П. Хабибуллаев, А. Бойдедаев, А. Бахромов,
Ж. Усаров, К. Суяров, М. Юлдашева

ФИЗИКА

Учебник для 8 класса школ общего среднего образования

Издание третье, переработанное и дополненное

Рекомендован к изданию Министерством народного образования Республики Узбекистан

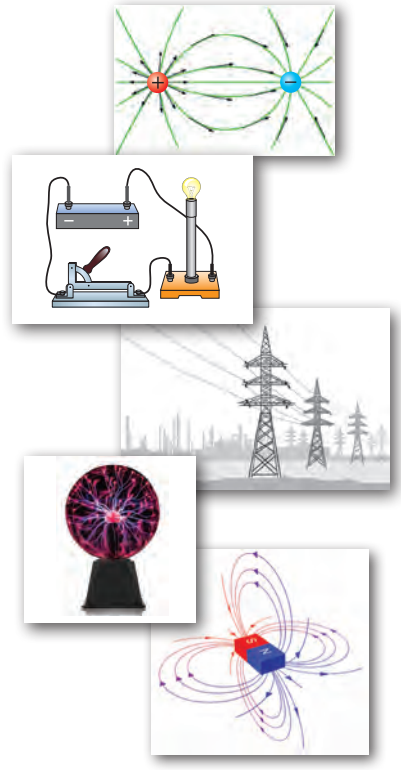
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

РАБОТА И МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ



ИЗДАТЕЛЬСКО-ПОЛИГРАФИЧЕСКИЙ
ТВОРЧЕСКИЙ ДОМ «O‘QITUVCHI»
ТАШКЕНТ – 2019

скачано с сайта www.idum.uz

УДК:53(075.3)=161.1
ББК 22.3я72
Ф 50

Специальный редактор:

К. Турсунметов – доктор ф-м. наук, профессор УзНУ.

Рецензенты:

Б. Нуриллаев – доцент ТГПУ им. Низами, кандидат педогогических наук;
А. Рахманов – учитель физики высшей категории средней школы № 25 Хазараспского района Хорезмской области;
З. Сангирова – методист по физике отдела «Точные и естественные науки» РЦО;
Д. Ачилов – учитель высшей категории школы № 21 Карменинского района Навоийской области, заслуженный наставник молодёжи Узбекистана;
И. Раупов – учитель физики высшей категории школы № 27 Гиждуванского района Бухарской области, обладатель медали «Шухрат»;
У. Алимухамедова – учитель физики средней школы № 19 Юнусабадского района г. Ташкента;
Е. Журавлева – учитель физики высшей категории школы № 145 Яшнабадского района г. Ташкента;
М. Баймуратова – учитель физики школы № 7 Сергелийского района г. Ташкента.

Условные обозначения:

– определение физических величин; основные законы

– важные формулы


– ответьте на вопросы!


– запомните!


– выполните практические задания и запишите в тетради

* – задачи, решение которых относительно сложное

Хабибуллаев П. и др.
Ф 50 **Физика.** Учебник для 8 класса школ общего среднего образования. /П. Хабибуллаев и др. – Т.: ИПТД «O‘qituvchi», 2019. – 176 с.

УДК 53(075.3)=161.1
ББК 22.3я72

Издано за счет средств Республиканского целевого книжного фонда

ISBN 978-9943-5751-6-5

© Р. Хабибуллаев и др., 2019
© Оригинал-макет ООО «Davr nashriyoti», 2019
© ИПТД «O‘qituvchi», 2019

скачано с сайта www.idum.uz

ВВЕДЕНИЕ

Нашу повседневную жизнь нельзя представить без электрической энергии, например, все предметы, находящиеся у нас дома, такие как осветительные лампы, телевизор, холодильник, радио, утюг, электрический чайник, компьютер функционируют за счет электрической энергии.

Различные заводы и фабрики, производственные предприятия и учреждения используют электрическую энергию, – словом, электрическая энергия является неотъемлемой частью нашей жизни. Изобретение электричества и использование его возможностей стали причиной невиданного прогресса. Для дальнейшего прогресса ученые, инженеры и специалисты других отраслей ведут изыскания в таких областях, как электроника, радиотехника, автоматика, информационные технологии, нанотехнологии. В результате новых открытий ученых и инженеров эти отрасли всё больше развиваются. Для того чтобы иметь представление об электричестве, вы на уроках физики будете изучать электрические явления, электрическое и магнитное поле, электрический ток, электромагнитные явления, а также ознакомитесь с производством электрической энергии и ее передачей, принципом работы простых электрических приборов и установок.

Электро-осветительные приборы	
Электро-нагревательные приборы	
Электро-механические приборы	

скачано с сайта www.idum.uz

ГЛАВА I
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

§ 1 ЗАРЯЖЕНИЕ ТЕЛ

Начальные сведения об электрическом явлении

Потрите пластмассовую расческу или ручку о свои волосы и поднесите к кусочкам измельченной бумаги. Вы увидите, что они притягивают к себе клочки бумаги. Если стеклянную палочку потереть о листок бумаги и приблизить ее к руке, послышится треск, а в темноте будут видны мелкие искры.

Подобные явления люди замечали издавна и проявляли к ним свое отношение. Древнегреческий ученый **Фалес Милетский** (327–547 до н.э.) оставил записи о том, что некоторые тела, натертые шерстью, притягивают легкие предметы. Великий мыслитель **Абу Райхан Беруни** (973–1048) также писал в своих трактатах об электрических явлениях.

В древнейшие времена греки называли «электроном» смолу хвойных деревьев, растущих на Земле сотни тысяч лет назад, превратившуюся в янтарь. Отсюда произошло слово «электричество».

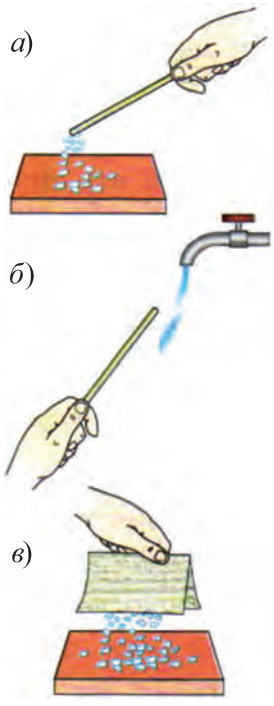


Рис. 1

Он отмечал, что если янтарь – который греки называли «электрон», русские – «янтарь», а восточные народы – «кахрабо» (*перс.* – «притягивающий соломинку») – потереть шерстью, он притягивает к себе соломинки. *Тело, притягивающее к себе после трения другие тела, называется наэлектризованным, или заряженным телом.* Наэлектризованные тела могут притягивать к себе тела не только в твердом состоянии, но и в жидком и газообразном. Например, наэлектризованная палочка притягивает к себе мелкие отрывки бумаги (*рис. 1 а*), а также струю воды (*рис. 1 б*).

При натирании стеклянной палочки шелком шелк сам приобретает свойство притягивать легкие предметы (*рис. 1 в*).

Следовательно, при трении двух тел электризуются оба тела.

скачано с сайта www.idum.uz

АБУ РАЙХАН БЕРУНИ (973–1048)



Всемирно признан как основатель геодезии, великий астроном, математик, географ, фармаколог, ученый, историк-энциклопедист. Родился в городе Кот древнего Хорезма.

Беруни научно обосновал идеи Аристотеля о влиянии центра массы Земли на состояние, электризацию и расположение тел. Присвоение имени Беруни кратеру на Луне и открытой в 1986 году маленькой планете Солнечной системы – это признание мировым сообществом трудов нашего предка.

Два рода электризации

При трении различных тел между ними наблюдается различная электризация и различное взаимодействие. К примеру, эбонитовую палочку[1] наэлектризуем шерстяной рукавицей, а стеклянную палочку – шелком. Если палочки подвесить на нити и приблизить к ним шерстяную рукавицу, то стеклянная палочка отталкивается, а эбонитовая притягивается *(рис. 2 а)*. Если приблизить к палочкам шелковую ткань, наоборот, стеклянная палочка притягивается к ней, а эбонитовая отталкивается *(рис. 2 б)*. Отталкивание стеклянной палочки от шерстяной рукавицы и в то же время ее притягивание к шелковой материи – это результат различной электризации тел. Отталкивающиеся друг от друга заряженные тела принято называть телами, заряженными одинаковым знаком, а притягивающиеся друг к другу – заряженными противоположным знаком.

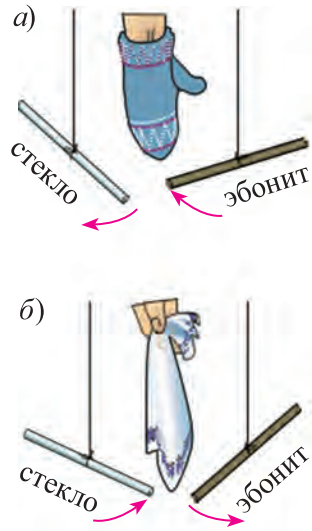


Рис. 2

Существует два вида электризации: стеклянная палочка при натирании шелком электризуется положительным (+) знаком, а эбонитовая палочка при натирании шерстью – отрицательным (–) знаком.

[1] *Эбонитовая палочка* – палочка, изготовленная из каучука (эластичной резины) с примесью серы.

скачано с сайта www.idum.uz

Тела, наэлектризованные одинаковыми знаками, отталкиваются друг от друга, а наэлектризованные разными знаками притягиваются друг к другу.

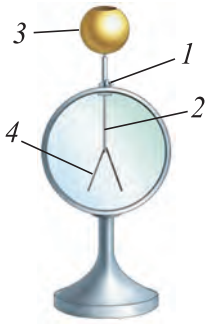


Рис. 3

Для наблюдения электризации тел используют электроскоп. Слово «электроскоп» состоит из греческих слов «elektron» и «scopeo» – «наблюдать, обнаруживать электрон». Простейший электроскоп приведен на рисунке 3. В его металлическом корпусе проведен металлический стержень *(2)* через пластмассовую пробку *(1)*. В верхний конец стержня установлен шарик *(3)*, в нижний конец – листочки из фольги *(4)*. Оправа с обеих сторон корпуса закрыта стеклом. Если к шарику электроскопа дотронуться заряженным телом, то его листочки раскрываются, так как они заряжаются одноименными знаками.

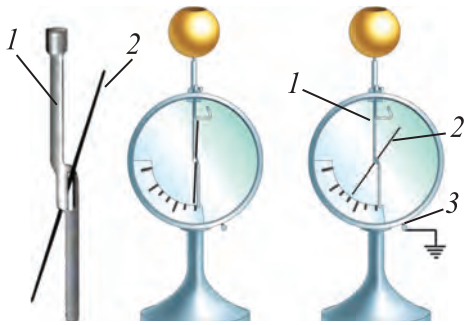


Рис. 4

При определении степени заряженности тел, сопоставлении степени заряженности используют электрометр *(рис. 4)*.

В электрометре на металлический стержень *(1)* установлена вращающаяся стрелка *(2)*. Для защиты стержня и показателя от внешних воздействий корпус *(3)* заземляется.

Электрометр **– прибор, показывающий степень электризации тел.**

Вращающаяся стрелка, установленная внутри электрометра, может свободно двигаться вокруг оси. При электризации шарика стержень и указатель электризуются одинаковым знаком. В результате указатель отталкивается от стержня. По состоянию указателя можно определить степень электризации шарика.

Проводники и изоляторы

Возьмем два одинаковых электрометра, шарик одного из которых заряжен. Поставив их рядом, соединим шарики электрометров стеклянной палочкой. Показатель наэлектризованного электрометра не изменится (*рис. 5 а*).

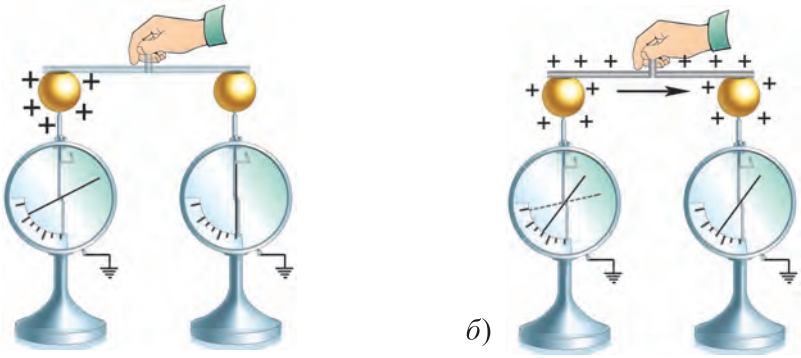


Рис. 5

Следовательно, его электрический заряд не переходит во второй электрометр через стеклянную палочку. Значит, стекло не проводит электричество.

Тела, не проводящие через себя электричество, называют *диэлектриками*, а предметы, изготовленные из диэлектриков, называют *изоляторами*.

«Диэлектрик» – греческое слово, означает «не проводящий», слово «izolator» произошло от латинского слова «izolaro» и означает «изолироваться» или «отделяться». К диэлектрикам относятся стекло, различные виды пластмассы, резина, каучук, воздух.

Теперь соединим шарики электрометров железной палочкой. Часть электрического заряда с шарика первого электрометра переходит в шарик второго электрометра. В результате показания первого электрометра уменьшаются, а указатель второго электрометра приходит в действие, это означает, что в нем появился заряд (*рис. 5 б*). Следовательно, металл хорошо проводит электричество.

Тела, проводящие электричество, называют *проводниками электричества*.

Электрофорная машина

Если наэлектризованной палочкой дотронуться до незаряженного тела, то оно заряжается. Для непрерывного получения зарядов в телах

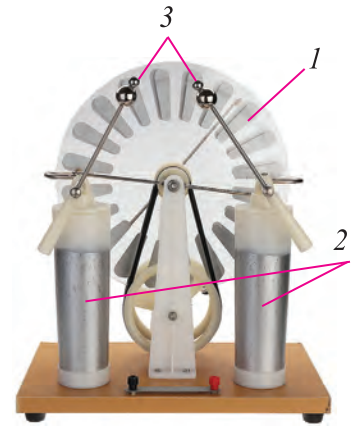


Рис. 6

английским ученым **Джеймсом Уимсхерстом** (1832–1903) была изобретена установка, которая позволяет получать заряды непрерывно – электрофорная машина *(рис. 6)*.

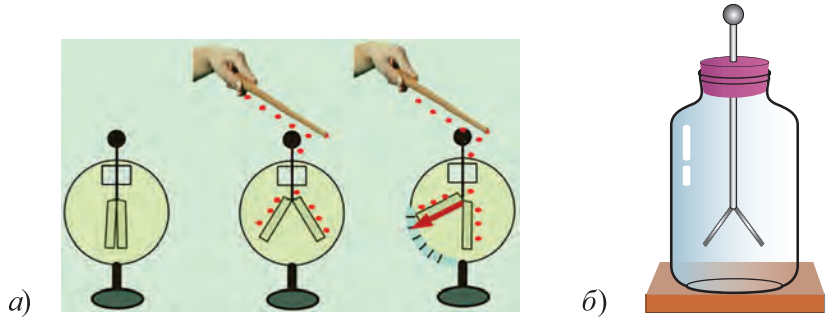
При вращении ручки электрофорной машины два ее диска (1) вращаются в противоположном направлении. В результате трения с щетками в крутящихся дисках появляются заряды противоположных знаков, которые собираются в двух цилиндрах, называемых лейденскими банками (2). Приложив тела к металлическим шарам (3) электрофорной машины, их можно зарядить.



1. Какие вещества называют проводниками? Приведите примеры.
2. Как заряжаются тела при трении друг о друга?
3. Как получают заряды в электрофорной машине?
4. Происходит ли переход заряда при плотной прокладке тел?
5. Как можно проследить электризацию тел на опыте?
6. Как можно доказать одноименную заряженность тел?



1. Объясните состояние и разницу приборов, приведенных на рисунке 7 *а*. Поясните каждый из рисунков.
2. Постройте электроскоп. Для этого возьмите сосуд (стеклянную банку) с пластмассовой крышкой (*рис. 7 б*). Продырявьте середину крышки и проведите через нее алюминиевый провод. К концу проволоки, находящейся внутри банки, прикрепите сложенные вдвое легкие листочки бумажной фольги, чтобы она могла свободно двигаться. Скатав шарик из бумажной фольги, прикрепите его к внешнему концу проволоки, как показано на рисунке. Пластмассовой расческой натрите волосы и приложите к шарику из фольги. Листочки при этом раскроются. Поясните этот процесс.



а) *б*)

Рис. 7

§ 2 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД

Строение атома

Греческие ученые считали, что все тела в природе состоят из атомов. Слово «атом» ввел в науку греческий мыслитель Демокрит (460–370 до н.э.). Это слово означает «неделимый». К XX веку ученые определили, что атом тоже может делиться, и он имеет сложное строение. В 1911 году английский физик Эрнест Резерфорд на основе опыта открыл строение атома.

В центре атома расположено ядро, которое состоит из положительно заряженных протонов и незаряженных нейтронов. Вокруг ядра атома по орбите движутся отрицательно заряженные электроны.

