподвижном состоянии. В этом слу-

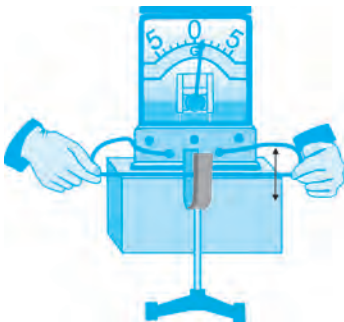


Рис. 182

чае ток прекратится (рис. 183, б). Теперь будем выдвигать магнит из катушки и заметим, что ток появился опять. При этом ток будет направлен в противоположную сторону, что можно увидеть по отклонению стрелки гальванометра влево от нуля (рис. 183, в).

Ток возникает также при введении катушки в неподвижный магнит (рис. 184). Возьмем вместо магнита катушку с током и будем двигать ее внутри другой катушки. При этом в неподвижной катушке также возникнет ток (рис. 185).

Чем же объясняется возникновение тока в опытах, проведенных с катушкой? Причина состоит в том, что при движении катушки и магнита (электромагнита) относительно друг друга магнитные силовые линии, воздействующие на обмотку катушки, изменяются со временем.

Фарадей доказал, что ток в проводнике возникает только тогда, когда пересекающие его магнитные силовые линии изменяются со временем. Чем быстрее изменяются со временем магнитные силовые линии, пересекающие проводник, тем больший электрический ток в нем образуется.



Явление возникновения электрического тока в замкнутом проводнике при пересечении его изменяющимися со временем силовыми линиями магнитного поля называется электромагнитной индукцией, а возникающий ток — индукционным током.

Слово «индукция» в переводе с латинского означает «возбуждать».

Индукционное электрическое поле

Если в проводнике есть электрическое поле, то должен быть и ток. В проведенных выше опытах электрическое поле возникает, когда изменяющиеся магнитные силовые линии пересекают проводник или обмотку катушки. Это электрическое поле создает в проводнике (в обмотке катушки) индукционный ток.

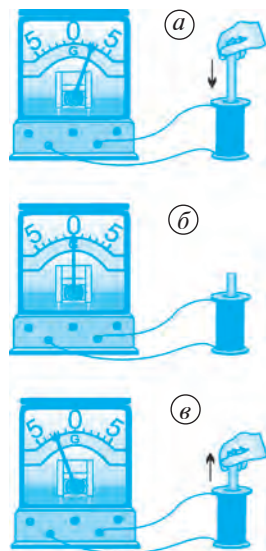


Рис. 183

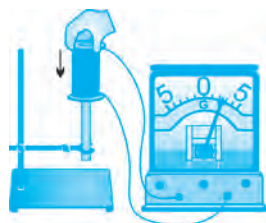


Рис. 184

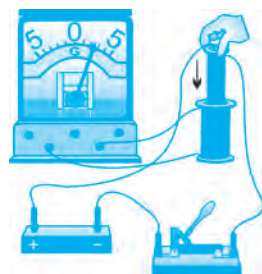


Рис. 185



Электрическое поле, создающее индукционный ток, называется индукционным электрическим полем.

Согласно закону Ома, сила тока пропорциональна напряжению, т.е. $I \sim U$. Следовательно, по силе индукционного тока можно судить об индукционном электрическом поле.

В опытах, проведенных на установках, показанных на рис. 183 и 184, выявлено, что чем быстрее движется магнит (катушка), тем больше сила индукционного тока. Кроме того, чем больше число витков в обмотке катушки, тем больше сила возникшего индукционного тока.



Напряжение индукционного электрического поля зависит от скорости изменения силовых линий магнитного поля, пронизывающих витки катушки, и числа витков в обмотке катушки.



1. В чем состояла цель опытов Фарадея?
2. Объясните опыты, показанные на рис. 182–185, и сделайте выводы, вытекающие из них.
3. Что такое электромагнитная индукция? А индукционный ток?
4. Какое поле называется индукционным электрическим полем?
5. От каких величин зависит напряжение индукционного поля?



Проведите опыты, показанные на рис. 183. Основываясь на результатах опытов, сделайте выводы.

§ 48. ПЕРЕМЕННЫЙ ИНДУКЦИОННЫЙ ТОК

Направление индукционного тока

Опыты, проведенные с целью получения индукционного тока, показали, что направление индукционного тока зависит от направления изменения магнитных силовых линий и направления движения проводника.



Рис. 186

Если проводник, соединенный с гальванометром, движется внутри магнита вниз, возникший индукционный ток направлен в одну сторону, если же проводник движется вверх, индукционный ток направлен в противоположную сторону (рис. 182). Точно так же при движении магнита внутри катушки вверх и вниз образующийся в витках обмотки индукционный ток направлен в противоположные стороны (рис. 183).

Направление индукционного тока, возникающего в проводнике, соединенном с гальванометром, можно определить с помощью правила правой руки (рис. 186).



Если ладонь правой руки держать так, чтобы силовые линии магнитного поля входили в ладонь, а большой палец, отогнутый на 90° , показывал направление движения проводника, то направление вытянутых четырех пальцев будет указывать на направление индукционного тока.

Переменный ток

Если поместить магнит в катушку, соединенную с гальванометром, и попеременно передвигать его вверх и вниз, в обмотке катушки возникнет индукционный ток, направление которого периодически меняется. Это можно определить по отклонению стрелки гальванометра то вправо, то влево от нуля. Принимая отклонение стрелки гальванометра вправо от нуля положительной силой тока, а отклонение влево от нуля — отрицательной, можно построить график зависимости силы тока I от времени t (рис. 187). Этот график выражает изменение индукционного тока (напряжения) со временем.

Переменный индукционный ток можно просто называть переменным током.



Электрический ток, величина и направление которого периодически меняются со временем, называется переменным током.

Такой ток можно изучать с помощью прибора, называемого осциллографом (от лат. «*oscillo*» («колеблюсь») + «*grafo*» («пишу»)). На экране осциллографа можно наблюдать такое же, как и на рис. 187, графическое изображение колебаний переменного электрического тока (рис. 188).

Соединим параллельно осциллограф с гальванометром, соединенным с катушкой, и будем вертикально перемещать внутри нее магнит (рис. 189).

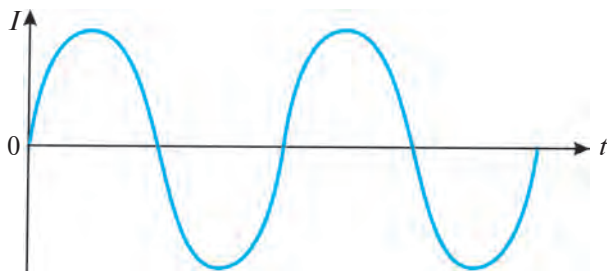


Рис. 187

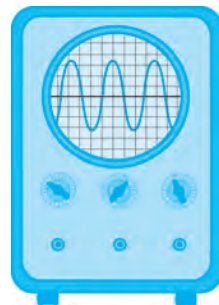


Рис. 188

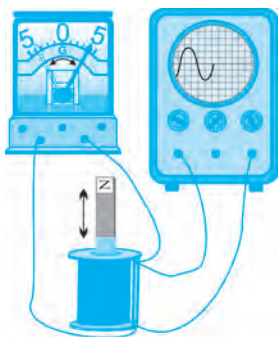


Рис. 189

Тогда при отклонении стрелки гальванометра вправо светящаяся точка на экране осциллографа будет перемещаться вверх, а при отклонении стрелки гальванометра влево светящаяся точка будет двигаться вниз. С перемещением магнита внутри катушки вверх-вниз светящаяся точка на экране осциллографа также будет двигаться вверх-вниз. В то же время эта светящаяся точка будет смещаться и вправо. В результате на экране появится график синусоидальной формы.

Подвесим магнит, находящийся внутри катушки, с помощью пружины на штатив, как показано на рис. 190. Если мы полностью вставим магнит в катушку, а затем отпустим, он начнет совершать внутри катушки свободные колебательные движения. Направление индукционного тока, возникшего в результате неоднократного движения магнита вверх-вниз за одну секунду, изменится столько же раз. При этом график возникшего переменного индукционного тока можно увидеть на экране осциллографа.

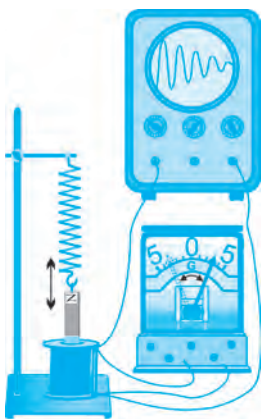


Рис. 190



Движения магнита внутри катушки вверх-вниз со временем затухают, поэтому на экране осциллографа образуется график затухающих колебаний.

Микрофон и динамик

Рассмотрим применение переменного индукционного тока на примере микрофона и динамика.

В настоящее время невозможно представить радио, телевидение, театр и музыкальное искусство без микрофона.

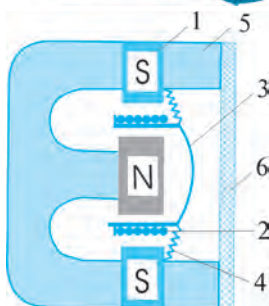


Рис. 191



Микрофон превращает механические колебания в электрические.

На рис. 191 показаны внешний вид и устройство микрофона. Внутри микрофона помещен магнит 1 кольцеобразной формы, между полюсами которого к катушкам 2 прикреплена гибкая металлическая мембрана 3. Она зафиксирована на корпусе 5 с помощью эластичного материала 4. Передняя поверхность корпуса закрыта сеткой 6.