Число электронов в атоме равно числу протонов. Например, ядро атома водорода состоит только из 1 протона, и вокруг ядра вращается только 1 электрон (*рис. 8 а*). В атоме гелия (He) имеются 2 протона, 2 электрона и 2 нейтрона (*рис. 8 б*). Атом углерода состоит из 6 протонов, 6 электронов и 6 нейтронов (*рис. 8 в*). Если в атоме химического элемента число протонов и электронов равно, то они электрически нейтральны.

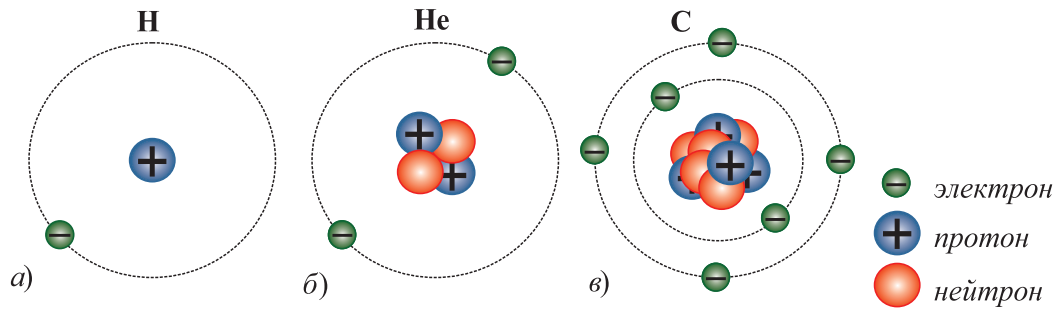


Рис. 8

Понятие об электрическом заряде

Вы многократно слышали о таких понятиях, как электричество, электризация тел, электрический ток, постоянно пользуетесь электрическими приборами.

Итак, что такое электрический заряд, составляющий основу всего этого?

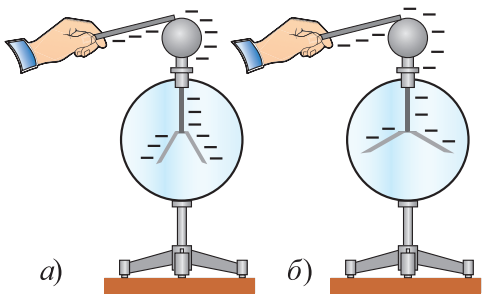


Рис. 9

Если поднести наэлектризованную эбонитовую палочку к шарику электроскопа, то листочки его раскроются (*рис. 9 а*). Если палочку еще раз потереть о шерсть и поднести к шарику, то его листочки раскроются еще на больший угол (*рис. 9 б*).

Следовательно, степень наэлектризованности тела можно изменить.

Физическая величина, характеризующая степень наэлектризованности тела, называется *электрическим зарядом* и обозначается буквой *q*.

В международной системе единиц за единицу электрического заряда принят кулон (Кл).

В природе, как было сказано в предыдущей теме, имеются заряды с положительным знаком и заряды с отрицательным знаком. Стеклянная палочка, натертая шерстью, заряжается положительно, а шелком – заряжается отрицательно. Почему так происходит?

Причина в том, что во время трения часть электронов стеклянной палочки переходит в шелк (*рис. 10 а*). Из-за того, что количество отрицательных зарядов в шелке относительно увеличилось, шелк заряжается отрицательно. Так как на стеклянной палочке число положительных зарядов больше, палочка заряжается положительно.

При натирании эбонитовой палочки мехом часть электронов атома шерсти (меха) переходит на эбонитовую палочку, из-за чего палочка заряжается отрицательно, а шерсть – положительно (*рис. 10 б*).



Рис. 10

Электрон, протон и их заряд

Заряд, равный по значению заряду электрона, называется *элементарным зарядом*.

Элементарный заряд обозначается буквой e (первая буква слова «элементар»). Заряд одного электрона равен

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

а заряд одного протона равен $q_p = +1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Следовательно, заряды электрона и протона по значению количественно равны и отличаются только по знаку. Заряд всех заряженных тел в природе кратен элементарному заряду. Если из одного тела в другой перешло N электронов,

$$q = N \cdot e,$$

то первое тело будет иметь заряд $+(N \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19})$ Кл, а второе тело – точно такое же количество отрицательного заряда $-(N \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19})$ Кл. Масса электрона равна $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг, а масса протона равна $m_p = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг.



1. Объясните строение атома по таблице Менделеева.
2. Каково строение атомов водорода, гелия и углерода?
3. Что называется электрическим зарядом?

Упражнение 1

1. Определите число зарядов электронов и протонов в атоме лития (из таблицы Менделеева).
2. Какова общая масса электронов атома углерода?
3. Каков общий заряд электронов и масса атома кислорода?



1. Объясните причину того, что при поднесении к сухой стене шара, заполненного воздухом и натертого волосами, он прилипает к ней.
2. Как изменится число заряженных частиц в стеклянной палочке при натирании ее шелковой материей *(рис. 11)*? Укажите это в таблице:

а) число электронов в шелковой материи	*б)* число протонов в стеклянной палочке



Рис. 11

При этом будем считать, что обмена атомами не происходит.

§ 3 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗАРЯДОВ. ЗАКОН КУЛОНА

Опыты Кулона

Наэлектризованные тела взаимодействуют и тогда, когда они находятся на некотором расстоянии друг от друга и не соприкасаются.

ШАРЛЬ КУЛОН (1736–1806)



Французский ученый-физик Кулон в течение 1770–1789 годов проводил исследования в области электромагнитных и механических явлений. Открытие законов взаимодействия электрических и магнитных полюсов, законов расположения электрических зарядов на поверхности проводника – его большой клад в науку.

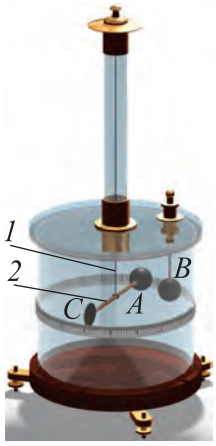


Рис. 12

Взаимодействие заряженных тел было изучено с помощью крутильных весов *(рис. 12)*. На весах на тонкой эластичной проволоке *(1)* подвешен стеклянный стержень *(2)*. На одном конце стержня закреплен металлический шарик *A*, а на втором конце – противовес *C,* сохраняющий равновесие тела. Металлической шарик *B* прикреплен неподвижно к крышке весов. При заряде шариков одноименными знаками (+, +) шарик *A* отталкивается от шарика *B*, при заряде шариков различными знаками (–, +) они притягиваются.

При движении шарика *A* подвешенная проволока поворачивается. Сила взаимодействия шариков определяется по углу поворота проволоки. Кулон проводил опыты с различными расстояниями между шариками. При этом было определено, что сила взаимодействия заряженных шариков *(F)* обратно пропорциональна квадрату расстояния *(r)* между ними:

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

Если к заряженному шарику приставить незаряженный шар точно такого же размера, то заряды разделятся ровно на две части. На основании этого Кулон в процессе опыта уменьшал заряды шариков в 2, 4, 8 и т.д. раз. Результаты опыта показали, что сила воздействия F между шариками прямо пропорциональна произведению количества зарядов q_1 и q_2 шариков A и B, т.е.

$$F \sim q_1 \cdot q_2. \qquad (2)$$

Закон Кулона

Взаимодействующие тела примем за точечный заряд. Заряженное тело, размеры и форма которого не учитываются, называется точечным зарядом. Обобщив отношения *(1)* и *(2)*, Кулон выразил формулу силы взаимодействия точечных зарядов следующим образом:

$$F = k\frac{|q_1|\cdot|q_2|}{r^2}, \qquad (3)$$

где 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 электрических зарядов, расположенных в вакууме, прямо пропорциональна произведению количества их зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Этот закон, выражающий взаимодействие неподвижных заряженных тел, называется ***законом Кулона***, а сила взаимодействия – ***силой Кулона***, или электростатической силой. Если в результате взаимодействия двух зарядов второй заряд действует на первый с силой $F_{1,2}$, то первый действует с такой же силой $F_{2,1}$. Согласно третьему закону Ньютона, эти силы по значению равны и направлены противоположно, т.е.

$$F_{1,2} = -F_{2,1}. \qquad (4)$$

Направление электростатической силы зависит от знака взаимодействующих зарядов. Одноименные заряды отталкиваются друг от друга. При этом сила будет направлена наружу по прямой линии, соединяющей центр точечных зарядов *(рис. 13 а)*.

Разноименные заряды притягиваются друг к другу. При этом сила будет направлена внутрь по прямой, соединяющей центр зарядов *(рис. 13 б)*.

В формуле Кулона (3) коэффициент k выражается следующим образом:

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

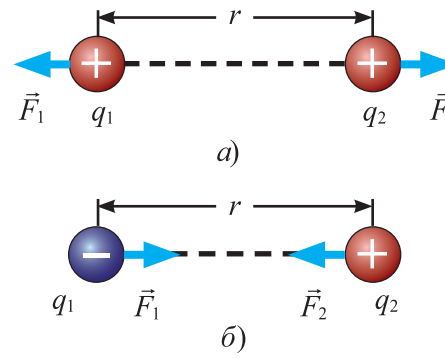


Рис. 13

Значение коэффициента пропорциональности k равно:

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

Его физический смысл состоит в следующем: когда два точечных заряда с зарядами по 1 кулону находятся в вакууме на расстоянии 1 метр друг от друга, они взаимодействуют с силой $F = 9 \cdot 10^9$ Н.

Пример решения задач:

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

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$r = 10$ см $= 0{,}1$ м $q_1 = -2 \cdot 10^{-8}$ Кл $q_2 = 3 \cdot 10^{-8}$ Кл $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.	$F = k \frac{\lvert q_1 \rvert \cdot \lvert q_2 \rvert}{r^2}$. $[F] = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \frac{\text{Кл} \cdot \text{Кл}}{\text{м}^2} = \text{Н}.$	$F = 9 \cdot 10^9 \frac{\lvert -2 \cdot 10^{-8} \rvert \cdot \lvert 3 \cdot 10^{-8} \rvert}{(0{,}1)^2}$ Н $=$ $= 5{,}4 \cdot 10^{-4}$ Н.
Найти: $F = ?$		*Ответ:* $F = 5{,}4 \cdot 10^{-4}$ Н.



1. Кто и когда открыл закон взаимодействия электрических зарядов?
2. Как с помощью крутильных весов определяется сила взаимодействия электрических зарядов?
3. От каких величин зависит сила взаимодействия электрических зарядов?
4. Дайте определение электростатической силы.

Упражнение 2

1. Одному из двух шариков, находящихся в 5 см друг от друга, сообщен заряд $-8 \cdot 10^{-8}$ Кл, а другому $4 \cdot 10^8$ Кл. С какой силой будут притягиваться заряженные шарики?
2. Два одинаково заряженных шарика, находящихся на расстоянии 5 см друг от друга, взаимодействуют с силой $3{,}6 \cdot 10^{-4}$ Н. Определите количество заряда шариков.
3. На каком расстоянии взаимодействуют шарики с зарядами 0,36 мкКл и 10 нКл с силой 9 мН?
4. Во сколько раз сила электрического отталкивания между электронами больше силы их гравитационного притяжения?

§ 4 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. Два металлических шарика, имеющих одинаковые отрицательные заряды, взаимодействуют на расстоянии 8 см с силой 14,4 мкН. Сколько лишних электронов было в каждом шарике?

Дано:

$q_1 = q_2 = q$

$r = 8$ см $= 8 \cdot 10^{-2}$ м

$F = 14{,}4$ мкН $=$

$= 14{,}4 \cdot 10^{-6}$ Н

$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Найти:

$N = ?$

Формула:

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

$$q = \sqrt{\frac{F \cdot r^2}{k}} = r\sqrt{\frac{F}{k}};$$

$$q = N \cdot e; \qquad N = \frac{q}{e}.$$

$$[q] = \text{м} \cdot \sqrt{\frac{\text{Н}}{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}}} = \text{Кл}.$$

Решение:

$$q = 8 \cdot 10^{-2}\sqrt{\frac{14{,}4 \cdot 10^{-6}}{9 \cdot 10^9}}\text{Кл} =$$

$$= 3{,}2 \cdot 10^{-9}\text{Кл}.$$

$$N = \frac{3{,}2 \cdot 10^{-9}\text{Кл}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\text{Кл}} = 2 \cdot 10^{10}.$$

Ответ: $N = 2 \cdot 10^{10}$.

Задача 2. Два точечных заряда, имеющих одинаковый заряд ($q_1 = q_2 = 8$ нКл), взаимодействуют на расстоянии 4 см. Как изменится сила взаимодействия, если половину заряда одного из них переместить на второй?

Дано:

$q_1 = q_2 = 8$ нКл $=$

$= 8 \cdot 10^{-9}$ Кл

$r = 4$ см $= 4 \cdot 10^{-2}$ м

$$q_1' = q_1 - \frac{q_1}{2} =$$

$= 4 \cdot 10^{-9}$ Кл

$$q_2' = q_2 + \frac{q_1}{2} =$$

$= 12 \cdot 10^{-9}$ Кл.

Найти:

$\Delta F = ?$

Формула:

$$F_1 = k\frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2};$$

$$F_2 = k\frac{|q_1'| \cdot |q_2'|}{r^2};$$

$$\Delta F = F_2 - F_1.$$

Решение:

$$F_1 = 9 \cdot 10^9\frac{|8 \cdot 10^{-9}| \cdot |8 \cdot 10^{-9}|}{(4 \cdot 10^{-2})^2} = 3{,}6 \cdot 10^{-4}\text{Н}.$$

$$F_2 = 9 \cdot 10^9\frac{|4 \cdot 10^{-9}| \cdot |12 \cdot 10^{-9}|}{(4 \cdot 10^{-2})^2} = 2{,}7 \cdot 10^{-4}\text{Н}.$$

$\Delta F = F_2 - F_1 = 2{,}7 \cdot 10^{-4}\text{Н} - 3{,}6 \cdot 10^{-4}\text{Н} =$

$= -0{,}9 \cdot 10^{-4}\text{Н} = -90$ мкН.

Ответ: сила взаимодействия уменьшилась на 90 мкН.

Задача 3. Два одинаковых шарика, заряженных одноименными знаками q и $4q$, взаимодействуют на расстоянии r друг от друга. Шарики привели в соприкосновение, затем вернули их в прежнее положение. Как изменится при этом сила их взаимодействия?

Дано:

$q_1 = q$

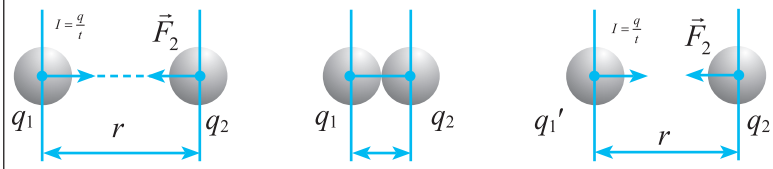
$q_2 = 4q$

$r_1 = r_2 = r.$

Найти:

$\frac{F_2}{F_1} = ?$

Решение:



а) *б)* *в)*

Так как шарики одинакового размера, их заряд после соприкосновения: $q_1' = q_2' = \frac{q_1 + q_2}{2} = 2{,}5q;$

$$F_1 = k\frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2};\ F_2 = k\frac{|q_1'| \cdot |q_2'|}{r^2};$$

$$F_1 = k\frac{q \cdot 4q}{r^2} = k\frac{4q^2}{r^2} \text{ и } F_2 = k\frac{2{,}5q \cdot 2{,}5q}{r^2} = k\frac{6{,}25 \cdot q^2}{r^2}.$$

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{k\frac{6{,}25 \cdot q^2}{r^2}}{k\frac{4 \cdot q^2}{r^2}} = \frac{6{,}25}{4} = \frac{25}{16}.$$

Ответ: сила взаимодействия возрастет в 25/16 раз.

Упражнение 3

1. Два одинаковых шарика с массами 60 г находятся в вакууме на большом расстоянии друг от друга. Какой заряд нужен каждому шарику, чтобы привести силу гравитационного притяжения между шарами в равновесие?
2. Два металлических шарика, имеющих одинаковые отрицательные заряды, взаимодействуют между собой с силой 2,5 мкН на расстоянии 24 см. Сколько лишних электронов имеется в каждом шарике?
3. Из трех металлических шариков одинакового размера один имеет +20 мкКл, второй –8 мкКл, а третий – без заряда. Шарики привели в соприкосновение и вернули в прежнее положение. Какой заряд получит третий шарик?
4. Два одинаковых шарика, заряженных зарядами $2q$ и $10q$ одинакового знака, взаимодействуют между собой на расстоянии r друг от друга.

Шарики привели в соприкосновение и вернули в исходное положение. Как изменится при этом сила их взаимодействия?

5. Два точечных заряда находятся на расстоянии r друг от друга. При увеличении расстояния между ними на 20 см сила их взаимодействия уменьшилась в 9 раз. Каково было первоначальное расстояние между зарядами?

6. Два одинаковых шарика находятся на расстоянии 10 см друг от друга. Они имеют одинаковые отрицательные заряды и взаимодействуют с силой 0,23 мН. Найдите число «лишних» электронов в каждом шарике.

7. С какой силой взаимодействуют два заряда, каждый из которых имеет 1 нКл и находится на расстоянии 3 см друг от друга?

8. Двум шарикам, находящимся на расстоянии 1 см друг от друга, сообщен одинаковый заряд, равный 10^{-8} Кл. С какой силой взаимодействуют заряды?

1. Вы неоднократно наблюдали, как летом во время грозы между облаком и землей появляется электрический заряд в виде ломаной линии – молния – или как пластмассовая расческа, когда вы расчесываете волосы, притягивает волосы. При этом расческа принимает электроны волос, и расческа и волосы заряжаются *(рис. 14)*. Объясните, отчего зависит электризация волос и расчески.



Рис. 14

а) Наблюдается ли явление электризации, если расческа деревянная?

б) Как воздействует на заряжение влажность комнаты?

в) Как воздействует на степень заряжения жирность волос?

2. Приведите примеры проводников и диэлектриков и заполните следующую таблицу:

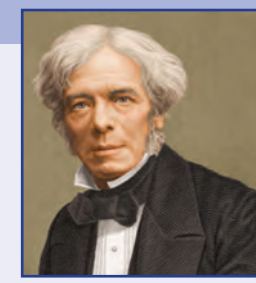
Проводники	**Диэлектрики**
Алюминий	
	Резина

§ 5 ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Понятие об электрическом поле

В предыдущих темах вы узнали, как тела можно зарядить трением друг о друга или соприкосновением с заряженным телом. Заряженные тела оказывают воздействие на другие тела, находящиеся возле них. Майкл Фарадей объяснил, что такое воздействие возникает через электрическое поле.

МАЙКЛ ФАРАДЕЙ (1791–1867)



Английский физик-экспериментатор. Провел более тысячи опытов за свою жизнь. Ученые называли его «королем экспериментов». Одним из величайших открытий является явление электромагнитной индукции. Ток, полученный опытом Фарадея, сегодня освещает весь мир.

Электрические заряды взаимодействуют также не соприкасаясь, это означает, что вокруг них образуется электрическое поле. Электрическое поле первого заряда действует на второй заряд, поле второго действует на первый заряд. С удалением от заряда электрическое поле ослабевает.

Поле неподвижного заряда, или поле заряженного тела, называется *электростатическим полем.*

Без непосредственных опытов нельзя ни увидеть, ни почувствовать электрическое поле. Судить о наличии поля можно по взаимодействию заряженных тел.

Силовые линии электрического поля

На стеклянную пластину, лежащую на столе, поместим положительно заряженную металлическую пластину в форме круга. Вокруг нее рассыплем измельченные волосы и несколько раз постучим пальцем по стеклу. При этом волосы расположатся в определенном порядке *(рис. 15 а)*.

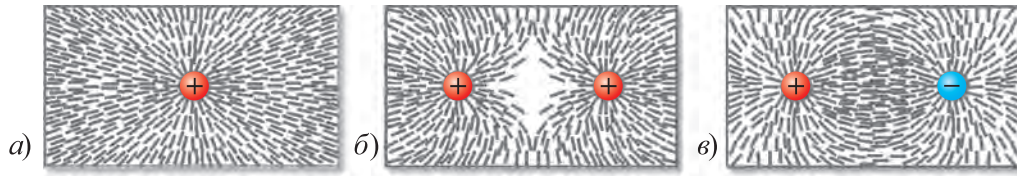


Рис. 15

Если, положив на стекло две круглые положительно заряженные металлические пластины, постучим пальцем по стеклу, на котором рассыпаны измельченные волосы, то наблюдается картина, изображенная на рисунке *15 б*. Теперь положим на стекло две металлические пластины, одна из которых заряжена положительно, другая – отрицательно. В этом случае измельченные волосы расположатся на стекле, как показано на рисунке 15 *в*. Данные опыты подтверждают, что, во-первых, электрическое поле действительно существует, а во-вторых, электрическое поле имеет силовые линии.

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

Отдельно расположенные силовые линии электрического поля положительно и отрицательно заряженных шариков изображены на рисунке 16 *а, б*, различные силовые линии электромагнитного поля при их взаимодействии изображены на рисунке 16 *в, г*.

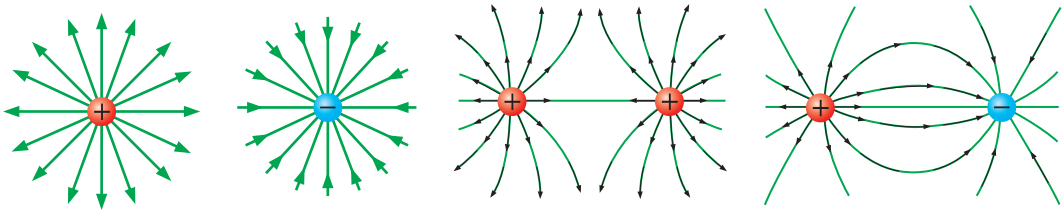


Рис. 16

Напряженность электрического поля

Для количественной оценки электрического поля введена величина, называемая напряженностью электрического поля и обозначаемая буквой *E*. Сообщим точке А электрического поля, образованного положительно заряженным шариком *q*, положительный точечный заряд q_0 (*рис. 17*). Поле шарика действует на точечный заряд с некоторой силой *F*.

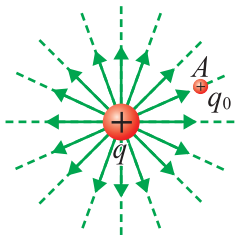


Рис. 17

Напряженность электрического поля, созданного зарядом *q* в точке *A*, выразится формулой

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}. \qquad (1)$$

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

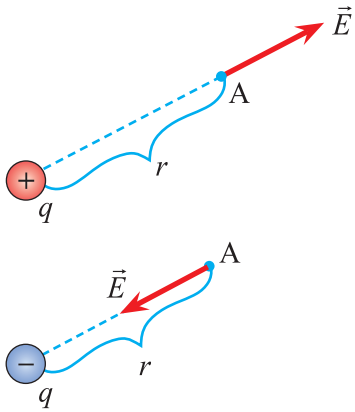


Рис. 18

Направление напряженности электрического поля (E) совпадает с направлением силы F, действующей на положительный заряд *(рис. 18)*. Напряженность электрического поля – векторная величина.

Единица напряженности поля выражается Н/Кл. Рассмотрим, как находится напряженность электрического поля, созданного на некотором расстоянии точечным зарядом.

По закону Кулона выражение напряженности поля (1) можно записать следующим образом:

$$E = \frac{k\dfrac{|q_0|\cdot|q|}{r^2}}{q_0} = k\frac{|q|}{r^2}\ .$$

Значит, напряженность электрического поля, находящаяся на расстоянии r от произвольного точечного заряда, можно найти по следующей формуле:

$$E = k\frac{|q|}{r^2}\cdot \qquad (2)$$

Напряженность электрического поля вокруг точечного заряда зависит от свойств среды расположенного заряда. Если напряженность поля, созданного точечным зарядом q, в вакууме равна E_0, то при заполнении диэлектриком полученная вокруг него напряженность поля уменьшается, так как диэлектрик ослабляет электрическое поле. Если модель E_0 напряженности поля в вакууме разделить на модуль E напряженности электрического поля, полученного внутри однородного диэлектрика, то отношение $\dfrac{E_0}{E}$ показывает, во сколько раз напряженность поля внутри данного диэлектрика меньше напряженности поля в вакууме. Это отношение называется *диэлектрической проницательностью диэлектрика* и обозначается буквой ε (эпсилон). По определению:

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E}\ . \qquad (3)$$

В этом случае напряженность поля, находящаяся на расстоянии r от точечного заряда q, расположенного внутри диэлектрика, рассчитывается следующей формулой:

$$E = k\frac{|q|}{\varepsilon\cdot r^2}\ . \qquad (4)$$

Также сила взаимодействия между двумя точечными зарядами, расположенными внутри однородного диэлектрика, будет в ε раз меньше силы их взаимодействия в вакууме, т.е.:

$$F_m = k\frac{|q_1|\cdot|q_2|}{\varepsilon\cdot r^2}. \qquad (5)$$

Диэлектрическая проницаемость – безразмерная величина.

Диэлектрическая проницаемость среды – это величина, показывающая, во сколько раз напряженность электрического поля заряда в среде меньше напряженности электрического поля заряда в вакууме.

Пример решения задач:

Если при введении пробного заряда $2\cdot10^{-8}$ Кл в электрическое поле точечного заряда на него воздействовала сила 5 мН, то какова была напряженность этого поля?

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$q_0 = 2\cdot10^{-8}$ Кл $F = 5$ мН $= 5\cdot10^{-3}$ Н.	$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}.$	$E = \frac{5\cdot10^{-3}\,\text{Н}}{2\cdot10^{-8}\,\text{Кл}} = 2{,}5\cdot10^5\,\frac{\text{Н}}{\text{Кл}}.$
Найти: $E = ?$	$[E] = \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}.$	*Ответ:* $E = 2{,}5\cdot10^5\,\frac{\text{Н}}{\text{Кл}}.$



1. Из чего состоит учение Фарадея об электрическом поле?
2. Какое поле называется электростатическим?
3. Как направлены силовые линии электрического поля положительно и отрицательно заряженных тел?
4. Дайте определение напряженности электрического поля.

Упражнение 4

1. Найдите напряженность поля точечного заряда с зарядом –4 нКл на расстоянии 6 см.
2. Какая сила воздействует на шарик с зарядом 20 нКл, находящимся в точке с напряженностью электрического поля 3000 Н/Кл?
3. В однородном электростатическом поле на заряд $5\cdot10^{-8}$ Кл действует сила 8 мкН. Найдите напряженность электрического поля в точке нахождения заряда.
4. На каком расстоянии от точечного заряда 3,6 нКл напряженность поля будет равна 9000 Н/Кл?

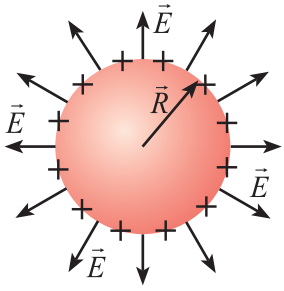
§ 6

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ В ПРОВОДНИКАХ

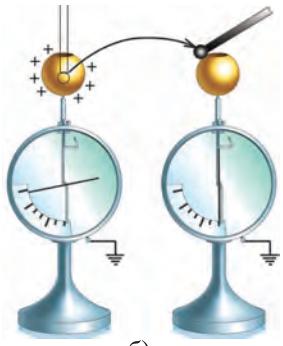
Распределение зарядов в проводниках

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

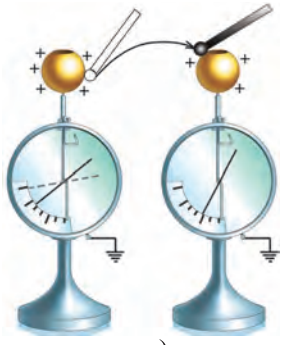
Допустим, металлическому шару сообщен положительный заряд. Известно, что одноименные заряды отталкиваются. Поэтому, если в самом шаре имеется заряд, заряды оттолкнутся и будут стремиться расположиться как можно дальше друг от друга. В результате заряды со всего объема шара распределятся по его поверхности. Положительные заряды, сообщенные металлическому шару, равномерно распределятся по поверхности шара *(рис. 19 а)*, а линии напряженности электрического поля будут направлены извне по радиусу шара.



а)



б)



в)

Рис. 19

Как проверить, что внутри шара нет заряда? Возьмем два электрометра, на один из них установим полый металлический шар с отверстием сверху. При сообщении шару электрического заряда стрелка электрометра повернется на определенный угол. Конец палочки с изолятором введем внутрь полого шара и коснемся его внутренней поверхности металлическим шариком, закрепленным на конце палочки, затем прикоснемся шариком палочки к шару незаряженного электрометра *(рис. 19 б)*. При этом стрелка второго электрометра останется неподвижной. Значит, внутри шара заряда нет.

Теперь прикоснемся шариком палочки к поверхности шара первого электрометра. При этом стрелка этого электрометра покажет некоторое уменьшение заряда. Прикоснемся шариком палочки к шару второго электрометра. При этом стрелка электрометра немного сдвинется. Это показывает, что ему сообщен заряд *(рис. 19 в)*. Следовательно, электрический заряд распределился по поверхности проводника.

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

Клетка Фарадея

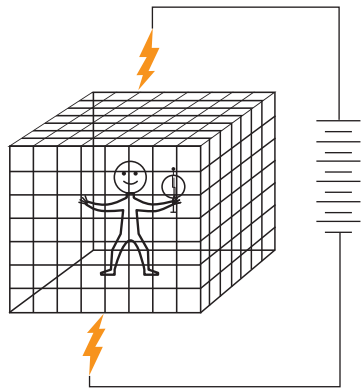


Рис. 20

Ознакомимся с установкой, построенной М. Фарадеем для доказательства отсутствия электрических зарядов внутри проводника. Он покрыл внешнюю часть клетки, построенной из дерева, тонкой фольгой. Фарадей с электроскопом в руке вошел внутрь клетки. Его помощники подвесили клетку на шелковых веревках, затем сообщили клетке электрический заряд. Электроскоп, находящийся внутри клетки, не отреагировал на заряжение клетки. Следовательно, внутри металлической клетки электрическое поле отсутствует (*рис. 20*). На сегодняшний день существует несколько способов демонстрации этой установки (*рис. 21*).



Рис. 21

Опыт, проведенный Фарадеем, доказывает, что внутри проводника заряда нет, электрические заряды располагаются только на поверхности проводника. На практике это явление широко используется, например, для лиц, работающих в условиях высокой напряженности электрического поля, изготавливается специальная одежда из металлизированной ткани. Так как в электрической сети протяженностью в сотни километров, даже если она отключена, может накапливаться большое количество заряда, такая одежда защищает людей от электризации.

Распределение зарядов по поверхности проводника



Рис. 22

Мы убедились в том, что заряды равномерно распределяются на поверхности металлического шара. Однако как распределяются заряды на поверхности проводника произвольной формы?

В различных местах проводника прикреплены листочки из фольги, как показано на рисунке 22. Под влиянием зарядов на поверхности проводника листоч-

ки фольги раскрывается по-разному, то есть ближе к острым конечностям разойдутся больше, а в цилиндрической части – меньше.

«Электрический ветер»



Рис. 23

Известно, что на остром конце тела заряды расположены плотнее, чем на остальных его частях. Подсоединив к электрическому источнику через проводник металлическое тело с изолированным острым концом, будем его непрерывно заряжать. К кончику тела приблизим горящую свечу. При этом наблюдается отклонение пламени, как при воздействии ветра *(рис. 23)*. Поэтому этот процесс называется «электрический ветер». Данный опыт подтверждает, что на поверхности изолированного проводника заряды распределяются неравномерно, в острых местах проводника заряды располагаются плотно.

1. Как распределяются электрические заряды в металлическом шаре?
2. Расскажите о клетке Фарадея.
3. Как распределяются электрические заряды на поверхности изолированного проводника, имеющего сложную поверхность?
4. Почему возникает «электрический ветер» на остром конце проводника?
5. Даны проволочная сетка в форме шара и целые сосуды. В каких из них напряженность электрического поля больше?

Наблюдение «электрического ветра».

1. Присоедините тело с острым концом к металлическому шарику электрофорной машины, как показано на рисунке 24.
2. Придвиньте острый конец тела к горящей свече.
3. Вращая ручку электрофора, зарядите острый конец тела.
4. Результаты наблюдаемого физического процесса запишите в тетради и объясните причину.



Рис. 24

§ 7 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. На точечный заряд с напряженностью электрического заряда $2{,}5 \cdot 10^4$ Н/Кл действует сила 8 нН. Найдите число лишних электронов в точечном заряде.

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$E = 2{,}5 \cdot 10^4$ Н/Кл $F = 8$ нН $= 8 \cdot 10^{-9}$ Н $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.	$E = \frac{F}{q}$; $q = \frac{F}{E}$; $q = N \cdot e$; $N = \frac{q}{e} = \frac{F}{e \cdot E}$. $[N] = \frac{\text{Н}}{\text{Кл} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}} = 1$.	$N = \frac{8 \cdot 10^{-9}}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 2{,}5 \cdot 10^4} =$ $= 2 \cdot 10^6$. *Ответ:* $N = 2 \cdot 10^6$.
Найти: $N = ?$		

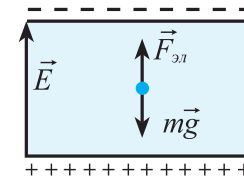
Задача 2. Тело с зарядом 6,4 мкКл, находящееся в среде, на расстоянии 6 см от себя создает напряженность поля $5 \cdot 10^6$ Н/Кл. Найдите диэлектрическую проницаемость диэлектрика.