Когда человек говорит в микрофон, его голос приводит в колебание воздух, и колебания воздуха передаются через мембрану в катушку. Поскольку катушка находится между полюсами магнита, колебания образуют в витках катушки переменное напряжение. При этом механические колебания голоса человека преобразуются в электрические колебания в проводнике. Подключив микрофон к осциллографу, можно увидеть на его экране график индукционного тока, образующегося при разговоре (рис. 192).



Рис. 192

Электрические колебания, возникающие в микрофоне, очень слабы. Они усиливаются с помощью специального прибора – усилителя тока.

Подсоединив усиленный переменный ток к динамику, можно услышать голос человека, говорящего в микрофон.



Динамик преобразует электрические колебания звука обратно в механические колебания, т.е. воспроизводит звуки, которые произносятся перед микрофоном.

На рис. 193 представлены образцы динамиков и устройство простейшего из них. Внутри динамика помещен магнит 1, в щели между полюсами которого установлена катушка 2. Катушка соединена с одним концом диффузора 3, второй конец которого прикреплен к корпусу 4. Поверхность диффузора закрыта сеткой 5.

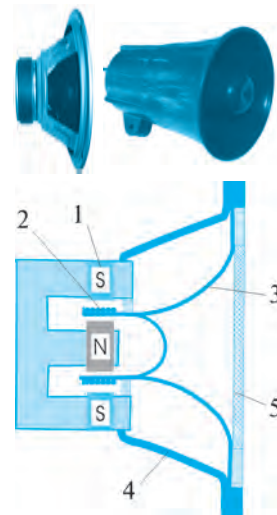


Рис. 193

Возникший в микрофоне и усиленный в усилителе переменный ток, проходя по катушке динамика, создает переменное магнитное поле, которое, взаимодействуя с постоянным магнитным полем, приводит в колебание катушку. Колебания катушки передаются диффузору. Колебания, переданные диффузору, приводят в колебание воздух, и мы слышим голос человека, говорящего в микрофон.

Устройство и принцип действия телефона такие же, как микрофона и динамика.



В верхней части трубки, прикладываемой к уху, находится собственно телефон, работающий как динамик, а в нижней – микрофон, в который мы говорим.

Когда мы говорим в микрофон трубки, наш голос по динамику другой трубки слышит наш собеседник. И наоборот, когда наш собеседник говорит в микрофон своей трубки, мы слышим его голос по динамику своей трубки.



1. Как в опыте можно определить направление индукционного тока?
2. Расскажите о правиле правой руки.
3. Какой ток называется переменным индукционным током?
4. В чем состоит функция осциллографа? Как в нем можно получить график переменного тока?
5. Объясните устройство и принцип действия микрофона.
6. Объясните устройство и принцип действия динамика.
7. Какими схожими свойствами обладают телефон, микрофон и динамик?



Возьмите вышедший из строя микрофон, динамик или телефонную трубку, проанализируйте их устройство и запишите выводы в тетрадь.

§ 49. ГЕНЕРАТОР ИНДУКЦИОННОГО ТОКА

Устройство и принцип действия генератора индукционного тока

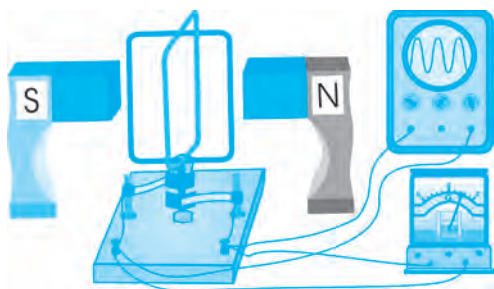


Рис. 194

На рис. 194 изображена модель индукционного генератора. Его устройство и действие основаны на явлении электромагнитной индукции. В модели генератора между полюсами магнита установлена рамка с обмоткой, которая может свободно вращаться вокруг своей оси. Концы обмотки с помощью колец и щеток соединены с гальванометром и осциллографом.

При поворачивании рамки вручную ее обмотку пересекают силовые линии магнитного поля, и в обмотке возникает индукционный ток. При одном обороте рамки направление индукционного тока, возникшего в проводнике, также изменяется один раз. Если рамка за одну секунду обернется пять раз, направление тока изменится пять раз. Изменение тока со временем можно проследить на экране осциллографа в виде синусоидальной кривой, величина и направление которой изменяются со временем. Осциллограф показывает возникновение напряжения переменного тока.



Прибор, преобразующий механическую энергию в электрическую, называется генератором индукционного тока.

Генератор состоит, в основном, из статора и ротора. Статор — неподвижная часть генератора, а ротор — вращающаяся его часть.

Статор состоит из полого цилиндра, изготовленного из специальных стальных пластин. В пазах внутренних стенок цилиндра располагаются обмотки проводников. Во время работы генератора в этих обмотках возникает индукционный ток. На рис. 195, а показано расположение одного витка обмотки в пазу стального цилиндра. Ротор представляет собой электромагнит, который во время работы генератора с помощью колец и щеток подключается к источнику постоянного тока (рис. 195, б).

На рис. 195, в представлена полная схема генератора переменного тока. При вращении ротора с помощью какой-либо внешней силы (двигателя) вместе с ним вращается и магнитное поле. При этом силовые линии магнитного поля пересекают проводники обмотки статора, и в них возникает переменный ток, который по соответствующим проводам передается потребителям.

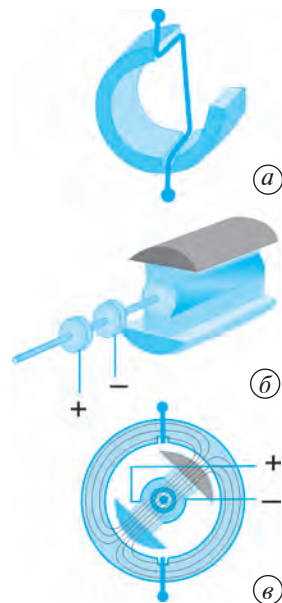


Рис. 195

Применение генератора индукционного тока



Генератор индукционного тока используется при выработке электрической энергии. При этом ротор генератора вращается с помощью паровой турбины, гидротурбины, ветра или двигателя внутреннего сгорания.

Для увеличения производительности генератора на внутренних стенках цилиндра статора делают многочисленные пазы, в которые укладывают витки проводников.

Как видно на схеме генератора, приведенной на рис. 196, цилиндр статора имеет 12 пазов, в которых располагаются шесть пар витков. Такой генератор, по сравнению с генератором с одной парой витков (с одной рамкой), может выработать в шесть раз больше тока. Если ротор совершает за секунду один оборот, направление возникшего при этом тока изменяется за секунду шесть раз. В этом случае частота выработанного электрического тока будет равна 6 Гц.

Население почти всех стран пользуется приборами, рассчитанными на частоту тока 50 Гц, поэтому на электростанциях вырабатывается переменный ток частотой 50 Гц.

Вычислим, с какой частотой должен вращаться ротор генератора, показанного на рис. 196, чтобы выработать ток частотой 50 Гц. Рассчитаем частоту оборотов ротора при числе витков в статоре, равном 6:



Рис. 196

$$\nu = \frac{50}{6} \text{ Гц} = \frac{50}{6} \frac{1}{\text{с}} = \frac{50}{6} \frac{1}{\frac{1}{60} \text{ мин}} = 500 \frac{1}{\text{мин}}$$

Значит, для получения с помощью данного генератора электрического тока частотой 50 Гц его ротор должен совершать 500 оборотов в минуту.

Ротор такого генератора можно вращать с помощью двигателя внутреннего сгорания, т.е. с помощью мотора автомашины, и получить ток частотой 50 Гц. С помощью двигателя внутреннего сгорания получают электрический ток в местах, где нет централизованного энергоснабжения.



При получении электрического тока с помощью двигателя внутреннего сгорания тепловая энергия превращается в электрическую.

Подобные генераторы имеют небольшую мощность и способны обеспечить электрическим током лишь несколько жилищ.

При выработке электроэнергии на электростанциях число обмоток в статоре генератора бывает больше десяти. Например, статоры генераторов на гидроэлектростанциях имеют 24 обмотки, их роторы вращаются 125 раз в минуту и вырабатывают электрический ток частотой 50 Гц.

Свойства переменного тока



При прохождении по проводнику переменного тока, как и при постоянном токе, проводник нагревается.

Это свойство переменного тока используется в электронагревательных приборах и лампах накаливания.



При прохождении по проводнику переменного тока, как и при постоянном токе, вокруг проводника создается магнитное поле.

В отличие от постоянного тока, при протекании переменного тока частотой 50 Гц направление магнитных силовых линий, возникающих вокруг проводника, меняется в противоположные стороны 50 раз. Столько же раз изменяются полюсы магнита. Если через электромагнит пропустить ток и вставить в него стальную пластину, она начнет колебаться с частотой 50 Гц и издавать звук.



При прохождении по проводнику переменного тока его сила и напряжение периодически изменяются от нуля до максимального значения.

Изменение силы и напряжения переменного тока можно проследить на экране осциллографа. На амперметре и вольтметре, подключенных к цепи переменного тока, фиксируются эффективные значения силы и напряжения тока. Эффективное значение определяется путем деления максимального значения силы тока или напряжения на $\sqrt{2}$, т.е.

$$U_{\text{эфф}} = \frac{U_{\text{макс}}}{\sqrt{2}} .$$

Пример решения задачи

Эффективное значение напряжения выработанного электрического тока равно 220 В. Найдите максимальное значение напряжения электрического тока.

Дано:

Формула:

Решение:

$$U_{\text{эфф}} = 220 \text{ В};$$

$$U_{\text{макс}} = \sqrt{2} U_{\text{эфф}};$$

$$U_{\text{макс}} = \sqrt{2} \cdot 220 \text{ В} \approx 310 \text{ В}.$$

Найти:

$$U_{\text{макс}} - ?$$

Ответ: $U_{\text{макс}} \approx 310 \text{ В}.$



1. Что называется генератором индукционного тока?
2. Объясните устройство и принцип действия генератора индукционного тока.
3. Как возникает электрический ток частотой 50 Гц в генераторах, используемых при выработке электроэнергии?
4. Объясните свойства переменного тока.
5. За счет чего вырабатывается электроэнергия при использовании двигателя внутреннего сгорания?



1. Сколько оборотов в секунду должен совершить ротор генератора, чтобы получить электрический ток частотой 50 Гц, если число обмоток статора равно 10?
2. Ротор генератора совершает 120 оборотов в минуту. Сколько обмоток должно быть в статоре, чтобы образовался электрический ток частотой 50 Гц?
3. Каким будет эффективное значение напряжения вырабатываемого электрического тока, если максимальное значение напряжения составляет 500 В?

§ 50. ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Тепловые электростанции



На электростанциях с помощью генераторов переменного тока энергия другого вида преобразуется в электрическую.

На практике электрическую энергию вырабатывают на тепловых электростанциях (ТЭС), гидроэлектростанциях (ГЭС), атомных электростанциях (АЭС) и в редких случаях — на ветряных электростанциях.



На тепловой электростанции химическая энергия, возникающая в процессе горения топлива, превращается в электрическую.

В качестве топлива на тепловых электростанциях используют уголь, нефть, мазут, торф, газ.

ТЭС состоит из нескольких самостоятельно работающих блоков. В каждый блок входят цеха по подготовке топлива, воды, котельная, турбогенератор и цех конденсации пара.

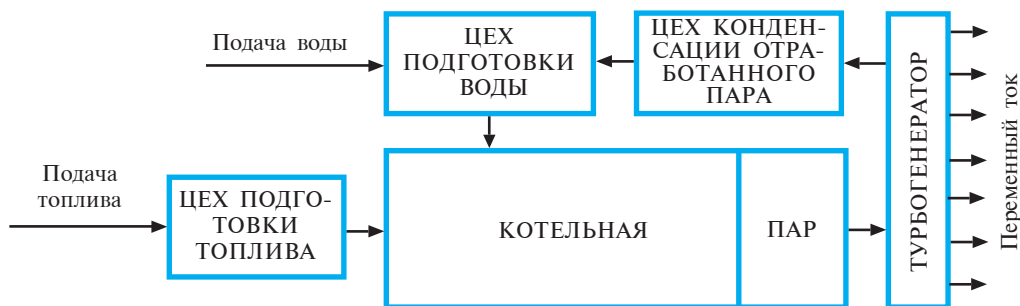


Рис. 197

Схема одного из блоков ТЭС представлена на рис. 197. Доставленное топливо поступает в цех подготовки топлива для сжигания. Например, уголь очищается от примесей и измельчается в порошок.

Подготовленное для сжигания топливо по специальной трубе подается в топку котельной. В котел котельной по трубе поступает вода из цеха подготовки воды. Сгорая, топливо доводит до кипения воду и превращает ее в пар высокого давления. Пар под высоким давлением подается в турбогенератор, который вращает турбину. Турбина, в свою очередь, вращает ротор генератора переменного тока, и в нем возникает электрический ток.

Пар, прошедший через турбину, поступает в цех конденсации пара, где он охлаждается и превращается в воду, которая вновь поступает в котельную.

В Узбекистане 80% электрической энергии вырабатываются на ТЭС. В настоящее время в республике действуют следующие крупные тепловые электростанции: Сырдарьинская (мощностью 3000 МВт), Новоангренская (мощностью 2400 МВт), Ташкентская (мощностью 1800 МВт), Навоийская (мощностью 1250 МВт) и Тахиаташская (мощностью 730 МВт).

Тепловые электростанции потребляют большое количество топлива, что приводит к загрязнению воздуха окружающей среды ядовитыми газами.

Гидроэлектростанции



На гидроэлектростанции механическая энергия воды превращается в электрическую.

На гидроэлектростанциях гидротурбины вращаются при помощи потока воды, имеющего большую скорость, а гидротурбины вращают ротор генератора (рис. 198). Так в генераторе переменного тока возникает электрический ток.

Для создания потока воды, обладающего большой скоростью, на реках строят плотины. Вода, собранная в большом количестве у плотины, также обладает огромной потенциальной энергией.

Вода падает с плотины с большой скоростью, т.е. потенциальная энергия собранной воды превращается в кинетическую. Чем с большей высоты падает вода с плотины, тем больше ее скорость и тем большей мощности гидротурбину она вращает. На одной плотине устанавливают несколько гидротурбин, каждая из которых вырабатывает электроэнергию в генераторе переменного тока независимо от других.

Обычно гидроэлектростанции строят на горных реках, так как в таких местах легче возводить плотину и концентрировать большие количества воды.

Выработка электроэнергии на гидроэлектростанциях обходится дешево, поскольку не требует затрат на топливо или другие дорогостоящие материалы. Вода, вращающая гидротурбины, не иссякает и не загрязняется.

В настоящее время в нашей стране действуют следующие гидроэлектростанции: Чарвакская (мощностью 620,5 МВт), Ходжикентская (мощностью 165 МВт), Туямуюнская (мощностью 150 МВт), Андижанская (мощностью 140 МВт), Чирчикская (мощностью 190,7 МВт), Газалкентская (мощностью 120 МВт) и др.

На этих гидроэлектростанциях на сегодняшний день вырабатывается 20% электроэнергии. На территории Узбекистана довольно много горных рек, что создает возможности для строительства гидроэлектростанций еще большей мощности и выработки более дешевой электроэнергии.

Атомные электростанции

Атомные электростанции работают так же, как и тепловые. Отличие состоит в том, что на тепловых электростанциях в качестве топлива используют уголь, нефть и другие органические продукты, а на атомных — уран и плутоний.



Рис. 198



На атомной электростанции энергия атома (урана, плутония) превращается в электрическую.

Выработка электроэнергии на атомных электростанциях обходится дешево, при их работе не загрязняется воздух. Однако радиоактивное излучение на АЭС опасно для людей и требует чрезвычайных мер защиты.

Ветряные электростанции

Ветряные электростанции строятся в местах, где постоянно дует ветер со скоростью более 5 м/с, вдали от централизованных сетей электроснабжения.



На ветряной электростанции механическая энергия ветра превращается в электрическую.

На ветряных электростанциях ротор генератора вращается с помощью ветра, за счет чего в генераторе переменного тока вырабатывается электрическая энергия.



1. Объясните устройство блока тепловой электростанции и расскажите, как на ней вырабатывается электроэнергия.
2. Каким образом на гидроэлектростанции механическая энергия воды превращается в электрическую?
3. В чем заключается сходство и различие между атомной и тепловой электростанциями?
4. Как вырабатывается электроэнергия на ветряной электростанции? Почему ветряные электростанции строятся не везде?
5. Какие крупные электростанции в Узбекистане вы знаете?



Изготовьте модель гидротурбины (водяной пропеллер), поместите ее под струю воды и проследите за тем, как она вращается.

§ 51. ТРАНСФОРМАТОРЫ

Устройство и действие трансформатора

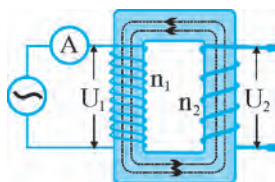


Рис. 199

Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции. Сердечник трансформатора собран из пластин в форме замкнутой рамы, изготовленных из стали или другого металла. На сердечник насажены две катушки (рис. 199). При этом витки первой катушки называются первичной обмоткой, а второй — вторичной.

Присоединим первичную обмотку к источнику переменного тока напряжением U_1 . Переменный ток создает в обмотке переменное магнитное поле. Магнитные силовые линии этой обмотки по сердечнику переходят во вторичную обмотку, в результате чего в ней возникает переменный индукционный ток напряжением U_2 . Частота этого тока одинакова с час-

тотой тока в первичной обмотке. Напряжение на вторичной обмотке зависит от числа витков на первичной и вторичной обмотках.

Опыт показал, что если число витков вторичной обмотки во сколько-то раз меньше числа витков первичной обмотки, то и напряжение тока, возникающего во вторичной обмотке, будет во столько же раз меньше. И, наоборот, во сколько раз число витков во вторичной обмотке больше числа витков в первичной, во столько же раз будет больше напряжение тока, возникающего во вторичной обмотке.

Обозначим число витков в первичной обмотке через n_1 , а напряжение, возникающее в ней, через U_1 , число витков и напряжение во вторичной обмотке соответственно через n_2 и U_2 . Тогда справедливо следующее выражение:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} \quad \text{или} \quad U_2 = U_1 \frac{n_2}{n_1}.$$

Значит, напряжение переменного тока можно менять. Это – важное свойство переменного тока.



Изменение напряжения в проводнике, по которому течет переменный ток, называется трансформацией переменного тока. Прибор, трансформирующий напряжение в проводнике, по которому проходит переменный ток, называется трансформатором.

Слово «трансформатор» происходит от латинского слова «transformo» (преобразую) и означает «преобразователь».

На рис. 200 показаны один из видов трансформаторов и обозначение трансформатора на схеме электрической цепи.

Трансформаторы бывают двух видов.



Если напряжение во вторичной обмотке трансформатора больше напряжения в первичной обмотке, такой трансформатор называется повышающим.