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$q = 6{,}4$ мкКл $=$ $= 6{,}4 \cdot 10^{-6}$ Кл $E = 5 \cdot 10^6$ Н/Кл $r = 6$ см $= 6 \cdot 10^{-2}$ м.	$E = k\frac{\lvert q\rvert}{\varepsilon \cdot r^2}$; $\varepsilon = k\frac{\lvert q\rvert}{E \cdot r^2}$; $[\varepsilon] = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \frac{\text{Кл}}{\frac{\text{Н}}{\text{Кл}} \cdot \text{м}^2} = 1$.	$\varepsilon = 9 \cdot 10^9 \frac{6{,}4 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^6 \cdot 36 \cdot 10^{-4}} = 3{,}2$. *Ответ:* $\varepsilon = 3{,}2$.
Найти: $\varepsilon = ?$		

Задача 3. Капля масла массой 0,4 мг находится в равновесии в электрическом поле. Определите заряд капли масла, если напряженность электрического поля равна 100 Н/Кл.

Дано:	*Решение:*
$m = 0{,}4$ мг $= 4 \cdot 10^{-7}$ кг $E = 100$ Н/Кл.	Капля масла будет в равновесии, когда действующие электростатическая сила и сила тяжести будут равны следующему:
Найти: $q = ?$	$F_{эл} = qE$; $F_{тяж} = mg$.

Принимая во внимание вышеприведенное, по условию задачи



$$q\,E = m\,g.$$

Отсюда заряд капли масла:

$$q = \frac{m\,g}{E} = \frac{4 \cdot 10^{-7}\ \text{кг} \cdot 10\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{100\ \text{Н/Кл}} = 4 \cdot 10^{-8}\ \text{Кл}.$$

Ответ: для того чтобы капля масла находилась в невесомости, ее заряд должен быть равен $q = 4 \cdot 10^{-8}$ Кл.

Упражнение 5

1. На заряд 20 нКл, находящийся в электрическом поле, действует сила 8 мкН. Какова напряженность поля в том месте, где находится заряд?
2. Два одинаково заряженных точечных заряда взаимодействуют с силой 30 мкН. Напряженность электрического поля первого заряда в точке, где находится второй заряд, равна 5000 Н/Кл. Найдите значение точечных зарядов.
3. На отрицательно заряженный шарик, находящийся в точке с напряженностью поля 1200 Н/Кл, действует сила, равная 160 мкН. Сколько лишних электронов в шарике?
4. В керосине находится точечный заряд 7 нКл. Какую напряженность поля он создает на расстоянии 10 см от себя? Примем диэлектрическую проницаемость керосина за равную 2,1.
5. Два точечных заряда 30 нКл и –36 нКл, находящиеся внутри среды, взаимодействуют на расстоянии 18 см. Если сила взаимодействия между ними равна 150 мкН, то какова диэлектрическая проницаемость среды?
6. Капля масла массой 80 мг заряжена отрицательно. Найдите массу лишних электронов в нем, если она находится в невесомости в электрическом поле напряженностью 1000 Н/Кл
7. Точечный заряд $2 \cdot 10^{-8}$ Кл, находящийся в точке *B,* взаимодействует с зарядом, находящимся в точке *A,* с силой 60 мкН. Найдите напряженность поля, созданного в точке *B,* зарядом, находящимся в точке *A*.

§ 8 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ПРИРОДЕ

Молния и гром

Мы много раз наблюдали, как сверкает молния и гремит гром. Их возникновение можно объяснить взаимодействием электрических зарядов с различными знаками. При трении одного тела о другое возникает электрический заряд. Если приблизить тела, сильно заряженные зарядами различного знака, появляется искра и слышится треск.

Известно, что в воздухе имеются пары воды. При снижении температуры в небе пары воды, соединившись, образуют водяные частицы. Место, где собрались водяные частицы, мы видим как белые облака. Если температура воздуха будет продолжать снижаться, то водяные частицы будут увеличиваться и превратятся в черные тучи. Если там, где образовались тучи, температура воздуха еще снижется, это приведет к преобразованию водяных частиц в град.

Тучи на небе всегда находятся в трении между собой и различными слоями воздуха. В результате некоторые скопления туч заряжаются сильнее. Когда тучи, сильно заряженные зарядами различных знаков, сближаются, отрицательные заряды из одной тучи движутся в сторону положительных зарядов. В результате внезапного слияния зарядов противоположных знаков появляется сильная искра – молния *(рис. 25)*.



Рис. 25

Молния **– это сильная электрическая искра, возникающая между заряженными разными знаками облаками или облаками и землей.**

Длина молнии достигает нескольких километров, а ее диаметр – нескольких сантиметров, она продолжается доли секунд. Во время молнии слышен сильный грохот – гром.

Гром **– это явление звука в воздухе (в атмосфере), появляющееся во время молнии, он происходит из-за накаливания воздуха на пути молнии, повышения давления.**



а)



б)

Рис. 26

Молния и гром возникают одновременно. Вспышку света – молнию мы видим в момент возникновения, однако грохот грома слышен через некоторое время. Причина в том, что свет за 1 с проходит расстояние 300 000 км, а звук – всего лишь 340 м. Например, если молния ударила на расстоянии 1 км от нас, то мы увидим ее в тот же миг, а звук грома будет услышан через 3 с.

Молния может образоваться не только между облаками, но и между облаками и землей (*рис. 26 а*). В результате перехода на землю потока большого количества зарядов, образовавшихся в слоях облака, внезапно сверкает молния и гремит гром. Если положительно заряженный слой облака приблизится к поверхности земли, то на поверхности земли под этим облаком соберутся отрицательные заряды. В результате заряженное облако взаимодействует с поверхностью земли через созданное электрическое поле. Когда сильно заряженное облако приблизится к земле, между облаком и поверхностью земли появляется сильная искра, то есть сверкает молния. Во время молнии заряды облака переходят в землю.

Обратная молния. Спрайты

До сих пор говорилось о том, что молнии появляются между облаками и землей, то есть от облаков вниз к земле. Однако молнии наблюдаются и над облаками. Это явление наблюдалось в 1994 году в связи с появлением реактивной авиации. Молнии, изображенные на рисунке 26 *б,* названные *спрайтами,* были сфотографированы в 1989 году, и их физическая природа глубоко не изучена.

Защита от молнии

Мы часто слышим выражение «ударила молния», «попала молния». Что представляет собой удар молнии? Как от нее 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, которая едет по ровному месту, или в человека. Во время грозы опасно находиться в высоком месте, под одиноко стоящим деревом, укрываться в стоге сена.

Обычно при строительстве высотных зданий и башен на них устанавливают громоотводы *(рис. 27)*.



Рис. 27

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

Громоотвод представляет собой металлический шест с заостренным концом, который устанавливают наверху здания. Толстым металлическим проводником шест соединяется с листом металла, зарытым глубоко 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 можно образовать искусственную молнию?
3. Почему мы слышим гром через несколько секунд после удара молнии? Чем объясняются раскаты грома, продолжающиеся в течение нескольких секунд?
4. Что представляет собой удар молнии? Как он происходит?
5. Каким образом громоотвод предохраняет башни и здания от ударов молнии? Какую роль при этом выполняет земля?



Вы видели, как сверкает молния, и слышали, как гремит гром, оцените примерно, на каком расстоянии от вас это произошло. Запишите свои впечатления об этом в тетрадях.

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ ГЛАВЫ I

1. Какая частица имеет положительный элементарный заряд?

А) нейтрон; Б) электрон;

В) α-частица; Г) протон.

2. От капли, имеющей положительный $+2q$ заряд, отделилась капля с зарядом $-q$. Каков электрический заряд оставшейся капли?

А) $-3q$; Б) $-q$; В) $+4q$; Г) $+3q$.

3. Капля ртути с отрицательным зарядом –3 нКл присоединилась к капле ртути с зарядом 6 нКл. Каков заряд полученной капли (нКл)?

А) 2; Б) –2; В) 3; Г) –3.

4. Если нейтральный атом в результате ионизации потеряет 2 электрона, то какой у него будет заряд (Кл)?

А) $-1{,}6 \cdot 10^{-19}$; Б) $1{,}6 \cdot 10^{-19}$; В) $-3{,}2 \cdot 10^{-19}$; Г) $3{,}2 \cdot 10^{-19}$.

5. С какой силой взаимодействуют два заряда с зарядом 4 нКл и 10 нКл, расположенные в вакууме на расстоянии 2 см друг от друга (мН)?

А) 20; Б) 10; В) 4,5; Г) 0,9.

6. Как изменится сила воздействия между двумя точечными зарядами, если увеличить количество зарядов в 10 раз, не изменяя расстояние между ними?

А) увеличится в 10 раз; Б) уменьшится в 10 раз;

В) уменьшится в 100 раз; Г) увеличится в 100 раз.

7. Как изменится сила взаимодействия двух точечных зарядов, если количество и расстояние каждого из них будет увеличено в 2 раза?

А) увеличится в 2 раза; Б) уменьшится в 2 раза;

В) увеличится в 4 раза; Г) не изменится.

8. При уменьшении расстояния между зарядами на 10 см сила взаимодействия между ними увеличится в 4 раза. Найдите первоначальное расстояние между ними (см).

А) 10; Б) 8; В) 9; Г) 20.

9. Подвешенный на нити положительно заряженный шарик в однородном электрическом поле отклоняется от вертикали вправо. В какую сторону направлен вектор напряженности электрического поля?

А) вертикально вверх; Б) вертикально вниз;

В) горизонтально направо; Д) горизонтально налево.

10. В однородном электростатическом поле на заряд $2 \cdot 10^{-5}$ Кл действует сила 4 Н. Найдите напряженность поля в этой точке (Н/Кл).

А) $2 \cdot 10^{5}$; Б) $5 \cdot 10^{-6}$; В) $8 \cdot 10^{-5}$; Г) $2 \cdot 10^{-5}$.

11. Найдите, какая сила (Н) действует на заряд 5 мкКл, находящийся в точке напряженности поля 1 кН/Кл.

А) $5 \cdot 10^{-2}$; Б) $5 \cdot 10^{-3}$; В) $5 \cdot 10^{-5}$; Г) 0,5.

ВАЖНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ I

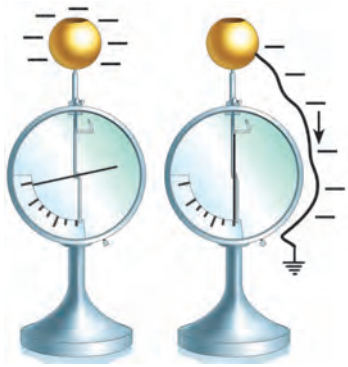
Электричество	Окаменевшую смолу хвойных деревьев, которые росли в древнейшие времена, греки назвали «электроном». Отсюда и произошло слово «электричество».
Электризация	Существует два рода электризации: при натирании шелком стеклянная палочка электризуется положительно (+), а при натирании мехом эбонитовая палочка электризуется отрицательно (–).
Проводники	Вещества, проводящие электрические заряды, называются проводниками электричества.
Диэлектрики	Вещества, не проводящие электрические заряды, называются диэлектриками.
Планетарная модель атома	В центре атома расположено ядро, которое состоит из положительно заряженных протонов и незаряженных нейтронов. По орбите вокруг ядра движутся отрицательно заряженные электроны.
Закон Кулона	Сила взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов, расположенных в вакууме, прямо пропорциональна произведению количества их зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними, то есть: $F = k\dfrac{\lvert q_0\rvert \cdot \lvert q_1\rvert}{r^2}$.
Напряженность электрического поля	Равна отношению силы, с которой поле действует на точечный заряд, к этому заряду, то есть: $\vec{E} = \dfrac{\vec{F}}{q_0}$.
Молния	Сильный электрический заряд, возникающий между облаками, заряженными противоположными знаками, или между облаками и поверхностью земли.
Гром	Звуковое явление в воздухе (атмосфере), возникающее вследствие быстрого и сильного расширения нагревшихся в момент удара молнии слоев воздуха.
Удар молнии	Процесс мгновенного перехода в землю зарядов в облаках во время молнии, возникающей между заряженным облаком и землей.

ГЛАВА II
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

В главе I мы ознакомились с тем, что при трении двух тел друг о друга их можно зарядить. Заряд, который получают тела, мы рассматривали как не движущийся. На практике не движущимися электрическими зарядами пользуются мало.

§ 9 ПОНЯТИЕ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТОКЕ

Упорядоченное движение заряженных частиц



а) *б)*

Рис. 28

Рассмотрим самый простой случай приведения в движение заряженных частиц при получении электрического тока. Для этого зарядим с помощью эбонитовой палочки натертый шерстью шарик электрометра. При этом стрелка электрометра поворачивается на определенный угол *(рис. 28 а)*. Если один конец проводника, второй конец которого соединен с землей, приставить к шарику электрометра, то стрелка электрометра сразу укажет на ноль. Причина этого в том, что при прикосновении концом проводника к шарику электрометра содержащиеся в нем заряженные частицы начинают упорядоченно двигаться по проводнику и переходят в землю *(рис. 28 б)*.

Упорядоченное движение заряженных частиц, т.е. поток, называется *электрическим током*.

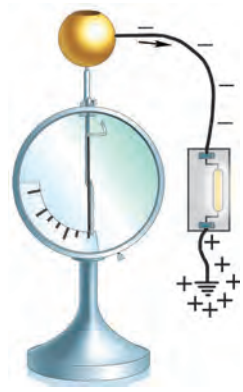


Рис. 29

Слово «ток» произошло от слова «поток».

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 шарику электрометра, увидим, что одновременно с падением стрелки до нулевой отметки электрометра тут же загорится и погаснет неоновая лампочка (*рис. 29*).

Следовательно, заряженные частицы в проводнике действительно упорядоченно движутся в одном направлении, и в проводнике образуется электрический ток.

Роль электрического поля в образовании электрического тока

Движение заряженных частиц связано с наличием в проводнике электрического поля. В опыте, изображенном на рисунке 29, шарик электрометра заряжен отрицательно. До прикосновения конца проводника к шарику заземленный конец проводника будет нейтральным, т.е. количество отрицательных и положительных зарядов одинаково. При прикосновении конца проводника к шарику заземленный конец проводника мгновенно заряжается положительно. В результате между шариком и землей образуется электрическое поле. Под воздействием этого поля электроны, находящиеся в шарике, начинают направленно перемещаться по проводнику, т.е. появляется электрический ток.

Для образования электрического тока в проводнике должно существовать электрическое поле.

Как можно поддерживать электрический ток в проводнике в течение длительного времени?

Для ответа на этот вопрос проведем следующий опыт. Подсоединим к шарикам электрофорной машины с помощью металлического проводника неоновую лампочку (*рис. 30).*

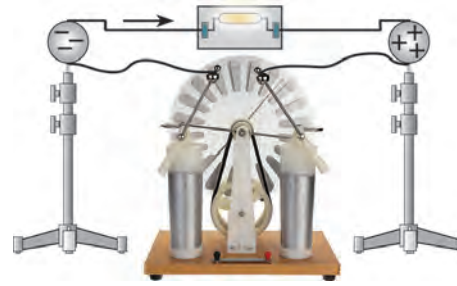


Рис. 30

При вращении диска электрофорной машины один из шариков заряжается положительно, второй – отрицательно. Между шарами, заряженными противоположными зарядами, а также в соединяющих проводниках появляется электрическое поле. Под влиянием этого поля заряженные частицы направленно движутся по проводнику, образуя в нем ток, из-за которого загорается неоновая лампочка. При непрерывном вращении дисков машины шарики будут заряжаться непрерывно, электрическое поле будет поддерживаться, и лампочка будет гореть.

Воздействие электрического тока

Непосредственно наблюдать электрический ток, или упорядоченное движение заряженных частиц, проходящее через проводник, невозможно. Однако можно ощутить воздействия электрического тока.



Эти воздействия следующие:

1. При прохождении электрического тока через проводник он нагревается (однако сверхпроводник не нагревается).
2. При прохождении электрического тока через электролит его химический состав изменяется.
3. При прохождении электрического тока через проводник вокруг проводника появляется магнитное поле.

Воздействия электрического тока мы подробно изучим в следующих темах.



1. Что называется электрическим током?
2. В чем причина упорядоченного движения заряженных частиц в проводнике?
3. Почему в опыте, приведенном на рисунке 29, неоновая лампа в одно мгновение загорается и гаснет?
4. Как можно получить ток с помощью электрофорной машины? Объясните причину появления тока.
5. Какие воздействия электрического тока можно наблюдать?

§ 10 ИСТОЧНИКИ ТОКА

Понятие об источниках тока

Для того чтобы лампочка, подсоединенная к проводнику, горела длительное время, необходим *источник тока*, образующий электрический ток в проводнике.

В *источнике тока* силы, не имеющие электростатическую природу, разделяют положительные и отрицательные заряды. Разделенные частицы противоположных знаков накапливаются в полюсах источника тока и образуют электрическое поле.

В процессе отделения частиц положительных и отрицательных зарядов в источниках тока химическая энергия и энергии других видов преобразуются в электрическую энергию. Электрофорная машина, изображенная на рисунке 29, также является источником тока. В ней механическая энергия превращается в электрическую. При вращении дисков электрофорной машины частицы с положительными и отрицательными зарядами разделяются и собираются на полюсах, то есть в шариках собираются заряды противоположных знаков.