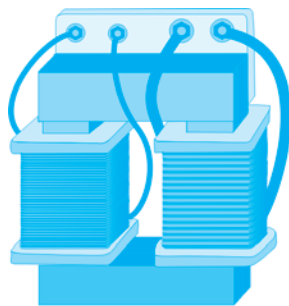


Рис. 200

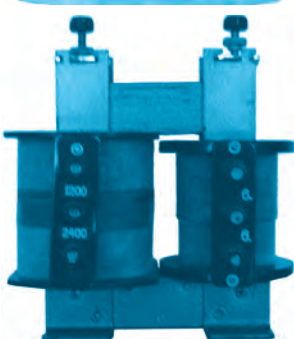


Рис. 201

В повышающем трансформаторе $n_2 > n_1$ и $U_2 > U_1$.



Если напряжение во вторичной обмотке трансформатора меньше напряжения в первичной обмотке, такой трансформатор называется *понижающим*.

В понижающем трансформаторе $n_2 < n_1$ и $U_2 < U_1$.

На рис. 201 представлены различные виды трансформаторов.

Преобразование энергии в трансформаторе

Трансформатор преобразует электрическую энергию определенного напряжения в первичной обмотке в электрическую энергию другого напряжения во вторичной обмотке.

Мощность тока в первичной и вторичной обмотках трансформатора соответственно равна:

$$P_1 = I_1 U_1 \quad \text{и} \quad P_2 = I_2 U_2.$$

Коэффициент полезного действия усовершенствованных трансформаторов весьма высок и составляет 99–99,5%. Поэтому в таких трансформаторах можно не учитывать потерю электроэнергии во время трансформации, т.е. можно принять $P_1 = P_2$. Тогда

$$I_1 U_1 = I_2 U_2 \quad \text{или} \quad \boxed{\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1}}.$$



Во сколько раз увеличивается напряжение во вторичной обмотке трансформатора, во столько же раз уменьшается сила тока.

Например, допустим, что первичная обмотка трансформатора подсоединена к источнику напряжением $U_1 = 220$ В. Напряжение во вторичной обмотке равно $U_2 = 500$ В. Если вторичная обмотка подключена к потребителю, сила тока I_2 в ней будет меньше силы тока I_1 в первичной обмотке примерно в 2,4 раза:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{500 \text{ В}}{220 \text{ В}} \approx 2,4.$$

Для описания такой зависимости принята величина, называемая **коэффициентом трансформации** (k):

$$\boxed{k = \frac{I_2}{I_1} = \frac{U_1}{U_2}}.$$

При $k > 1$ трансформатор называется понижающим, а при $k < 1$ — повышающим.

Пример решения задачи

Первичная обмотка трансформатора переносного радиоприемника мощностью 9 Вт, работающего при напряжении 9 В, подключена к сети напряжением 220 В. Определите число витков в первичной обмотке, а также силу тока, протекающего по каждой обмотке во время работы радиоприемника, если число витков во вторичной обмотке равно 9. Коэффициент полезного действия трансформатора равен 90%.

Дано:

$$\begin{aligned} U_1 &= 220 \text{ В}; \\ U_2 &= 9 \text{ В}; \\ P_2 &= 9 \text{ Вт}; \\ n_2 &= 9; \\ \eta &= 90\%. \end{aligned}$$

Формула:

$$\begin{aligned} \frac{n_1}{n_2} &= \frac{U_1}{U_2}; & n_1 &= n_2 \cdot \frac{U_1}{U_2}; \\ \eta &= \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%; & P_1 &= \frac{P_2}{\eta} \cdot 100\%; \\ P_1 &= I_1 U_1; & I_1 &= \frac{P_1}{U_1}; \\ P_2 &= I_2 U_2; & I_2 &= \frac{P_2}{U_2}; \end{aligned}$$

Решение:

$$\begin{aligned} n_1 &= 9 \cdot \frac{220 \text{ В}}{9 \text{ В}} = 220; \\ P_1 &= \frac{9 \text{ Вт}}{90\%} \cdot 100\% = 10 \text{ Вт}; \\ I_1 &= \frac{10 \text{ Вт}}{220 \text{ В}} \approx 0,045 \text{ А}; \\ I_2 &= \frac{9 \text{ Вт}}{9 \text{ В}} = 1 \text{ А}. \end{aligned}$$

Найти:

$$\begin{aligned} n_1 &- ? \\ I_1 &- ? \\ I_2 &- ? \end{aligned}$$

Ответ: $n_1 = 220$, $I_1 \approx 0,045 \text{ А}$, $I_2 = 1 \text{ А}$.

1. Как можно получить переменный индукционный ток?
2. Объясните устройство и действие простейшего трансформатора.
3. В какой зависимости находится соотношение числа витков и напряжений в первичной и вторичной обмотках трансформатора?
4. Какой трансформатор называется повышающим, а какой – понижающим?
5. В какой зависимости находится соотношение силы тока и напряжения в первичной и вторичной обмотках трансформатора?
6. Какая зависимость называется коэффициентом трансформации? При каком значении этого коэффициента трансформатор является повышающим, а при каком – понижающим?



1. Число витков в первичной обмотке трансформатора, подключенного к сети напряжением 220 В, равно 100. Ток какого напряжения возникнет во вторичной обмотке, если число витков в ней равно 20? Каким является такой трансформатор – повышающим или понижающим?
2. Число витков в первичной обмотке трансформатора, подключенного к сети напряжением 220 В, равно 40. Сколько витков должно быть во вторичной обмотке, чтобы создать в ней напряжение 660 В? Каким является такой трансформатор – повышающим или понижающим?
3. Первичная обмотка трансформатора электробритвы мощностью 18 Вт, работающей при напряжении 12 В, подключена к сети напряжением 220 В. Определите число витков во вторичной обмотке, а также силу тока, проходящего по каждой обмотке во время работы электробритвы, если число витков в первичной обмотке трансформатора равно 110. Коэффициент полезного действия трансформатора равен 90%.
4. Понижающий трансформатор преобразует напряжение в первичной обмотке, равное 6 кВ, в напряжение 220 В во вторичной обмотке. В какой обмотке трансформатора число витков больше и во сколько раз?



Возьмите какой-нибудь испорченный трансформатор, разберите провода обмотки и сосчитайте количество витков. Рассмотрите устройство трансформатора и запишите выводы в тетрадь.

§ 52. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ДЕЙСТВИЯ ТРАНСФОРМАТОРА

(Лабораторная работа)

Оборудование: источник переменного тока напряжением 30 В, понижающий трансформатор напряжением 30 В, реостат, два вольтметра, два амперметра, ключ, соединительные провода.

Порядок выполнения работы

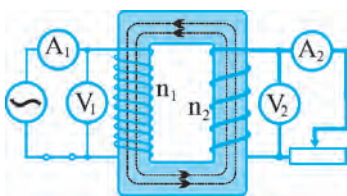


Рис. 202

1. Перед началом выполнения лабораторной работы рассмотрите понижающий трансформатор, запишите в таблицу отмеченное на нем число витков первичной n_1 и вторичной n_2 обмоток. Вычислите соотношение n_1/n_2 и запишите результат в таблицу.

2. Подсоедините первичную обмотку трансформатора через амперметр и ключ к источнику переменного тока напряжением 30 В, а вторичную обмотку — к реостату, вольтметру и амперметру, как показано на рис. 202.

3. Начертите в тетради схему собранной цепи.

4. Замкните цепь и с помощью вольтметра измерьте напряжение в первичной U_1 и вторичной U_2 обмотках. Вычислите соотношение U_1/U_2 и запишите в таблицу результаты измерений и вычислений.

5. Измерьте с помощью амперметра ток, протекающий по первичной I_1 и вторичной I_2 обмоткам при одном положении ползуна реостата. Вычислите соотношение I_2/I_1 и запишите результат в таблицу.

6. Переместите ползун реостата и измерьте ток, протекающий по первичной I_1 и вторичной I_2 обмоткам при втором положении ползуна. Вычислите соотношение I_2/I_1 и запишите результаты измерений и вычислений в таблицу.

7. Переместите ползун реостата. Измерьте ток, проходящий по первичной I_1 и вторичной I_2 обмоткам при третьем положении ползуна. Вычислите соотношение I_2/I_1 и запишите результаты измерений и вычислений в таблицу.

8. Вычислите среднее соотношение I_2/I_1 для трех положений ползуна реостата.

9. Сравните средние соотношения I_2/I_1 , n_1/n_2 и U_1/U_2 , обращая внимание на то, что теоретически должно быть $I_2/I_1 = U_1/U_2 = n_1/n_2$.

10. Проанализируйте результаты опытов.



1. В чем заключается функция трансформатора?
2. Какая теоретическая зависимость наблюдается между соотношениями числа витков в первичной и вторичной обмотках трансформатора, напряжением и силой тока, протекающего по обмоткам?
3. Почему соотношения числа витков в первичной и вторичной обмотках трансформатора, их напряжения и силы тока, протекающего по ним, не равны между собой?

§ 53. ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Повышающие подстанции

Обычно электростанции располагаются вдали от городов и сел. Преимущество электрической энергии перед другими видами энергии состоит в том, что ее можно передавать потребителям на большие расстояния.

Электрическая энергия передается потребителям по проводам, однако при этом приходится учитывать некоторые свойства электрического тока.

При передаче энергии на большие расстояния провода линии электропередач сильно нагреваются электрическим током, что неизбежно ведет к потерям энергии на линии.