Если внутри проводника электрическое поле не меняется, то через поперечное сечение проводника за одинаковое время проходит одинаковое количество зарядов, и через проводник проходит постоянный ток.

Постоянный равномерный поток заряженных частиц называется *постоянным током*. *Источником постоянного тока* называется источник, имеющий положительные и отрицательные полюса и создающий постоянный ток.

Источники электрического тока различны. Пока мы ознакомимся с устройством и работой источников постоянного тока.

Гальванические элементы

В таких приборах, как электронные часы, телевизор и пульт автомашины, в качестве источника тока используют гальванические элементы. В них химическая энергия превращается в электрическую.

В гальваническом элементе химическая энергия превращается в электрическую энергию.

Простейший гальванический элемент – это устройство, состоящее из цинковых (Zn) и медных (Cu) пластин, погруженных в водный раствор сульфидной кислоты *(рис. 31)*. В результате реакции взаимодействия цинка и серной кислоты цинковая пластина плавится, заряжается отрицательно и отдает раствору положительно заряженные ионы, которые собираются на медной пластине. Между заряженными пластинами образуется электрическое поле. Если медную и цинковую пластины, то есть полюса гальванического элемента, соединить посредством проводника с лампочкой, то через проводник будет проходить ток, и лампочка загорится. Этот простейший гальванический элемент был изобретен итальянским ученым **Алессандро Вольта**, поэтому его также называют *гальваническим элементом Вольта.*

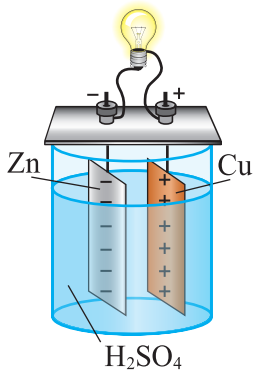
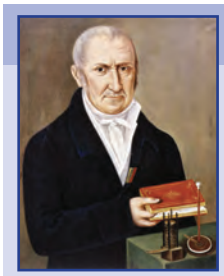


Рис. 31



АЛЕССАНДРО ВОЛЬТА (1745–1827)

Великий итальянский физик и химик, один из основоположников учения об электричестве. За изобретение электроскопа в 1791 году был принят в общество Лондонского королевства. За открытие гальванического элемента (батареи) в 1800 году Наполеоном ему присвоено звание графа.

На практике в основном используются «сухие» гальванические элементы. На рисунке 32 показано устройство простейшего сухого гальванического элемента. Основная часть гальванического элемента состоит из цинкового (Zn)

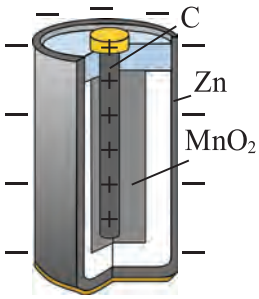


Рис. 32



Рис. 33

сосуда и угольного (C) стержня, опущенного в него. Стержень помещен в мешочек, наполненный смесью из оксида марганца (MnO_2) с углем. В процессе химической реакции на угольном стержне скапливаются положительные заряды, а на цинковом сосуде – отрицательные заряды.

В настоящее время производятся разнообразные гальванические элементы (*рис. 33*). Для увеличения мощности гальванических элементов их последовательно соединяют между собой. Соединенные таким образом элементы называются батареей гальванических элементов. В таких приборах, как переносное радио, телевизор и холодильник, используются батареи гальванических элементов.

Аккумуляторы

Слово «аккумулятор» в переводе с латинского означает «накапливать». При работе всех видов гальванических элементов электроды у них разрушаются, а раствор ослабевает. По истечении определенного времени в них ослабевает сила химических реакций, и они становятся непригодными к использованию. В аккумуляторах, как и в гальванических элементах, химическая энергия превращается в электрическую. Однако при ослаблении силы химических реакций аккумуляторов их можно снова использовать, зарядив с помощью специальных приборов от других источников тока – электрической сети. Для зарядки аккумулятора через него проводят ток. Для этого его положительный полюс соединяют с положительным полюсом другого источника тока, а отрицательный полюс – с отрицательным полюсом того же источника.

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

В технике широко применяются два вида аккумуляторов: *кислотный* и *щелочной*. Кислотный состоит из двух свинцовых пластин, помещенных в раствор серной кислоты. Одна из пластин состоит из чистого свинца, собирающего отрицательные заряды, тогда как поверхность второй свинцовой пластины покрыта оксидом цинка, собирающего положительные заряды.



Рис. 34

В щелочных аккумуляторах одна из пластин состоит из никелированной стали, собирающей положительные заряды, вторая – из оксида железа, собирающего отрицательные заряды. На рисунке 34 приведен внешний вид аккумулятора, производимый в нашей стране.

Аккумуляторы широко применяются в быту и технике. Например, аккумулятор используется как источник тока для запуска автомобильных двигателей, для переносных радио, телевизоров, сотовых телефонов и компьютеров, в подводных лодках, искусственных спутниках Земли.



Рис. 35

В школьных кабинетах физики для проведения опытов и лабораторных работ используют различные виды источников постоянного тока. Обычно такие источники постоянного тока получают питание с помощью специальных приборов, подключенных к электрической сети (*рис. 35*).

В дальнейшем источник постоянного тока в электрических цепях мы будем изображать так, как показано на рисунке *36*.

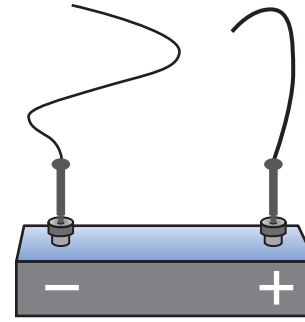


Рис. 36

Электрическая цепь

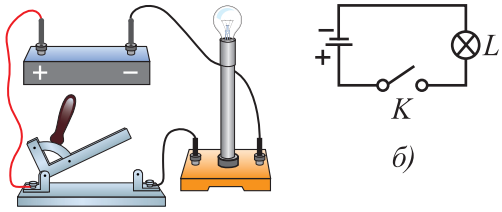
Слово «цепь» означает соединение нескольких частей. Электрическая цепь также состоит из нескольких частей.

Соединим между собой источник тока, электрическую лампочку и ключ с помощью проводника (проволоки) (*рис. 37 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, электрокипятильники и другие приборы.

Источник тока, проводник, электропотребитель и ключ составляют простейшую *электрическую цепь*.

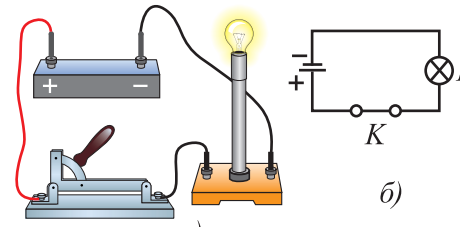
Чтобы электрический ток проходил по цепи, она должна быть замкнутой. В цепи, изображенной на рисунке *38 а,* показано положение ключа в выключенном состоянии, то есть приведена замкнутая цепь.

Обычно электрическая цепь изображается в виде чертежа. Чертежи, на которых изображены способы соединения элементов в электрической цепи, называются ***электрическими схемами***. На рисунке *37 б* приведена электрическая схема открытой цепи, а на рисунке *38 б* – замкнутой цепи.



а) б)

Рис. 37



а) б)

Рис. 38

На рисунке *39* показаны условные знаки элементов электрической цепи в электрических схемах.

1.  источник тока
2.  источник тока с батареей
3.  соединение проводников
4.  место пересечения проводников без соединения
5.  ключ в открытом состоянии цепи
6.  электрическая лампочка
7.  электрический звонок
8.  зажим для соединения электрических приборов

Рис. 39



1. Объясните накапливание заряженных частиц в полюсах источника тока.
2. Объясните устройство и принцип работы гальванического элемента Вольта.
3. Расскажите об устройстве и принципе работы сухого гальванического элемента.
4. В чем основное отличие аккумулятора от гальванического элемента?
5. Из какого элемента состоит самая простая электрическая цепь?



Начертите для открытого и закрытого состояния ключа электрическую схему карманного фонарика, приведенного на рисунке *40*.



Рис. 40

§ 11 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 1 кулона заряда через некоторую часть цепи, называется *электрическим напряжением* между концами этого отрезка цепи и обозначается буквой *U*.

По определению формула электрического напряжения выражается следующим образом:

$$U = \frac{A}{q}, \qquad (1)$$

где A – работа, выполненная в той части цепи, где прошел заряд q.

В качестве единицы напряжения принят вольт **(В)** в честь итальянского ученого **Алессандро Вольта**, создавшего первый гальванический элемент. 1 вольт – это такое напряжение, при котором при прохождении заряда в 1 кулон через одну часть цепи выполняется работа в 1 джоуль, то есть $1\ \text{В} = \frac{1\ \text{Дж}}{1\ \text{Кл}}$.

Следовательно, если в части цепи напряжение равно 2 В, то при прохождении через эту часть 1 Кл заряда в этой части цепи выполняется работа 2 Дж.

На практике используются также такие единицы напряжения, как ***милливольт*** **(**мВ**)** и ***киловольт*** (кВ):

$$1\ \text{мВ} = 0{,}001\ \text{В} = 10^{-3}\ \text{В}; \quad 1\ \text{кВ} = 1000\ \text{В} = 10^{3}\ \text{В}.$$

Напряжение возникает не только на концах проводника на определенном отрезке электрической цепи, но и на полюсах источника тока. В источниках тока и на линиях передачи электрическое напряжение различно *(табл. 1)*.

Таблица 1

№	Источники тока и линии передач	Напряжение
1.	Сухой гальванический элемент	1,5 В
2.	Кислотный и щелочный аккумуляторы автомобилей	12 В
3.	Бытовая электрическая сеть	220 В
4.	Большая линия электропередач	5–500 кВ

Измерение напряжения

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



Рис. 41

Чтобы отличить вольтметр от других измерительных приборов, на шкале вольтметра ставится буква «V». На схемах электрической цепи вольтметр обозначается (V).

На сегодняшний день в нашей стране налажено производство лабораторных учебных приспособлений для учебных учреждений. На рисунке 41 показан внешний вид учебного вольтметра, произведенного в нашей стране.

На зажимах (клеммах) вольтметра ставятся знаки «+» и «–». Для измерения напряжения на полюсах источника тока клемма «+» вольтметра непосредственно соединяется с положительным полюсом «+» источника тока, а клемма «–» вольтметра – с отрицательным полюсом «–» источника тока. Для измерения напряжения, например, на концах лампочки, у потребителя электричества клемму *(1)* вольтметра соединяют с клеммой (*1′*) лампочки, клемму *(2)* вольтметра – с клеммой (*2′*) лампочки *(рис. 42)*. Такое соединение вольтметра с потребителем называется ***параллельным***.

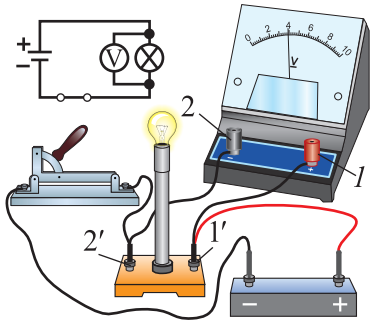


Рис. 42

Вольтметр присоединяется к потребителю измеряемого напряжения в электрической цепи параллельно.

Соединение источников тока

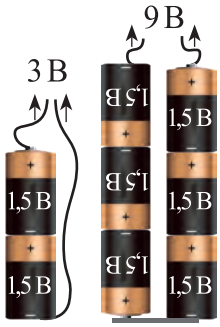


Рис. 43

Напряжение, подаваемое одним гальваническим элементом, зачастую оказывается недостаточным. Например, некоторые переносные радиоприемники работают от источника тока 3 В. Напряжение каждого гальванического элемента равно 1,5 В. Для получения напряжения 3 В для радио вставляют два гальванических элемента по 1,5 В *(рис. 43 а)*. Для магнитофона, работающего на напряжении 9 В, необходимо последовательно соединить шесть гальванических элемента по 1,5 В *(рис. 43 б)*. В аккумуляторах несколько гальванических элементов соединяются последовательно.

Пример решения задач

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

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$U = 1{,}5$ В $q = 10$ Кл.	$U = \frac{A}{q}$; $A = q\,U$. $[A] = \text{Кл} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{Дж}$.	$A = q\,U = 10 \cdot 1{,}5$ Дж $= 15$ Дж.
Найти: $A = ?$		*Ответ:* $A = 15$ Дж.



1. Что называется напряжением?
2. Как выражается формула электрического напряжения?
3. В какой единице измеряется электрическое напряжение?
4. Каким прибором измеряется напряжение? Как он подключается к цепи?
5. Как соединяются источники тока для увеличения напряжения?

Упражнение 6

1. Через лампочку в электрической цепи в течение определенного времени прошел заряд 25 Кл и выполнена работа 75 Дж. Под каким электрическим напряжением горела лампочка?
2. Мобильный телефон имеет источник тока в 5 В. Какая работа совершается при прохождении через него заряда 10 Кл за определенное время?
3. Переносной магнитофон имеет источник напряжения в 9 В. Какой заряд должен пройти через магнитофон, чтобы была выполнена работа 450 Дж за определенное время?
4. Вольтметр, параллельно соединенный с лампочкой в электрической цепи, показывает 3 В. Сколько электронов должно пройти через спираль лампочки, чтобы совершилась работа 24 Дж за определенное время? Заряд одного электрона равен $-1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.





Вольтметр соедините с клеммами гальванического элемента или аккумулятора и измерьте напряжение источника тока.

§ 12 СИЛА ТОКА И ЕЕ ИЗМЕРЕНИЕ

Понятие о силе тока

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

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

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

$$I = \frac{q}{t}. \qquad (1)$$

АНДРЕ МАРИ АМПЕР (1775–1836)



Известный физик и математик. М. Ампер ввел в науку такие понятия, как электрический ток, электростатика, электродинамика, электродвижущая сила, гальванометр.

В Международной системе единиц за единицу силы тока принят *ампер* (А) в честь французского физика **Андре Мари Ампера**. Определение единица силы тока: $1\,\text{А} = \frac{1\,\text{Кл}}{1\,\text{с}}$. Значит, если через поперечное сечение проводника за 1 с проходит заряд 1 Кл, то сила тока будет равна 1 А.

На практике используются также производные единицы, такие как миллиампер (мА) и микроампер (мкА).

$$1\ \text{мА} = 0{,}001\ \text{А} = 10^{-3}\ \text{А}; \qquad 1\ \text{мкА} = 0{,}000\,001\ \text{А} = 10^{-6}\ \text{А}.$$

Сила тока – количественная, то есть скалярная величина. Слово «сила» в термине «сила тока» не имеет никакого отношения к термину «сила» в механике.

Измерение силы тока

Сила тока измеряется специальным прибором – амперметром. Амперметр измеряет число зарядов, прошедших через поперечное сечение проводника в течение единицы времени, поэтому его присоединяют к цепи последовательно.

Сила тока в электрической цепи измеряется при помощи *амперметра*.

Амперметры, используемые в школьных кабинетах физики, изображены на рисунке *44*. В настоящее время при измерении электрического тока используют также электронные амперметры. На шкале амперметра ставится буква «А». На схемах электрической цепи амперметр обозначается как Ⓐ.

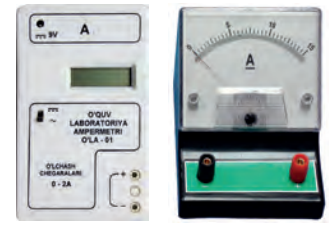


Рис. 44

Амперметр подключается к электрической цепи потребителя, силу тока которого следует измерить последовательно.

Присоединение амперметра к цепи его клемма со знаком «+» соединяется с проводником, идущим от положительного полюса источника тока. Клемма амперметра со знаком «–» соединяется с отрицательным полюсом источника тока посредством потребителя (*рис. 45*).

Амперметр показывает одинаковое значение, независимо от того, раньше он был присоединен или после, так как в любой части такой цепи сила тока одинакова.

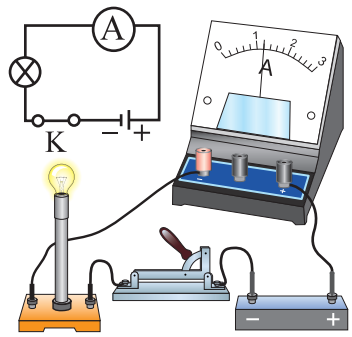


Рис. 45

Пример решения задач

Через лампочку в электрической цепи проходит ток 0,4 А. Вычислите, сколько зарядов и электронов проходит за 5 минут через спираль лампочки.

Дано:

$I = 0{,}4$ А
$t = 5$ мин $= 300$ с
$e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Найти:
$q = ?$ $N = ?$

Формула:

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

$q = |e| \cdot N$; $N = \frac{q}{|e|}$.

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

$[N] = \frac{\text{А} \cdot \text{с}}{\text{Кл}} = \frac{\text{Кл}}{\text{Кл}} = 1$.