Допустим, что городок с 10 тыс. жилищ необходимо обеспечить электроэнергией, вырабатываемой на электростанции. Электрическая цепь каждого жилища подключена к сети напряжением 220 В. По электрической цепи каждого жилища протекает ток примерно 5 А. Тогда по сети, идущей в городок с 10 тыс. жилищ, проходит ток 50 000 А. Но если на электростанции вырабатывается ток напряжением 220 В, то такой ток невозможно будет передать в городок по двум проводам, так как ток силой 50 000 А не выдержат даже медные провода с площадью поперечного сечения 100 см². Они при протекании такого тока перегреются и расплавятся.

Чтобы свести к минимуму перегрев проводов и потери энергии при передаче тока на большие расстояния, принимаются определенные меры.

Как следует из формулы Джоуля-Ленца, для снижения потерь энергии в электрической сети необходимо уменьшить силу тока и сопротивление проводника.

Для уменьшения сопротивления на линии электропередач используют провода с большой площадью поперечного сечения и малым удельным сопротивлением.

Для уменьшения силы тока надо увеличить его напряжение. Из формулы мощности $P = IU$ следует, что для сохранения при этом заданной мощности тока необходимо соответственно увеличить его напряжение во столько же раз, во сколько уменьшилась сила тока.



Увеличение напряжения тока, выработанного на электростанции, осуществляется с помощью трансформаторов на повышающих подстанциях.

На повышающих подстанциях напряжение тока с помощью повышающих трансформаторов увеличивается до 500–1150 кВ.

Вернемся к приведенному выше примеру. 10 тыс. жилищ получают ток 50 000 А от сети напряжением 220 В. При этом мощность тока, поступающего в городок, должна составить $P = 50000 \text{ А} \cdot 220 \text{ В} = 11\,000\,000 \text{ Вт} = 11 \text{ МВт}$.

Допустим, что на повышающей подстанции, расположенной рядом с электростанцией, напряжение тока с помощью трансформатора увеличивается до $U = 500 \text{ кВ}$. В этом случае по сети, идущей в городок, пройдет

ток, равный $I = \frac{11\,000\,000 \text{ Вт}}{500\,000 \text{ В}} = 22 \text{ А}$. При протекании тока в 22 А по про-

воду с большим сечением он почти не нагревается, и потери энергии будут небольшими.

Линии электропередач

Электрический ток, напряжение которого увеличено на повышающей подстанции, передается на десятки и даже сотни километров и распределяется потребителям.



Линии, по которым электрическая энергия передается от электростанций потребителям, называются линиями электропередач.

Линии электропередач состоят, в основном, из опор 1, изоляторов 2 и токопроводящих проводов 3 (рис. 203). Провода изготавливаются из алюминия или стали. Площадь их поперечного сечения составляет 100–500 мм², иногда и больше. Такие провода подвешиваются на опоры с помощью мощных тарелкообразных изоляторов. Одна опора держит 3–6, а иногда и больше проводов. Высота каждой опоры обычно равна 8–20 м, расстояние между ними – 100–200 м.

Для защиты от удара молнии на верхний конец опоры устанавливается громоотвод, нижняя часть которого заземляется.

В целях безопасности линии электропередач проводятся чаще всего на открытых земельных площадях. Под проводами линий электропередач



категорически запрещается строить жилые дома, предприятия и другие объекты.

Понижающие подстанции

Электрический ток, передаваемый по линиям электропередач в города и села, имеет очень высокое напряжение. Такой ток подается потребителям после понижения напряжения.

Понижение напряжения осуществляется в несколько этапов (рис. 204). На понижающих подстанциях напряжение тока с помощью понижающих трансформаторов снижается до 6 кВ. Только после этого электроэнергия подается в места проживания населения. Понижающие трансформаторы, расположенные в этих местах, снижают напряжение электрического тока до требуемого значения. Обычно в дома, на предприятия, в учреждения, на объекты бытового обслуживания подается электрический ток напряжением 220 В, на промышленные предприятия наряду с напряжением 220 В подается также ток напряжением 380 и 660 В.

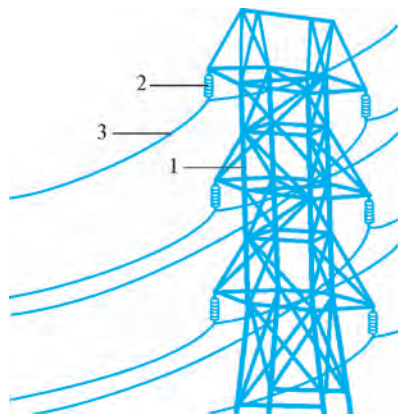


Рис. 203

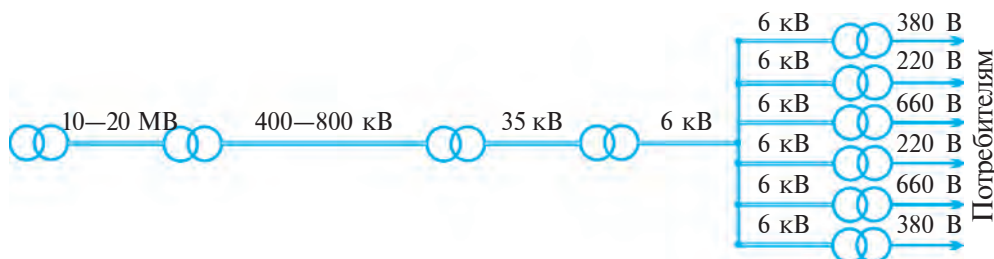


Рис. 204



1. Почему на электростанциях перед передачей тока на большие расстояния напряжение тока увеличивается?
2. Как на повышающих подстанциях увеличивается напряжение тока?
3. Из чего, в основном, состоят линии электропередач?
4. Как на понижающих подстанциях уменьшается напряжение тока?



1. Для обеспечения населения городка электроэнергией необходима электростанция мощностью 100 МВт. Ток какой величины проходит по линии электропередач, если напряжение в ней равно 500 кВ? А если напряжение на линии электропередач составляет 220 В?
2. К потребителю мощностью 44 МВт электроэнергия подается с расстояния 50 км по алюминиевым проводам с площадью поперечного сечения 100 мм². Сколько теплоты выделится из проводов за 1 минуту при напряжении на линии 500 кВ? А при напряжении 220В?

3. Электрический ток напряжением 500 кВ подается потребителям после трехэтапного снижения на понижающих подстанциях. На первом этапе оно понижается до 35 кВ, на втором — до 6 кВ и на третьем — до 220 В. Каким будет соотношение числа витков в первичной и вторичной обмотках понижающего трансформатора на каждом этапе?



Определите, откуда поступает электрический ток в место вашего проживания, на какой понижающей подстанции напряжение тока снижается. Полученные данные запишите в тетрадь.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ VI

- Явление возникновения электрического тока в замкнутом проводнике при пересечении его изменяющимися со временем силовыми линиями магнитного поля называется электромагнитной индукцией, а возникающий ток — индукционным током.
- Электрическое поле, создающее индукционный ток, называется индукционным электрическим полем.
- Напряжение индукционного электрического поля зависит от скорости изменения силовых линий магнитного поля, пронизывающих витки катушки, и числа витков в обмотке катушки.
- Направление индукционного тока определяется по правилу правой руки: если ладонь правой руки держать так, чтобы силовые линии магнитного поля входили в ладонь, а большой палец, отогнутый на 90° , показывал направление движения проводника, то направление вытянутых четырех пальцев будет указывать на направление индукционного тока.
- Возникающий под воздействием магнитного поля индукционный ток, направление которого периодически меняется, называется переменным индукционным током.
- Микрофон превращает механические колебания в электрические.
- Динамик преобразует электрические колебания звука обратно в механические колебания, т.е. воспроизводит звуки, которые произносятся перед микрофоном.
- В верхней части трубки, прикладываемой к уху, находится собственно телефон, работающий как динамик, а в нижней — микрофон.
- Ток, величина и направление которого периодически изменяются, называется переменным током. Прибор, преобразующий механическую энергию в электрическую, называется генератором индукционного тока.
- Генератор индукционного тока используется при выработке электрической энергии. При этом ротор генератора вращается с помощью паровой турбины, гидротурбины, ветра или двигателя внутреннего сгорания.
- При получении электрического тока с помощью двигателя внутреннего сгорания тепловая энергия превращается в электрическую.

- При прохождении по проводнику переменного тока его сила и напряжение непрерывно изменяются от нуля до максимального значения.
- На электростанциях с помощью генераторов переменного тока энергия другого вида преобразуется в электрическую.
- На тепловой электростанции химическая энергия, возникающая в процессе горения топлива, превращается в электрическую.
- На гидроэлектростанции механическая энергия воды превращается в электрическую.
- На атомной электростанции энергия атома (урана, плутония) превращается в электрическую.
- На ветряной электростанции механическая энергия ветра превращается в электрическую.
- Трансформатор – прибор, изменяющий (трансформирующий) напряжение в проводнике, по которому проходит переменный ток.
- Во сколько раз увеличивается напряжение во вторичной обмотке трансформатора, во столько же раз уменьшается сила тока.
- Увеличение напряжения тока, выработанного на электростанции, осуществляется с помощью трансформаторов на повышающих подстанциях.
- Линии, по которым электрическая энергия передается от электростанций потребителям, называются линиями электропередач.

ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ ГЛАВЫ VI

1. На рис. 205 приведены различные случаи электромагнитной индукции. Сформулируйте и решите задачу для каждого случая.

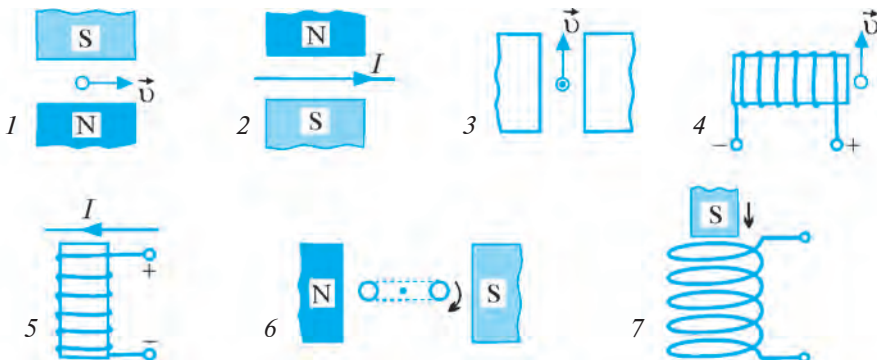


Рис. 205

2. Будет ли возникать индукционный ток в проволочном кольце, находящемся в однородном магнитном поле, если: а) перемещать кольцо поступательно; б) вращать кольцо вокруг оси, проходящей через его центр перпендикулярно плоскости кольца; в) вращать кольцо вокруг оси, лежащей в его плоскости?
3. Если клеммы двух гальванометров соединить проводами и затем покачиванием одного из приборов вызвать колебание его стрелки, то и у другого прибора стрелка тоже начнет колебаться. В чем причина?
4. Почему колебания стрелки компаса быстрее затухают, если корпус прибора латунный, и медленнее затухают, если корпус прибора пластмассовый?
5. Найдите направление индукционного тока, возникающего в витке *B* (рис. 206), если в цепи витка *A* ключ замыкают и размыкают. Укажите также направление индукционного тока, если при замкнутом ключе ползун реостата передвигают вправо и влево.
6. Объясните принцип торможения трамвая, когда водитель, отключив двигатель *M* от контактной сети (рис. 207), переводит его в режим генератора (ключ переводится из положения 1 в положение 2). Как зависит ускорение (быстрота торможения) трамвая: а) от нагрузки (сопротивления резистора *R*) при данной скорости движения трамвая; б) от скорости трамвая при данной нагрузке?
7. Сколько оборотов в минуту должен совершить ротор генератора, чтобы получить электрический ток частотой 50 Гц, если число обмоток статора равно 8?
8. Ротор генератора совершает 150 оборотов в минуту. Сколько обмоток должно быть в статоре, чтобы образовался электрический ток частотой 50 Гц?
9. Каким будет эффективное значение напряжения вырабатываемого электрического тока, если максимальное значение напряжения составляет 250 В?
10. Число витков в первичной обмотке трансформатора, подключенного к сети с напряжением 220 В, равно 80. Ток какого напряжения возникнет во вторичной обмотке, если число витков в ней равно 16? Каким является такой трансформатор — повышающим или понижающим?
11. Понижающий трансформатор преобразует напряжение в первичной обмотке, равное 4,4 кВ, в напряжение 220 В во вторичной обмотке. В какой обмотке трансформатора число витков больше и во сколько раз?
12. Для обеспечения населения городка электроэнергией необходима электростанция мощностью 440 МВт. Ток какой величины проходит по линии электропередач, если напряжение в ней равно 800 кВ? А если напряжение в линии электропередач составляет 220 В?
13. К потребителю мощностью 80 МВт электроэнергия подается с расстояния 150 км по алюминиевым проводам с площадью поперечного сечения 75 мм². Сколько теплоты выделится из проводов при напряжении на линии 800 кВ в минуту? А если напряжение на линии электропередач составляет 220 В?

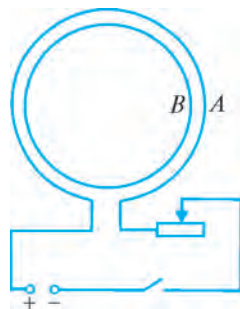


Рис. 206

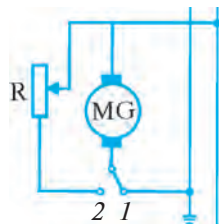


Рис. 207

§ 54. СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА СВЯЗИ

(Для дополнительного чтения)

Сотовый телефон

Десять-пятнадцать лет назад беспроводной сотовый телефон вызывал удивление. В настоящее время сотовый телефон прочно вошел в нашу жизнь. Им пользуются все — и взрослые, и дети. Деловые люди не могут представить свою деятельность без сотового телефона. Он позволяет обеспечить быструю и надежную связь между ответственными работниками, коммерсантами, предпринимателями, различными специалистами и партнерами.

Первые рекламные объявления о службе сотовой связи появились в 1991 г. В то время масса сотового телефона была равна 5 кг, стоимость составляла 2000 долларов США и столько же надо было потратить на его подключение. Масса современного сотового телефона составляет лишь 100–200 г, он свободно умещается в кармане и относительно недорог.

Сотовый телефон обслуживает небольшие территории, разделенные на множество зон. Эти зоны в плане города напоминают пчелиные соты. Отсюда и происходит название телефона (от английского слова *cot-cell* — *пчелиные соты*).

Радиус каждой зоны, т.е. сота, определяется зоной устойчивости радиосвязи, мощностью принимающей-передающей установки, топологией местности и диапазоном частоты. Чем выше частотный диапазон, тем меньше радиус сота и тем лучше способность сигнала преодолевать препятствия. Более того, чем выше частотный диапазон, тем компактнее радиоустановка и тем больше возможность увеличения количества абонентских радиоканалов. Современные сотовые телефоны работают на частотах 450, 800, 900, 1800 МГц. За счет высокого частотного диапазона длинная антенна необязательна. Для осуществления связи достаточно антенны в несколько сантиметров, установленной в самом аппарате. Отправка голосового сигнала в сотовом телефоне осуществляется на одной частоте, а прием сигнала — на другой.

Любой аппарат сотового телефона представляет собой миникомпьютер. Современные аппараты сотовых телефонов выполняют такие функции, как вычисление, фиксация различных данных, отправка и прием кратких текстовых сообщений (SMS), фото- и видеосъемка и др.

Понятие об Интернете

Интернет — всемирное объединение различных компьютерных сетей, общающихся друг с другом по каналам связи.

Интернет – это открытая сеть, в которую может обратиться каждый пользователь. В настоящее время Интернет объединяет сотни миллионов пользователей во всем мире, число которых ежегодно увеличивается почти вдвое. К 2009 году число пользователей превысило один миллиард. Сегодня любой человек может подключить свой компьютер или сотовый телефон к Интернету, получать по сети интересующие его несекретные сведения, посылать сообщения коллегам из других стран и принимать их сообщения, размещать свою рекламу, получать фотоснимки, клипы, видеofilмы, видеоигры, слушать музыку и т.д. Интернет – это бесконечный мир данных, в котором можно находиться сколько угодно.

Интернет объединяет сотни миллионов компьютеров и локальных сетей земного шара. Сеть не имеет единого центра управления и не является чьей-либо собственностью. Этим Интернет отличается от других компьютерных сетей.

Подключение к Интернету осуществляется обслуживающими компаниями – *провайдерами*, которые продолжают обслуживать своих клиентов и после подключения. Каждый компьютер, подключенный к сети, имеет свой адрес, по которому его может найти другой абонент из любой точки мира.

Компьютеры, получающие информацию из сети Интернета, называются *клиентами*. Имеются и компьютеры, которые обеспечивают клиентов информацией. Это – «*серверы*» (естественно, серверы также получают информацию, точнее, накапливают ее, но все же основная функция серверов состоит в предоставлении информации).

Важной особенностью Интернета является то, что он, объединяя различные сети, не создает никакой иерархии: все компьютеры, подключенные к сети, имеют равные права.

В Узбекистане работы по подключению к Интернету начались с 1997 г. Стремительно развивающаяся компьютеризация нашей страны создает возможности для расширения сети Интернет. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан о мерах по организации разработки программы обеспечения внедрения в международные информационные системы Интернета, принятое в 2001 г., дает возможность Узбекистану занять достойное положение в этой области.

Понятие о нанотехнологиях

Первые компьютеры, созданные в 50-х годах XX в. и способные выполнять лишь четыре арифметических действия, были очень громоздкими и занимали большие площади. Такие компьютеры работали на электронных лампах типа диодов и триодов. В 1950–1970 гг. радиоприемники, телевизоры и другие устройства работали в основном на электронных лампах. Благодаря успехам, достигнутым в области физики полупроводников, начиная с 1970–1980 гг. место электронных ламп стали занимать по-

лупроводниковые диоды, транзисторы и пр. В результате развития радиоэлектроники созданы интегральные схемы и микросхемы. Вместо ламповых схем, занимающих объем в несколько кубических метров, появились интегральные схемы, занимающие площадь поверхности спичечного коробка, и даже интегральные схемы площадью менее 1 см^2 .

Использование таких схем в радиотехнике привело к созданию нового поколения современных радиоприемников, телевизоров, видеокамер, видеоманитофонов, компьютеров, которые прочно вошли в нашу жизнь.

Наука и техника не стоят на месте, они постоянно развиваются. Исследования в области электроники и применение ее достижений все больше осуществляются на микроуровне. Объекты изучения электроники настолько малы, что размеры изучаемых материалов находятся на уровне размеров атомов и молекул и расстояний между ними. Все это привело к возникновению и усиленному развитию отрасли, называемой **нанотехнологией**.

Что же представляет собой нанотехнология? Слово «нанос» в переводе с греческого означает «крохотный». «Нано» означает одну миллиардную долю. Например $1 \text{ м} = 10^9 \text{ нм}$ (нанометрам) или $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$. Размеры атомов и молекул, а также расстояния между ними почти аналогичны.

Направление электроники, которое изучает свойства систем, состоящих из нескольких атомов, происходящие в них процессы и методы их практического внедрения, называется **нанотехнологией**.