Решение:

$q = 0{,}4 \cdot 300\text{ Кл} = 120\text{ Кл}$.

$N = \frac{120\text{ Кл}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\text{ Кл}} = 7{,}5 \cdot 10^{20}$.

Ответ: $q = 120$ Кл; $N = 7{,}5 \cdot 10^{20}$.

1. Что называется силой тока и какой формулой она выражается?
2. Если даны сила тока и время прохождения тока, то как вычислить прошедшее за это время количество заряда?
3. С помощью какого прибора измеряется сила тока?
4. Как присоединяется амперметр к электрической цепи?

Измерение силы тока в цепи с помощью амперметра

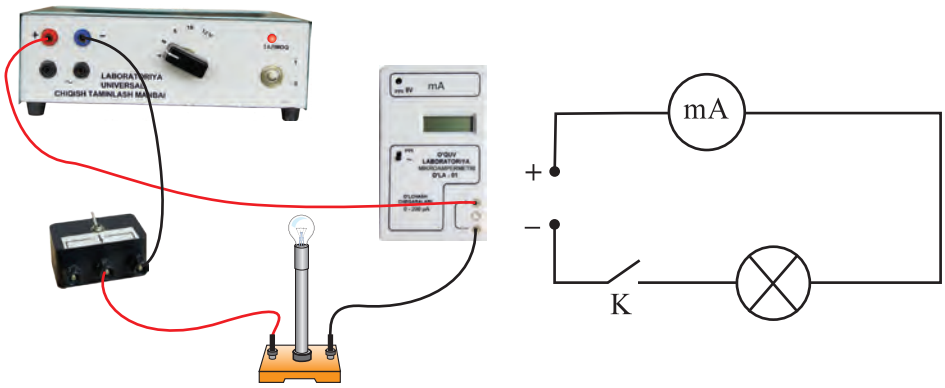


Рис. 46

1. Соберите электрическую цепь, показанную на рисунке *46*. Ключ оставьте открытым. *Примечание:* Возьмите лампочку, рассчитанную на 12 В.
2. Переключатель дающего напряжение потребителя поставьте в положение 4 В.
3. Включите ключ и измерьте силу тока, проходящего через лампочку, с помощью миллиамперметра.
4. Повторите опыт, поставив переключатель, дающий напряжение потребителем, на положения 6, 8 и 10 В. Полученные результаты запишите в таблицу.

Положение переключателя (В)	4	6	8	10
Показания миллиамперметра, (мА)				

5. Запишите свои выводы на основании результатов опыта.
6. Проанализируйте результаты опыта и сделайте вывод.
7. Начертите в тетради схему электрической цепи.

§ 13 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. Из источника на концы проводника дали напряжение 3 В. Какую работу выполнит источник тока при перемещении заряда, если в этом проводнике проходил ток силой 120 мА в течение 0,5 часов?

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$U = 3$ В $t = 0{,}5$ ч $= 1800$ с $I = 120$ мА $= 0{,}12$ А.	$I = \frac{q}{t}$; $q = I\,t$; $A = q\,U = I\,t\,U$. $[A] = [q\,U] =$ Кл $\cdot$ В $=$ Дж.	$A = 0{,}12 \cdot 1800 \cdot 3$ Дж $=$ $= 648$ Дж.
Найти: $A = ?$		*Ответ:* $A = 648$ Дж.

Задача 2. Через проводник, присоединенный к источнику тока, проходит ток силой 3,2 А. Определите массу электронов, прошедших через поперечное сечение этого проводника в течение 30 минут.

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$I = 3{,}2$ А $t = 30$ мин $= 1800$ с $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл $m_0 = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг.	$I = \frac{q}{t}$; $q = N\,e$. $N = \frac{q}{e} = \frac{I\,t}{e}$. $m = N \cdot m_0 = \frac{I\,t}{e} \cdot m_0$. $[m] = \frac{\text{А с}}{\text{Кл}} \cdot \text{кг} = \text{кг}$.	$m = \frac{3{,}2 \cdot 1800}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг $=$ $= 32{,}76 \cdot 10^{-9}$ кг $= 32{,}76$ нкг.
Найти: $m = ?$		*Ответ:* $m = 32{,}76$ нкг.

Упражнение 7

1. Чему равна сила тока в цепи, если через лампочку в электрической цепи за 5 минуту прошел заряд 30 Кл?
2. Если сила тока в цепи равна 0,3 А, то какое количество заряда пройдет через поперечное сечение проводника в течение 0,5 минуты?
3. Через лампочку, подсоединенную к электрической цепи, проходит ток, равный 0,1 А. Какое количество заряда пройдет за 8 минут через спираль лампочки? Вычислите число электронов, прошедших через лампочку в течение этого времени.

4. Через электрическую лампочку проходит ток 0,8 А. Определите массу электронов, прошедших за 10 минут через поперечное сечение ее спирали.

5. Через потребитель, подсоединенный к источнику, проходит ток, равный 20 мА. Если источник тока выполнил работу 720 Дж при перемещении заряда в течение 2 часов, то каково напряжение на конце потребителя?

6. Сила тока, протекающего через лампочку в электрической цепи, равна 0,3 А. За какое время лампочка получит заряд 360 Кл?

7. Аккумулятор в течение 25 минут может обеспечить током 4 А. Какое количество электрического заряда может собрать такой аккумулятор?

8. Через лампочку в электрической цепи проходит ток, равный 0,4 А. Вычислите количество заряда и число электронов, прошедших через сечение спирали лампочки в течение 3 минут.

9. Аккумулятор напряжением 12 В дает генератору автомобиля для запуска двигателя ток, равный 50 А. Если двигатель автомобиля заведется через 2 с, то какую работу выполнил аккумулятор?

10. Через лампочку в электрической цепи в течение определенного времени прошел заряд в 25 Кл, а источник тока выполнил работу, равную 100 Дж. Под каким электрическим напряжением горела лампочка?

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

Цель работы: изучение сборки электрической цепи и измерение силы и напряжения тока на различных участках цепи.

Необходимое оборудование: источник тока, амперметр, вольтметр, две лампочки, ключ и соединительные проводники.

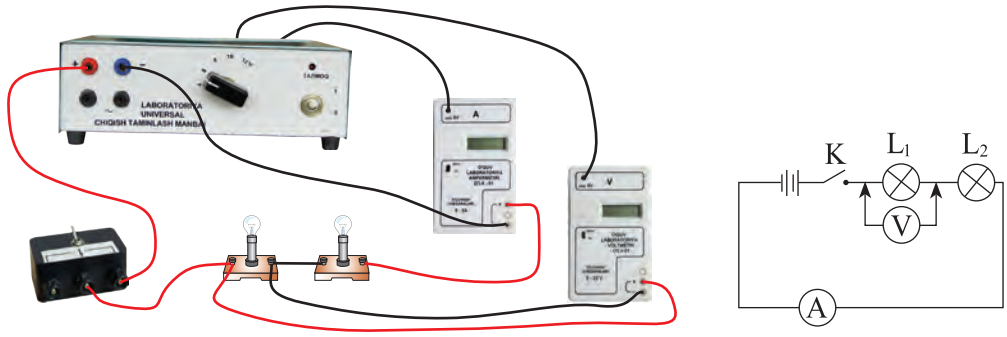


Рис. 47

Порядок выполнения работы

1. Соберите цепь, состоящую из источника тока, амперметра, вольтметра, лампочек и ключа *(рис. 47)*. При этом вольтметр присоединяется к концу первой лампочки.

2. Поставьте переключатель, регулирующий напряжение для потребителей источника тока, в положение 4 В.

3. Включите ключ. Обе лампочки загорятся. Зафиксируйте показания амперметра и вольтметра. Запишите их значения в таблицу.

Примечание: вольтметр измеряет напряжение на концах первой лампочки.

Состояние переключателя	1-я лампочка		2-я лампочка	
	U_1	I_1	U_2	I_2
1				
2				
3				

4. Отключите ключ. Клеммы вольтметра соедините с концами второй лампочки.

5. Включите ключ. При этом лампочки загорятся. Зафиксируйте показания вольтметра и амперметра. Запишите их значения в таблицу.

Примечание: вольтметр измеряет напряжение на концах второй лампочки.

6. Выключите ключ. Переведите положение переключателя, дающего напряжение потребителям источника тока, в положение 6 В. Повторите опыт так, как приведено выше в пунктах 3, 4, 5.

7. Проанализируйте результаты опыта и сделайте вывод.



1. Из каких приборов состоит простейшая электрическая цепь?
2. Расскажите, какую задачу выполняет каждый прибор в цепи.
3. Почему амперметр в цепи присоединяется к потребителю последовательно?

§ 15 ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Понятие об электрическом сопротивлении

Соберем электрическую цепь *(рис. 48 а)* из источника тока, лампочки и амперметра, соединив последовательно через ключ. Если включить ключ, лампочка загорится ярко, амперметр покажет, что через него проходит ток.

Разомкнем цепь. В этой цепи подсоединим последовательно к лампочке проволоку, изготовленную из *никелина*[1], приведенного в форме спирали *(рис. 48 б)*. При включении ключа лампочка горит тускло, и амперметр показывает уменьшение проходящего через цепь тока. Значит, никелиновый провод уменьшает ток в цепи, то есть сопротивляется проходу тока по цепи.

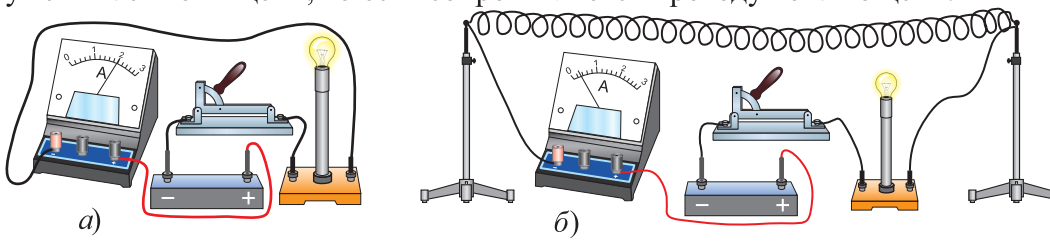


Рис. 48

Физическая величина, характеризующая свойство проводника препятствовать протеканию тока в цепи, называется *электрическим сопротивлением* и обозначается буквой *R*.

За основную единицу электрического сопротивления принят ***Ом*** (Ω) в честь немецкого физика Георга Симона Ома, который ввел понятие сопротивления в науку и открыл основной закон электрической цепи. Используются также такие единицы сопротивления, как миллиом (мОм), килоом (кОм), мегаом (МОм). При этом:

$$1\ \text{мОм} = 0{,}001\ \text{Ом} = 10^{-3}\ \text{Ом};\ 1\ \text{кОм} = 1000\ \text{Ом} = 10^{3}\ \text{Ом};$$
$$1\ \text{МОм} = 1000\,000\ \text{Ом} = 10^{6}\ \text{Ом}$$

ГЕОРГ СИМОН ОМ (1787–1854)



Известный немецкий физик. Доказал теоретическую и практическую связь между силой тока, напряжением и сопротивлением. Изучал законы взаимодействия проводников с током и постоянным магнитом.



Рис. 49

Электрическое сопротивление проводников можно измерить с помощью прибора омметра. На рисунке 49 показан внешний вид омметра, произведенного в нашей стране.

Как возникает электрическое сопротивление в проводнике?

Ток в металлах состоит из упорядоченного движения свободных электронов под воздействием электрического поля. Во время движения электроны сталкиваются с ионами, образовавшими кристалл. Это столкновение похоже на процесс столкновения

[1] *Никелин* – сплав из никеля, меди и марганца.

механического движения тел, ионы уменьшают скорость свободных электронов. Поэтому при воздействии электрического поля на металлические проводники появляется электрическое сопротивление. Из этого можно сделать следующие выводы:



– электрическое сопротивление характеризуется оказанием сопротивления направлению упорядоченного движения свободных частиц в проводнике;

– причиной возникновения электрического сопротивления является постоянное столкновение заряженных частиц с частицами проводника.

Зависимость электрического сопротивления от длины проводника

Соберем электрическую цепь, изображенную на рисунке *50*. Здесь клеммы 1 и 2, 2 и 3, 3 и 4, 4 и 5 соединены одинаковой нихромовой проволокой длиной 15 см.

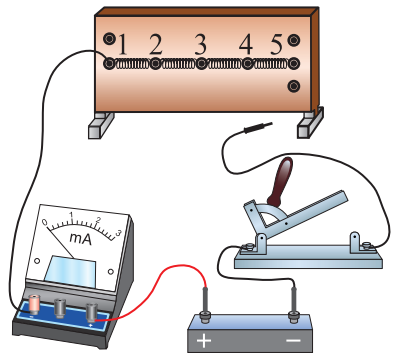


Рис. 50

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 мА. Если подсоединим отрицательный полюс источника тока к клемме 3, амперметр покажет ток 1 мА, а если к клемме 5 – 0,5 мА. Это объясняется тем, что при подсоединении цепи к клемме 3 длина нихромовой проволоки увеличилась в два раза, а при подсоединении к клемме 5–6 – в четыре раза.

Из опыта можно сделать такой вывод: во сколько раз возрастает длина проводника, во столько раз уменьшается сила тока в цепи, то есть электрическое сопротивление проводника во столько же раз увеличивается.

Электрическое сопротивление проводника прямо пропорционально его длине, то есть:

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

Зависимость электрического сопротивления от поперечного сечения проводника

Теперь немного изменим вышеприведенный опыт. Соберем цепь, как изображено на рисунке *51*. При этом клеммы 1; 3; 5 присоединены медной проволокой (проводником) к положительному полюсу источника тока через амперметр. Соединим клеммы 1 и 2, 3 и 4, 5 и 6 между собой тремя одинаковыми нихромовыми проволоками длиной 60 см.

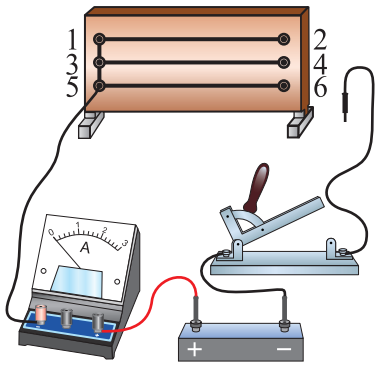


Рис. 51

Если отключить проводник, идущий от отрицательного полюса источника тока, к клемме 2 и включить ключ, амперметр покажет ток 0,5 А. Если этот проводник, соединенный с отрицательным полюсом источника, соединить с клеммой 4 или 6, через цепь также пройдет ток 0,5 А.

Теперь соединим клеммы 2 и 4, тем самым мы сделаем нихромовую проволоку двойной и площади поперечного сечения увеличим тоже в 2 раза. Если проволоку, прикрепленную к отрицательному полюсу источника, подключить к клемме 4 и включить ключ, амперметр покажет, что по цепи проходит ток 1 А.

Если повторить опыт, соединив между собой клеммы 4 и 6, то амперметр покажет 1,5 А тока. На этот раз мы увеличили площадь поперечного сечения нихромовой проволоки в 3 раза.

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

Электрическое сопротивление проводника обратно пропорционально площади его поперечного сечения:

$$R \sim \frac{1}{S}. \qquad (2)$$

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. Этот опыт показывает, что электрическое сопротивление разных веществ будет различным (*рис. 52*).

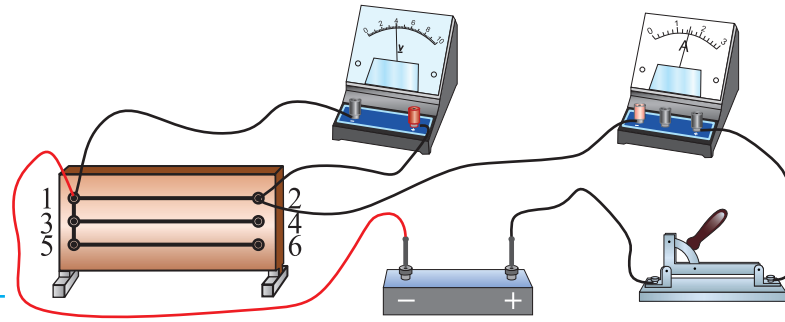


Рис. 52

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

$$R \sim \rho. \qquad (3)$$

Обобщив выражения (1), (2) и (3), получим формулу сопротивления:

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

где ρ – физическая величина, характеризующая электрическое свойство вещества и называемая ***удельным сопротивлением***. Из формулы (4) его можно выразить следующим образом:

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

Удельное сопротивление измеряется в 1 Ом · м. Удельное сопротивление веществ, из которых изготавливают проводники, различно (табл. 2).

Таблица 2

№	Вещество	ρ, 10^{-6} Ом · м	№	Вещество	ρ, 10^{-6} Ом · м
1	Медь	0,017	5	Свинец	0,205
2	Алюминий	0,028	6	Хром	0,14
3	Вольфрам	0,055	7	Никелин	0,4
4	Железо	0,098	8	Хромель	1,1

Пример решения задач

Найдите сопротивление нихромовой проволоки длиной 2 м и площадью поперечного сечения 0,5 мм^2.