Нанотехнология ведет исследовательские работы по созданию наносистем, обладающих параметрами, необходимыми для электроники. При этом, если размер изучаемого объекта равен $1\text{--}5 \text{ нм}$, охватывается 1000 атомов, если $5\text{--}100 \text{ нм}$ — $10^3\text{--}10^8$ атомов.

В XXI в. наряду с нанотехнологией ожидается развитие таких отраслей, как нанофизика, наноэлектроника, нанохимия, нанобиология, наномедицина и др. Все это обусловит бурное развитие электроники, энергетики, информационных технологий, медицины, производства продукции и других отраслей и в конечном итоге повышение благосостояния людей.



1. Что вы знаете о сотовом телефоне? Что означает его название?
2. Почему антенна сотового телефона короткая?
3. Какие возможности предоставляет Интернет?
4. Расскажите о достижениях в области электроники.
5. Чем занимается отрасль науки нанотехнология?

ОТВЕТЫ К УПРАЖНЕНИЯМ

- Упр. 1.** 1. $q_e = -4,8 \cdot 10^{-19}$ Кл; $q_p = 4,8 \cdot 10^{-19}$ Кл. 2. $m = 5,46 \cdot 10^{-30}$ кг.
3. $q_e = -12,8 \cdot 10^{-19}$ Кл; $m = 7,488 \cdot 10^{-3}$ кг.
- Упр. 2.** 1. $F = 2,88 \cdot 10^{-3}$ Н. 2. $F = 2,25 \cdot 10^{-5}$ Н. 3. $q_1 = q_2 = 10^{-8}$ Кл. 4. $r = 8,5$ см.
- Упр. 3.** 1. $E = 5 \cdot 10^5$ Н/Кл. 2. $E = 4 \cdot 10^4$ Н/Кл. 3. $q \approx 6,7 \cdot 10^{-9}$ Кл.
- Упр. 4.** 1. $C = 8,85$ пФ. 2. $C_2/C_1 = 1000$. 3. $d = 5$ мм. 5. $C_{\text{посл}} = 10$ пФ,
 $C_{\text{пар}} = 250$ пФ. 6. $C_{\text{общ}} = 30$ пФ. 7. $C_{\text{общ}} \approx 222$ пФ.
- Упр. 5.** 1. $U = 3$ В. 2. $A = 300$ Дж. 3. $q = 50$ Кл. 4. $q = 8$ Кл; $n_e = 5 \cdot 10^{19}$.
- Упр. 6.** 1. $I = 0,1$ А. 2. $q = 48$ Кл; $n_e = 3 \cdot 10^{20}$. 3. $t = 20$ мин; 4. $q = 180\,000$ Кл.
- Упр. 7.** 1. $R = 0,85$ Ом. 2. Никелин. 3. Сопротивление первого провода в 300 раз больше сопротивления второго. 4. $\sim 8,2$ раза. 5. $l = 2,5$ м. 6. $S = 0,5$ мм².
- Упр. 8.** 1. $U = 6$ В. 2. $R = 15$ Ом. 3. $R = 440$ Ом. 4. $U = 220$ В. 5. $U = 5,1$ В;
 $l = 50$ м. 6. $I = 1,25$ А.
- Упр. 9.** 1. $R = 18$ Ом. 2. $I = 0,2$ А. 3. $l_2 \approx 42$ см. 4. $U_2 = 44$ В.
- Упр. 10.** 1. $U_1 = 1$ В; $U_2 = 2$ В; $R = 15$ Ом; $U = 3$ В. 2. $U_1 = U_2 = 110$ В. 3. $I = 0,2$ А;
 $U_1 = 0,8$ В; $U_2 = 2$ В; $U_3 = 3,2$ В. 4. $n = 24$; $I = 0,9$ А; $R = 240$ Ом.
5. $U_1 = 165$ В; $U_2 = 55$ В.
- Упр. 11.** 1. $R = 2$ Ом. 2. $R = 27,5$ Ом. 3. $R = 5$ Ом. 4. $R \approx 27$ Ом; $I_1 = 0,2$ А;
 $I_2 = 0,1$ А; $I_3 = 0,3$ А. 5. $R \approx 57$ Ом; $I_1 = I_2 = 1,1$ А; $I_3 = I_4 = 0,55$ А;
 $I_5 = I_6 = 0,275$ А; $I = 3,85$ А.
- Упр. 12.** 1. $A_{\text{п}} \approx 28,8$ кДж. 2. $E = 54$ Дж. 3. $A = 1$ кДж. 4. $I = 5$ А.
- Упр. 13.** 1. $P = 2,2$ кВт. 2. $P = 1,1$ кВт. 3. $I \approx 17$ А. 4. $I_1 \approx 0,27$ А; $I_1 \approx 0,45$ А.
- Упр. 14.** 1. $Q = 48$ кДж. 2. $Q \approx 2,9$ МДж. 3. Никелин. 4. $E \approx 28,5$ кДж.
- Упр. 15.** 1. $I = 10$ А; 22 раза. 2. $P = 2,2$ кВт. 3. $R \approx 97$ Ом. 4. $P = 3$ кВт.
- Упр. 16.** 1. Не выдержит. 2. $S = 4$ мм². 3. $U = 242$ В.
- Упр. 17.** 1. $I_1 = 22$ мА; $I_2 = 4,2$ мА. 2. $P_1 = 4,84$ Вт; $P_2 = 0,1764$ Вт. 3. $U_0 = 20$ В.
- Упр. 18.** 1. $m = 4,1$ мг; 2. $q \approx 9$ Кл; 3. $I \approx 9$ мА.
- Упр. 19.** 1. $k \approx 0,238$ мг/Кл; 2. $k \approx 0,329$ мг/Кл; 3. $m \approx 8$ г.
- Упр. 23.** 1. 5 раз. 2. 25. 3. $U_{\text{эф}} \approx 354$ В.
- Упр. 24.** 1. $U_2 = 44$ В. 2. $n_2 = 120$. 3. $n_2 = 6$; $I_1 \approx 0,09$ А; $I_2 = 1,5$ А.
4. Число витков первой обмотки больше в 27 раз.
- Упр. 25.** 1. $I_1 = 200$ А; $I_2 \approx 450\,000$ А. 2. $Q_1 \approx 6,5 \cdot 10^6$ Дж; $Q_2 = 3,36 \cdot 10^{12}$ Дж.
3. На первом этапе $n_1/n_2 \approx 14,3$; на втором этапе $n_1/n_2 \approx 5,8$;
на третьем этапе $n_1/n_2 \approx 27,3$.

ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ ГЛАВ

По главе I

13. 1 мН. **14.** 10 см. **15.** $\approx 11,5$ мН. **16.** 9 мН. **17.** $\approx 7,5 \cdot 10^{-9}$ Кл. **18.** $\approx 2,5$ см. **19.** Увеличить в 2 раза. **20.** В $4,2 \cdot 10^{42}$ раза. **21.** 10^{11} . **22.** Увеличилась в 1,8 раза; уменьшилась в 1,25 раза. **23.** $x = 1,25$. **24.** 2 мН. **25.** В 1 см от меньшего и в 3 см от большего заряда. **26.** $1,08 \cdot 10^5$ Н/Кл. **27.** $5 \cdot 10^{-9}$ Кл. **28.** 200 Н/Кл. **29.** 24 мкН. **30.** 40 кН/Кл; 10 кН/Кл. **31.** 3,1 мм. **32.** 50 пФ; 1250 пФ. **33.** $\approx 54,5$ пФ.

По главе II

5. $2 \cdot 10^5$. **6.** 5 В. **7.** 1,2 кДж. **8.** 50 Кл. **9.** $3,1 \cdot 10^{19}$. **10.** 0,15 А. **11.** 30 Кл; $1,875 \cdot 10^{20}$. **12.** 13 мин 20 с. **13.** $\approx 6,9 \cdot 10^5$ Кл. **14.** а) 0,05 Ом; б) 0,025 Ом; в) 0,2 Ом; г) 10 Ом. **15.** Уменьшится в 4 раза. **16.** Увеличится в 4 раза. **17.** $\approx 2,6$ Ом. **18.** 1,4 Ом; 55 Ом. **19.** 0,28 Ом. **20.** $\approx 1,2$ км. **21.** Алюминий. **22.** Сопротивление первого провода в 50 раз больше сопротивления второго. **23.** 200 м. **24.** В ≈ 39 раз. **25.** ≈ 2 м. **26.** $2,75$ мм². **27.** 15 м. **29.** 5 А; 0,5 А. **30.** 2,5 А. **31.** 220 В. **32.** 20 В. **33.** 12 Ом. **34.** 550 Ом. **35.** 220 В. **36.** 6,8 В; 50 м. **37.** ≈ 9 А. **38.** 12 Ом. **39.** 0,1 А. **40.** 30 см. **41.** 88 В. **42.** а) нельзя; б) можно. **43.** 18 Ом. **44.** $\approx 24,5$ мА. **46.** 0,5 А; 0,5 А. **47.** 55 В. **48.** ≈ 14 мА; $\approx 1,4$ В; $\approx 2,9$ В; $\approx 5,7$ В. **49.** 2,5 В; 4 В; 65 Ом; 6,5 В. **50.** $\approx 0,08$ А; $\approx 0,8$ В; $\approx 1,7$ В; $\approx 3,3$ В; $\approx 4,2$ В. **51.** 18; $\approx 0,8$ А; 270 Ом. **52.** 44 В; 176 В. **53.** 37. **54.** 8 А; 2 А. **55.** ≈ 15 Ом. **56.** $\approx 16,7$ Ом. **57.** ≈ 11 Ом. **58.** ≈ 147 Ом. 1 А; 0,5 А; 1,5 А. **59.** Увеличится в 2 раза. **61.** 100 Ом; 100 Ом; 400 Ом; 40 В; 40 В; 0,4 А; 0,1А.