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$l = 2$ м $S = 0{,}5$ мм^2 $= 0{,}5 \cdot 10^{-6}$ м^2 $\rho = 1{,}1 \cdot 10^{-6}$ Ом · м.	$R = \rho \frac{l}{S}$ $[R] = \text{Ом} \cdot \text{м} \cdot \frac{\text{м}}{\text{м}^2} = \text{Ом}.$	$R = 1{,}1 \cdot 10^{-6} \frac{2}{0{,}5 \cdot 10^{-6}}$ Ом = $= 4{,}4$ Ом.
Найти: R = ?		*Ответ:* $R = 4{,}4$ Ом.

1. Что называется электрическим сопротивлением. Как оно обозначается?
2. Как на опыте можно доказать зависимость сопротивления от длины и площади поперечного сечения проводника?
3. Как выражается формула зависимости электрического сопротивления от длины и площади поперечного сечения проводника?
4. Используя выражение (4), выведите формулу зависимости электрического сопротивление от диаметра поперечного сечения проводника.

Упражнение 8

1. Найдите сопротивление медной проволоки длиной 100 м и площадью поперечного сечения 2 мм^2.
2. Сопротивление проволоки длиной 3 м, площадью поперечного сечения 0,5 мм^2 равно 2,4 Ом. Из какого вещества изготовлена эта проволока?
3. Имеются два проводника, изготовленные из одинакового вещества. Длина первой проволоки 5 м, площадь поперечного сечения 0,1 мм^2, длина второй проволоки 0,5 м, площадь поперечного сечения 3 мм^2. Сравните сопротивления проводников.
4. Какой длины должна быть никелиновая проволока, чтобы изготовить спираль с площадью поперечного сечения 0,5 мм^2 и сопротивлением 2 Ом?
5. Сопротивление спирали, изготовленной из нихромовой проволоки длиной 6 м, равно 13,2 Ом. Найдите площадь поперечного сечения проволоки.
6. Как изменится сопротивление металлической проволоки, если его длину и площадь поперечного сечения увеличить в 2 раза?
7*. Каким будет объем нихромовой проволоки, длина которой 20 м, а сопротивление 16 Ом?

§ 16 РЕЗИСТОРЫ. РЕОСТАТЫ. ПОТЕНЦИОМЕТРЫ

В электротехнике широко используется зависимость силы тока от сопротивления проводника. Выбрав проводники с различным сопротивлением, ток в цепи можно регулировать. 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 «resisto», что означает «сопротивляться».**

На рисунке *53 а* изображен простейший резистор. Он состоит из каркаса, проволоки и облицовки. Каркас и облицовка изготовлены из несгораемого 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. 53 б*). Оба конца этого стержня прикреплены к проводящей проволоке, которая соединена с цепью.

Резистор, показанный на рис. *53 в*, обладает малым сопротивлением. В нем проволока в форме спирали помещена в несгораемый керамический цилиндр, не проводящий ток.

Условное обозначение резисторов на схемах электрической цепи показано на рисунке *53 г*. На рисунке *54* приведены образцы резисторов, применяемых в радиотехнике.

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

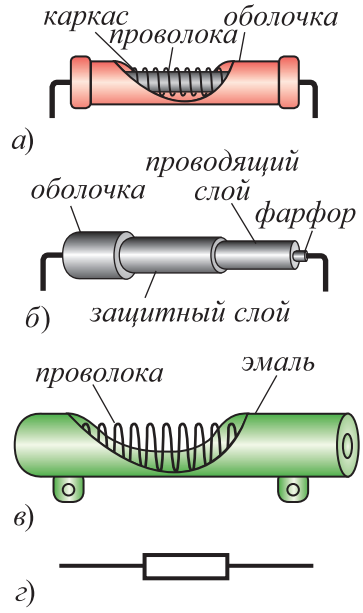


Рис. 53



Рис. 54

Для постепенного увеличения скорости электропоезда равномерно увеличивают электрический ток в двигателе. Использование 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.

Реостат

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

Слово «*реостат*» происходит от греческих слов, (от др.-греч. ῥέος – «*поток*» и στατός – «стоя́щий»), что означает «неподвижный поток».

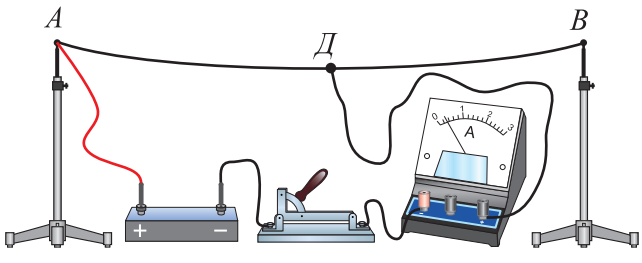


Рис. 55

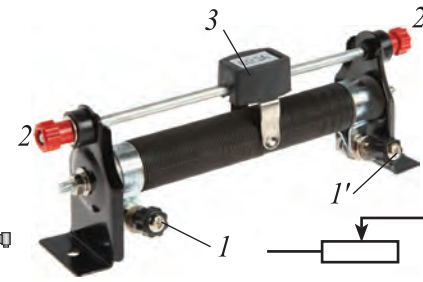


Рис. 56

Простейший реостат можно изготовить из никелиновой или нихромовой проволоки. Прикрепим оба конца никелиновой проволоки через изолятор к штативам и соберем электрическую цепь, как показано на рисунке *55*. Передвигая подвижный контакт *Д* в ту или другую сторону, можно уменьшать или увеличивать длину включенного в цепь участка *АД*. 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 обозначение реостатов на схеме электрической цепи представлены на рисунке *56*. В таком реостате никелиновая проволока намотана на керамический цилиндр. Проволока покрыта тонким слоем изоляции. Концы проволоки (*1* и *1'*) присоединены к зажимам. Металлический стержень (*2* и *2'*) прикреплен к зажимам. Ползун (*3*) на стержне приводит в контакт проволочную обмотку и стержень.

На схеме, приведенной на рисунке *57*, ползун *3* может перемещаться по металлическому стержню. Контакты ползуна плотно прилегают к виткам обмотки. В результате трения ползуна с обмоткой изоляционный слой под его контактом 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.

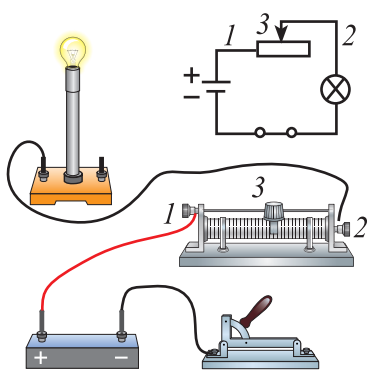


Рис. 57

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

Потенциометр

Реостат можно использовать в качестве потенциометра, то есть с его помощью можно

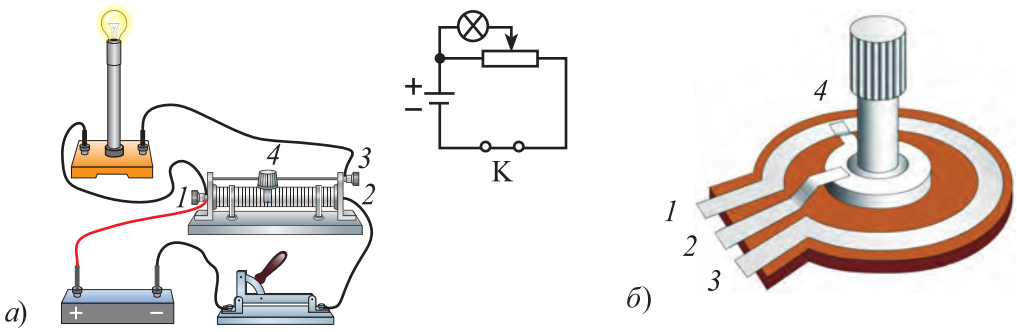


Рис. 58

регулировать напряжение в электрической цепи. Для этого реостат следует подключить к электрической цепи, как показано на рисунке *58 а*.

Используемые на практике потенциометры во многих случаях бывают в форме круга, как показано на рисунке *58 б*. Здесь зажимы 1, 2, 3 подключаются к цепи. При повороте регулятора ползун 4 совершает круговые движения, и напряжение в цепи равномерно изменяется. Потенциометры применяют в радиотехнике, в частности, для регулирования звука радио и телевизоров.

1. Что такое реостат? В каких целях его используют?
2. Объясните устройство реостата и способ подключения его к цепи.
3. Для чего служит реостат? Объясните, как он работает.
4. Как подключается амперметр к реостату?
5. Почему сила тока в цепи изменяется при перемещении ползунка реостата?
6. Чем отличается потенциометр от реостата? Как подключают реостат к цепи для его использования в качестве потенциометра?

Измерение сопротивления резисторов с помощью омметра.

1. Соберите электрическую цепь на основе рисунка *59*.
2. Подключите одно из сопротивлений к цепи.
3. Измерьте сопротивление проводника с помощью омметра. Запишите полученное значение сопротивления.
4. Для определения сопротивления других резисторов повторите опыт, как указано выше.
5. Объясните принцип работы омметра.

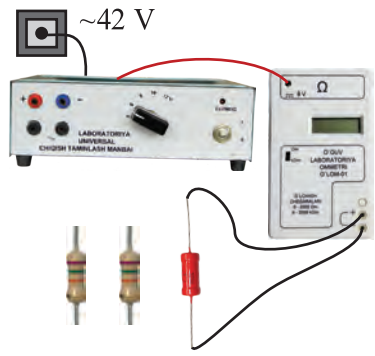
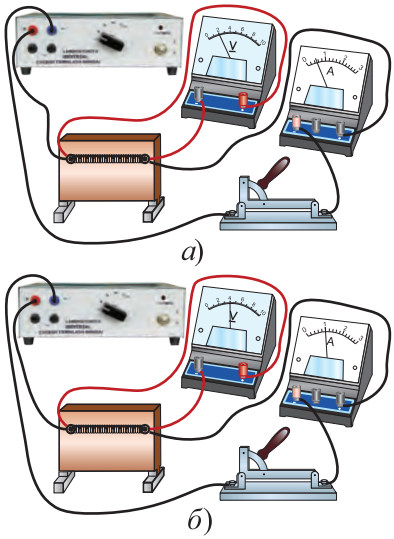


Рис. 59

§ 17 ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ



а)

б)

Рис. 60

Зависимость силы тока от напряжения

К источнику тока, в котором можно изменить выходное напряжение, подсоединим никелиновую спираль *(рис. 60)*. Силу тока, проходящую через спираль, можно измерить амперметром, подключенным последовательно, а напряжение – вольтметром, подключенным параллельно. Напряжение на спирали отрегулируем на 2 В и включим ключ. При включении ключа пусть амперметр показывает 0,5 А (*рис. 60 а*). Отключим ключ. Напряжение в спирали увеличим в два раза и отрегулируем его на 4 В. При включении ключа цепи амперметр покажет 1 А, то есть сила тока тоже увеличится в 2 раза *(рис. 60 б)*.

При подаче концом спирали напряжения 6 В амперметр показывает, что сила тока, проходящего через спираль, равна 1,5 А. Опыт можно продолжить.

Результаты опыта показывают: во сколько раз увеличивается напряжение, приложенное к проводнику при постоянном сопротивлении, во столько же раз увеличивается в нем сила тока.

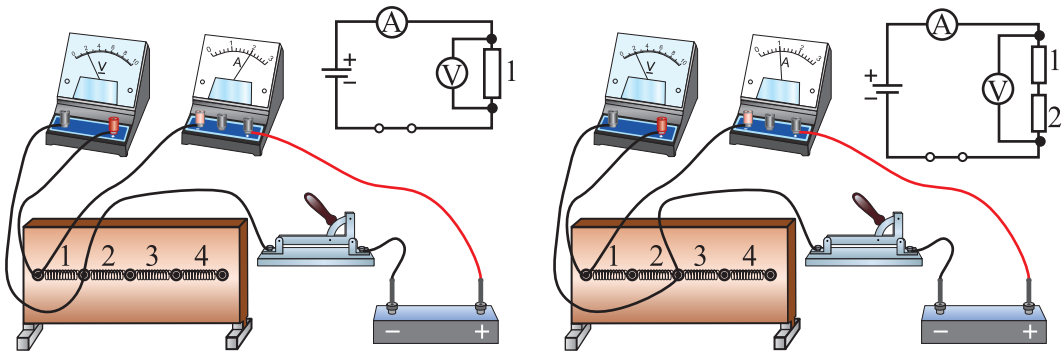
Сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению между концами проводника:

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

Зависимость тока от электрического сопротивления

В предыдущем опыте спираль не изменялась, т.е. электрическое сопротивление проводника было постоянным. Напряжение же на его концах было различным. Теперь рассмотрим случай, когда напряжение на концах проводника остается постоянным, а сопротивление различное.

Соберем электрическую цепь, изображенную на рисунке *61 а*. 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 напряжения 2 В, а амперметр – силу тока 2 А.



а) *б*)

Рис. 61

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. 61 б)*.

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:

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

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 году.

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

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

Эта формула выражает ***закон Ома для участка цепи.*** Закон Ома для участка цепи 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

$$U = I\,R; \qquad (4)$$

$$R = \frac{U}{I}. \qquad (5)$$

Из формулы (5) вытекает определение единицы электрического сопротивления:

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

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



1. Если в цепи увеличить сопротивление, то сила тока уменьшится. Если увеличить напряжение, то сила тока тоже увеличится.
2. Чем меньше сопротивление амперметра, тем меньше воздействие на электрическую цепь.
3. Чем больше сопротивление вольтметра, подключенного к цепи, тем меньше воздействие на электрическую цепь.

Пример решения задач

Напряжение на концах никелиновой проволоки длиной 2 м, площадью поперечного сечения 0,8 мм^2 равно 2 В. Определите силу тока, проходящую через эту электрическую цепь.

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$l = 2$ м $S = 0{,}8$ мм$^2 = 0{,}8 \cdot 10^{-6}$ м^2 $U = 2$ В $\rho = 0{,}4 \cdot 10^{-6}$ Ом · м.	$R = \rho\frac{l}{S};$ $I = \frac{U}{R} = \frac{U}{\rho\frac{l}{S}} = \frac{US}{\rho l}.$ $[I] = \frac{\text{В} \cdot \text{м}^2}{\text{Ом} \cdot \text{м} \cdot \text{м}} = \frac{\text{В}}{\text{Ом}} = \text{А}.$	$I = \frac{2 \cdot 0{,}8 \cdot 10^{-6}}{0{,}4 \cdot 10^{-6} \cdot 2}\ \text{А} = 2\ \text{А}.$
Найти: $I = ?$		*Ответ:* $I = 2$ А.

1. Выразите зависимость силы тока от сопротивления проводника при постоянном напряжении.
2. Охарактеризуйте закон Ома для участка цепи и дайте определение.
3. Как по формуле закона Ома определяется напряжение на концах проводника, если известны сопротивление проводника и сила тока, протекающего по нему?
4. Может ли пройти сильный ток через проводник, если напряжение на его концах маленькое?
5. Можно ли измерить амперметром число электронов, проходящих во время горения электрической лампы?

Упражнение 9

1. Сопротивление резистора, подключенного к электрической цепи, 100 Ом. Какой ток проходит через него, если напряжение между концами резистора 10 В?
2. Какое напряжение должно быть на конце проводника, чтобы провести через проводник с сопротивлением 110 Ом ток силой 2 А?
3. При подаче напряжения 2 В потребителю электрической цепи ток в цепи стал равен 0,1 А. Какое напряжение нужно дать потребителю, чтобы у этого потребителя сила тока достигла 0,3 А?
4. Какой силы ток пройдет через нихромовый проводник длиной 12 м и площадью поперечного сечения 0,6 мм^2 при подаче на его концы напряжения 4,4 В?
5. Сколько метров никелиновой проволоки необходимо для построения частоты сопротивления 16 Ом с площадью поперечного сечения 0,25 мм^2?
6*. Через проводник, подключенный к источнику постоянного напряжения, проходит ток, равный 30 мА. Какой силы ток пройдет через проводник, если четвертую часть проводника отрезать?

1. Возьмите два гальванических элемента с напряжением 1,5 В и лампочку, рассчитанную на 3 В. Сначала подключите лампочку к одному гальваническому элементу, затем – к последовательно соединенным двум гальваническим элементам. Объясните причину усиления яркости лампочки при втором подключении.
2. При подключении какого сопротивления к концам проводника, изображенного на рисунке *62*, амперметр будет показывать 1 А?

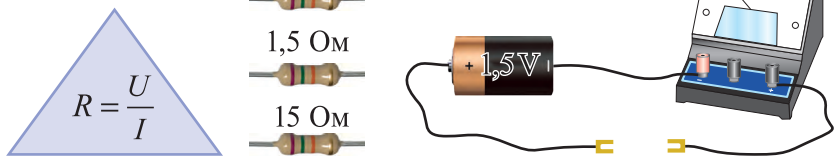


Рис. 62

§ 18 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. При подаче напряжения 4,5 В на концы никелинового проводника с площадью поперечного сечения 0,2 мм^2 через него проходит 300 мА тока. Какова длина проводника?