По главе III

1. 66 кДж. **2.** 55 кВт. **3.** ≈ 19 кВт·ч. **4.** 1,1 кВт. **5.** 880 Вт. **6.** $\approx 10,5$ А. **7.** $\approx 0,45$ А; $\approx 0,9$ А. **8.** $\approx 0,5$ А; $\approx 0,1$ А. **9.** 34 сум 80 тийин. **11.** 600 кДж. **12.** $\approx 8,7$ МДж. **13.** Хромель. **14.** 20 А; в 22 раза. **15.** $\approx 2,8$ кВт. **16.** $\approx 4,5$ А; 48,8 Ом. **17.** 4 кВт.

По главе IV

6. ≈ 13 мг. **7.** ≈ 76 Кл. **8.** ≈ 18 мА. **9.** ~ 50 мин. **10.** 0,3 мг/Кл. **11.** 0,62 мг/Кл; 0,31 мг/Кл. **12.** 2,04 мг/Кл. **13.** $\approx 1,118$ мг/Кл. **14.** ≈ 8 мг. **15.** Масса железа больше в 1,53 раза. **16.** 3,1 суток; 15 МВт·ч. **17.** Для алюминия в 50 раз больше. **18.** 330 кВт·ч. **19.** 80 нА.

По главе V

6. N — за плоскость чертежа. **7.** а) оттолкнется; б) притянется; в) повернется правой стороной витка к нам и притянется. **8.** Повернется так, чтобы плоскости совпадали, а токи были направлены одинаково. **9.** Справа «+». **11.** Расположение полюсов зависит от направления движения проводника с током под воздействием магнитного поля. Если проводник с током двигается на передней стороне плоскости

чертежа, то верхний — это южный (S) полюс, а нижний — северный (N). Если же проводник с током движется на задней стороне плоскости чертежа, то верхний — это северный (N) полюс, а нижний — южный (S).

По главе VI

2. а) не будет; б) не будет; в) будет (за исключением случая, когда ось вращения параллельна линиям индукции). **5.** При замыкании ключа — против часовой стрелки; при размыкании ключа — по часовой стрелке. При перемещении ползуна реостата вправо — по часовой стрелке; при перемещении влево — против часовой стрелки. **6.** Ускорение больше при меньшем сопротивлении и большей скорости. **7.** В 375 раз. **8.** 20. **9.** ≈ 177 В. **10.** 44 В; понижающий. **11.** Число витков первой обмотки больше в 20 раз. **12.** 550 А; 2 000 000 А. **13.** $\approx 3,4 \cdot 10^7$ Дж; $\approx 4,4 \cdot 10^{14}$ Дж.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение	3
----------------	---

Глава I. Электрический заряд. Электрическое поле

§ 1. Электризация тел	4
§ 2. Электроскоп и электромметр. Проводники и изоляторы	6
§ 3. Электрический заряд	8
§ 4. Взаимодействие заряженных тел. Закон Кулона	10
§ 5. Электрическое поле	13
§ 6. Конденсаторы	15
§ 7. Распределение электрических зарядов в проводниках	19
§ 8. Электрические явления в природе	21
<i>Основные выводы по главе I</i>	24
<i>Вопросы и задачи для повторения главы I</i>	25

Глава II. Электрический ток

§ 9. Понятие об электрическом токе	27
§ 10. Источники тока	28
§ 11. Электрический ток в металлах	32
§ 12. Электрическое напряжение и его измерение	34
§ 13. Сила тока и ее измерение	37
§ 14. Сборка электрической цепи. Измерение силы и напряжения тока на различных участках цепи (<i>Лабораторная работа</i>)	39
§ 15. Электрическое сопротивление	40
§ 16. Закон Ома для участка цепи	44
§ 17. Определение сопротивления проводника с помощью амперметра и вольтметра (<i>Лабораторная работа</i>)	47
§ 18. Резисторы. Реостаты. Потенциометры	48
§ 19. Регулирование силы тока с помощью реостата (<i>Лабораторная работа</i>)	51
§ 20. Последовательное соединение потребителей	53
§ 21. Параллельное соединение потребителей	55
§ 22. Изучение последовательного и параллельного соединения потребителей (<i>Лабораторная работа</i>)	58
<i>Основные выводы по главе II</i>	60
<i>Вопросы и задачи для повторения главы II</i>	61

Глава III. Работа и мощность электрического тока

§ 23. Работа электрического тока	65
§ 24. Мощность электрического тока	67
§ 25. Определение мощности тока и потребляемой энергии в лампочке (<i>Лабораторная работа для дополнительного занятия</i>)	69
§ 26. Нагревание проводников под влиянием электрического тока	70
§ 27. Электрические нагревательные приборы	73

§ 28. Электрическая цепь жилища. Короткое замыкание	78
§ 29. Соединения в электрической цепи жилища	80
§ 30. Меры электробезопасности	83
<i>Основные выводы по главе III</i>	87
<i>Вопросы и задачи для повторения главы III</i>	88

Глава IV. Электрический ток в различных средах

§ 31. Электрический ток в жидкостях	89
§ 32. Электролиз. Первый закон Фарадея	91
§ 33. Второй закон Фарадея	93
§ 34. Применение электролиза	95
§ 35. Электрический ток в газах	97
§ 36. Несамостоятельный и самостоятельный разряды	100
§ 37. Виды электрического разряда и их применение	102
<i>Основные выводы по главе IV</i>	104
<i>Вопросы и задачи для повторения главы IV</i>	105

Глава V. Магнитное поле

§ 38. Первоначальные сведения о магнетизме	107
§ 39. Магнитное поле тока	110
§ 40. Электромагниты	113
§ 41. Сборка электромагнита и испытание его действия (<i>Лабораторная работа</i>)	115
§ 42. Электромагнитное реле	116
§ 43. Изучение действия электромагнитного реле (<i>Лабораторная работа для дополнительного занятия</i>)	119
§ 44. Действие магнитного поля на проводник с током	119
§ 45. Электрический двигатель постоянного тока	121
§ 46. Изучение электрического двигателя постоянного тока (на модели) (<i>Лабораторная работа</i>)	124
<i>Основные выводы по главе V</i>	125
<i>Вопросы и задачи для повторения главы V</i>	126

Глава VI. Электромагнитная индукция

§ 47. Возникновение индукционного тока	128
§ 48. Переменный индукционный ток	130
§ 49. Генератор индукционного тока	134
§ 50. Электростанции	137
§ 51. Трансформаторы	140
§ 52. Изучение устройства и действия трансформатора (<i>Лабораторная работа</i>)	144
§ 53. Передача электрической энергии	145
<i>Основные выводы по главе VI</i>	148
<i>Вопросы и задачи для повторения главы VI</i>	149
§ 54. Современные средства связи (для дополнительного чтения)	151
Ответы к упражнениям	154
Ответы к задачам для повторения глав	155

УДК: 53=161.1(075)

X-12

КБК: 22.3я72

X-12

Физика: Электричество [Текст]: учебник для 8 класса школ общего среднего образования / П. Хабибуллаев [и другие]. – Т.: Государственное научное издательство «O‘zbekiston milliy ensiklopediyasi», 2014. – 160 с.

И. Хабибуллаев, Пулат Киргизбаевич.

ISBN 978–9943–07–281–7

УДК: 53=161.1(075)

КБК: 22.3я72

O‘quv nashri

HABIBULLAYEV PO‘LAT QIRG‘IZBOYEVICH
BOYDEDAYEV AHMADJON
BAHROMOV AKBAR DALABOYEVICH
YULDASHEVA MOXIDILXAN KAMALDJANOVNA

FIZIKA

Umumiy o‘rta ta‘lim maktablarining
8-sinfi uchun darslik

(Rus tilida)

Ikkinchi nashri

«O‘zbekiston milliy ensiklopediyasi»

Davlat ilmiy nashriyoti, 2014.

Toshkent–129, Navoiy ko‘chasi, 30.

Редактор

Перевод

Художественный

редактор

Компьютерная

верстка

З. Файзиева

А. Якубджанов

Д. Хасанова

Лицензия издательства

AI № 160, 14.08.2009.

Подписано в печать 05.06.2014. Формат 70x100¹/₁₆. Бумага офсетная.

Гарнитура «Times». Кегль 10,5. Печать офсетная.

Усл.-печ. л. 12,9. Уч.-изд. л. 10,59.

Тираж 42163. Заказ № 3431.

Отпечатано в типографии издательско-полиграфической
акционерной компании «Sharq».

100000, Ташкент, ул. Буюк Турон, 41.

Таблица состояния арендуемого учебника

№ п/п	Фамилия, имя ученика	Учебный год	Состояние учебника при получении	Подпись классн. руководителя	Состояние учебника при сдаче	Подпись классн. руководителя
1						
2						
3						
4						
5						
6						

При сдаче учебника классный руководитель оценивает его состояние по показателям, заполняя таблицу

Новое	Состояние учебника, полученного в первый раз
Хорошее	Обложка в хорошем состоянии, переплет целый. Все страницы в наличии, не порваны и не исписаны.
Удовлетворительное	Обложка немного повреждена, переплет книги нарушен, уголки страниц загнуты, некоторые страницы исписаны. Оторванные страницы заново приклеены.
Плохое	Обложка исписана и порвана, переплет отсутствует. Многие страницы порваны, некоторые отсутствуют. Учебник не подлежит восстановлению.