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$S = 0{,}2$ мм^2 = $= 0{,}2 \cdot 10^{-6}$ м^2 $U = 4{,}5$ В $I = 300$ мА $= 0{,}3$ А $\rho = 0{,}4 \cdot 10^{-6}$ Ом · м.	$R = \rho \frac{l}{S}$ и $R = \frac{U}{I}$; $l = \frac{U S}{\rho I}$. $[l] = \frac{\text{В} \cdot \text{м}^2}{\text{Ом} \cdot \text{м} \cdot \text{А}} = \frac{\text{В} \cdot \text{м}}{\frac{\text{В}}{\text{А}} \cdot \text{А}} = \text{м}$.	$l = \frac{4{,}5 \cdot 0{,}2 \cdot 10^{-6}}{0{,}4 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}3}$ м $= 7{,}5$ м.
Найти: $l = ?$		*Ответ:* $l = 7{,}5$ м.

Задача 2. Какой ток пройдет через нихромовый проводник длиной 20 м, с площадью поперечного сечения 2 мм^2, при подаче на концы проводника напряжения 44 мВ?

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$l = 20$ м $S = 2$ мм^2 $= 2 \cdot 10^{-6}$ м^2 $U = 44$ мВ $= 44 \cdot 10^{-3}$ В $\rho = 1{,}1 \cdot 10^{-6}$ Ом · м.	$R = \rho \frac{l}{S}$ и $R = \frac{U}{I}$; $l = \frac{U S}{\rho I}$. $[I] = \frac{\text{В} \cdot \text{м}^2}{\text{Ом} \cdot \text{м} \cdot \text{м}} = \frac{\text{В}}{\text{Ом}} = \text{А}$.	$I = \frac{44 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{1{,}1 \cdot 10^{-6} \cdot 20}$ А $=$ $= 4 \cdot 10^{-3}$ А $= 4$ мА.
Найти: $I = ?$		*Ответ:* $I = 4$ мА.

Задача 3. Спираль лампочки накаливания из вольфрама равна 8 см, площадь поперечного сечения – 0,06 мм^2. Последовательно подключенный к лампочке амперметр показывает 300 мА. Определите напряжение на концах лампочки.

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$l = 8$ см $= 8 \cdot 10^{-2}$ м $S = 0{,}06$ мм^2 $= 6 \cdot 10^{-8}$ м^2 $I = 300$ мА $= 0{,}3$ А $\rho = 0{,}055 \cdot 10^{-6}$ Ом · м.	$U = I \cdot R = I \cdot \frac{\rho \cdot l}{S}$. $[U] = \text{А} \cdot \frac{\text{Ом} \cdot \text{м} \cdot \text{м}}{\text{м}^2} =$ $= \text{А} \cdot \text{Ом} = \text{В}$.	$U = 0{,}3 \frac{0{,}055 \cdot 10^{-6} \cdot 8 \cdot 10^{-2}}{6 \cdot 10^{-8}}$ В $=$ $= 22 \cdot 10^{-3}$ В $= 22$ мВ.
Найти: $U = ?$		*Ответ:* $U = 22$ мВ.

Упражнение 10

1. При подаче к концам проводника напряжения 6 В за 5 с через него прошел заряд 20 Кл. Каким было сопротивление проводника?
2. Какой ток пройдет через нихромовый проводник длиной 12 м и площадью поперечного сечения 0,6 мм^2 при подаче на концы проводника напряжения 4,4 В?
3. К концам проводника сопротивлением 10 Ом дано напряжение 2,5 В. Какое количество электронов пройдет через поперечное сечение проводника за 8 с?
4. Из нихрома, площадь поперечного сечения которого 0,1 мм^2, изготовлен нагреватель электрической плиты. При подаче на его концы напряжения 220 В через него проходит 4 А тока. Какой длины проволока использована для нагревателя?
5. Какое напряжение подано на концы нихромового проводника длиной 20 м, площадью поперечного сечения 0,8 мм^2, если через поперечное сечение проводника за 3 с прошло 18 Кл заряда?
6. Какой будет сила тока, проходящая через алюминиевую проволоку длиной 100 м, площадью поперечного сечения 0,5 мм^2, если на концы проволоки подать напряжение 14 В?
7. В специальном станке проволоку растянули и сделали ее в два раза длиннее и тоньше. Как в результате изменилось сопротивление проволоки?

§ 19 *Лабораторная работа.* ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА ОМА

Цель работы: измерение напряжения на концах проводника и силы тока, проходящего по нему, а также изучение по закону Ома определения сопротивления проводника.

Необходимое оборудование: источник тока, миллиамперметр, вольтметр, резистор, ключ и соединительные провода.

Порядок выполнения работы

1. Соберите цепь *(рис. 63)* на основании электрической схемы, состоящей из источника тока, потребителя – резистора, миллиамперметра, вольтметра и ключа. Ключ оставьте открытым.

2. Регулятор, дающий напряжение потребителем источника тока, ставится в положение 4 В.

3. Ключ включается. Силу тока, проходящего через резистор, измеряют миллиамперметром, напряжение на концах измеряют с помощью вольтметра. Полученные результаты фиксируются в таблице.

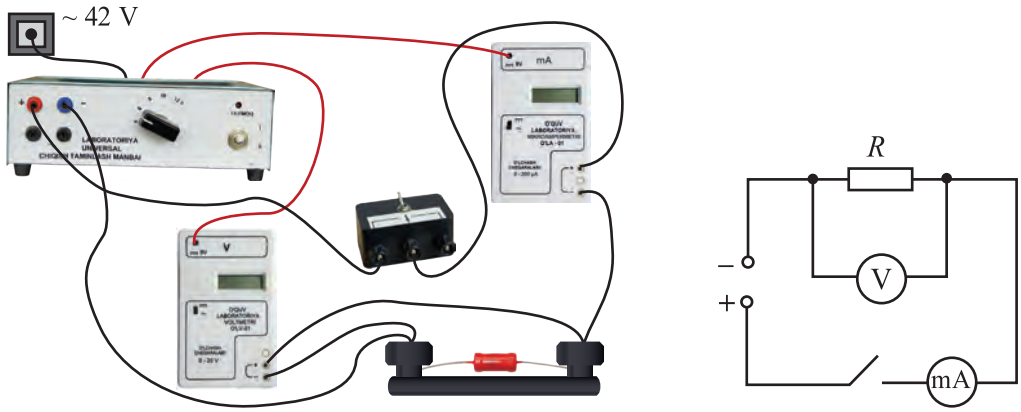


Рис. 63

4. Ключ выключают. Опыт повторяется, при этом указатель регулятора, дающего напряжение потребителям источника тока, ставят в положение 6 В. Полученные результаты фиксируются в таблице. Затем ключ выключают.

5. Указатель регулятора, дающего напряжение потребителям источника тока, ставится в положение 8; 10 В, и опыт повторяется. Полученные результаты фиксируются в таблице.

6. Вычислите электрическое сопротивление проводника согласно закону Ома и запишите его в таблицу:

№	U, В	I, А	R, Ом	$R_{ср}$, Ом
1				
2				
3				
4				

7. Найдите среднее значение сопротивления через выражение

$$R_{ср} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}{4}.$$

8. Результат запишите в таблицу и сделайте вывод.



1. На электрической лампе имеется надпись: «3,5 В; 0,26 А». Какие физические величины можно узнать из этого?
2. Каким образом последовательно подключаются аккумуляторы?
3. Как выражается формула закона Ома?
4. Можно ли сказать: сопротивление потребителя прямо пропорционально напряжению на его концах, обратно пропорционально силе тока, проходящего через него?

§ 20

Практическое занятие. РЕГУЛИРОВАНИЕ СИЛЫ ТОКА С ПОМОЩЬЮ РЕОСТАТА

Цель занятия: изучение изменения силы тока в цепи с помощью реостата.

Необходимые приборы и оборудование: источник тока, реостат, амперметр, резистор с сопротивлением 6 Ом, ключ и соединяющие провода.

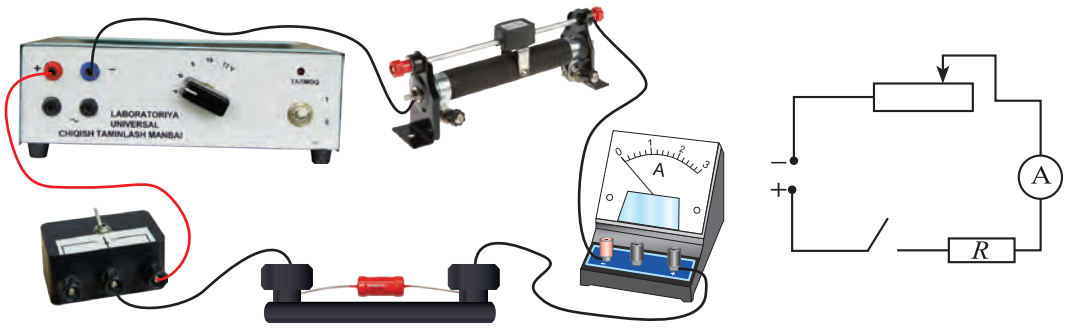


Рис. 64

Порядок выполнения занятия

1. Внимательно посмотрите на устройство реостата и определите такое состояние ползунка, при котором реостат будет иметь наибольшее сопротивление.

2. Соберите электрическую цепь, изображенную на рисунке *64*. Ключ оставьте открытым.

3. Подключите источник тока к сети.

4. Указатель регулятора, дающего напряжение потребителям источника тока, поставьте в положение 8 В.

5. Включив ключ, запишите показания амперметра. Полученное значение силы тока запишите в таблицу.

6. Ключ выключите. Перемещением ползунка немного уменьшается сопротивление реостата.

7. Ключ включите. Запишите показания амперметра. Полученное значение силы тока запишите в таблицу.

8. Перемещая ползунок реостата, уменьшите сопротивление и зфиксируйте результаты.

Положение ползунка реостата	1	2	3	4
Сила тока (А)				

9. Запишите свои выводы на основе результатов проведенного опыта.

1 Сделайте выводы на основе результатов проведенного опыта.
2. Начертите схему подключения реостата к электрической цепи.
3. Что вы понимаете под регулированием силы тока?
4. Начертите в тетради схему электрической цепи проведенного опыта.

§ 21 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

В дальнейшем проводники электрической цепи будем называть потребителями. Обычно приходится подключать к электрической цепи не одного, а нескольких потребителей. При этом потребители между собой соединяются последовательно или параллельно. Рассмотрим электрическую цепь с последовательным соединением.

Сила тока в цепи при последовательном соединении

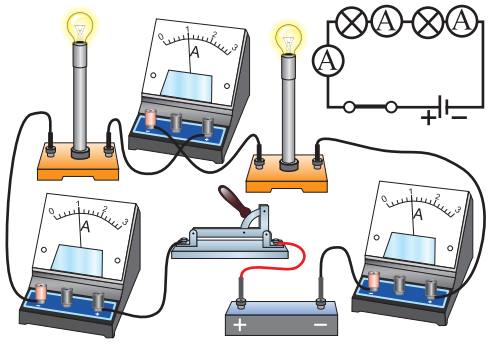


Рис. 65

Соединив последовательно две лампочки, соберем цепь, изображенную на рисунке *65*. При включении ключа через цепь проходит ток, и лампочки загораются. При этом все три амперметра, подключенные к цепи, показывают одинаковое значение. Значит, сила тока I, проходящая через цепь, общая. Силы тока I_1 и I_2, проходящие через первую и вторую лампочку, будут одинаковыми:

$$I_1 = I_2 = I. \qquad (1)$$

Если к цепи подключены последовательно соединенные n лампочек, то силы тока, проходящие через них, тоже будут равны между собой:

$$I_1 = I_2 = I_3 = \ldots = I_n. \qquad (2)$$

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

Напряжение в цепи при последовательном соединении

При включении ключа электрической цепи на рисунке *66* вольтметр 1 показывает 4 В, вольтметры 2 и 3 показывают 2 В. Лампочки горят

тускло. Полное напряжение в цепи будет равно сумме напряжений обеих лампочек, соединенных последовательно, то есть:

$$U = U_1 + U_2 \,. \qquad (3)$$

Если n лампочек будут соединены последовательно, то полное напряжение в цепи будет:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \ldots + U_n \,. \qquad (4)$$

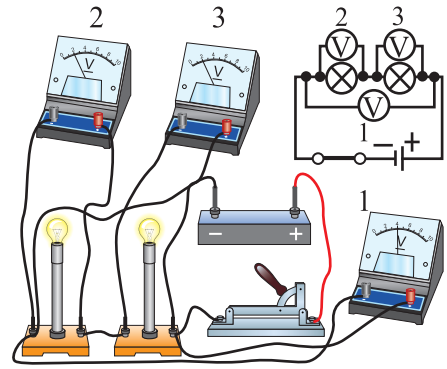


Рис. 66

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

Согласно закону Ома, в электрической цепи, изображенной на рисунке *66*, напряжение в первой лампочке равно $U_1 = IR_1$, напряжение во второй лампочке равно $U_2 = IR_2$. Из этих выражений получим формулу общего напряжения в цепи:

$$U = U_1 + U_2 \quad \text{или} \quad I\,R = I\,R_1 + I\,R_2 = I\,(R_1 + R_2). \qquad (5)$$

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

$$U = I\,R. \qquad (6)$$

Уравняем правые стороны уравнений (5) и (6): $IR = I(R_1 + R_2)$, отсюда определим общее сопротивление:

$$R = R_1 + R_2. \qquad (7)$$

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

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_n. \qquad (8)$$

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 $U_1 = 3$ В каждая, то общее напряжение, прилагаемое к ним, должно быть приблизительно равно $U = nU_1 = 75 \cdot 3$ 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 задач

Три проводника с сопротивлениями 1 Ом, 2 Ом 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.

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$R_1 = 1$ Ом	$U_1 = I R_1$;	$U_1 = 1$ А $\cdot 1$ Ом $= 1$ В;
$R_2 = 2$ Ом	$U_2 = I R_2$;	$U_2 = 1$ А $\cdot 2$ Ом $= 2$ В;
$R_3 = 3$ Ом	$U_3 = I R_3$;	$U_3 = 1$ А $\cdot 3$ Ом $= 3$ В;
$I = 1$ А.	$R = R_1 + R_2 + R_3$;	$R = 1$ Ом $+ 2$ Ом $+ 3$ Ом $= 6$ Ом;
	$U = I R$.	$U = 1$ А $\cdot 6$ Ом $= 6$ В.
Найти:		
$U_1 = ?$ $U_2 = ?$ $U_3 = ?$ $R = ?$ $U = ?$		

Ответ: $U_1 = 1$ В, $U_2 = 2$ В; $U_3 = 3$ В; $R = 6$ Ом; $U = 6$ В.



1. Почему при параллельном соединении потребителей протекает одинаковый ток?
2. Каким будет отношение между общим напряжением цепи и напряжением потребителя при последовательном соединении потребителей?
3. Почему сопротивление увеличивается при последовательном подсоединении к цепи дополнительного потребителя?
4. Две одинаковые лампочки, рассчитанные на напряжение 220 В, подключены последовательно к сети 220 В. Под каким напряжением будет гореть каждая лампочка?

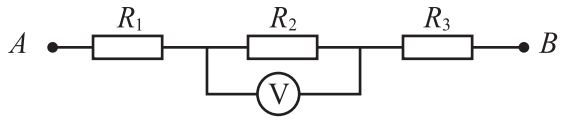
Упражнение 11

1. По двум последовательно соединенным проводникам проходит ток 0,4 А. Определите напряжение, общее сопротивление цепи и общее напряжение, если сопротивление проводников 5 Ом и 10 Ом.

2. Проводники сопротивлением 4 Ом, 10 Ом и 16 Ом соединены последовательно. Какой будет сила тока, проходящая через каждый проводник, и каким будет напряжение на концах каждого проводника при подаче на концы цепи напряжения 6 В?

3. Две электрические лампочки подключены последовательно к сети 220 В, и через них проходит ток 0,5 А. Найдите напряжение в каждой лампочке, если сопротивление первой лампочки в 3 раза больше сопротивления второй лампочки.

4. Каким было напряжение между точками A и B, данными на схеме? При этом $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = 10$ Ом, $R_3 = 15$ Ом, $U_2 = 15$ В.



§ 22 ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

В квартире все электрические приборы – лампы, телевизор, холодильник и др. – подключаются в одно и то же время к электрической цепи. Если бы они были соединены между собой последовательно, то напряжение было бы распределено между ними. В таком случае лампочки горели бы очень тускло, а телевизор и холодильник из-за снижения напряжения не работали бы. Кроме того, при выключении одного из потребителей, соединенных последовательно, остальные тоже бы были бы отключены. Поэтому в квартирах все потребители соединяют между собой параллельно.

Соберем электрическую цепь, показанную на рисунке 67, где две лампочки соединяются параллельно друг другу. При этом обе лампочки подключают последовательно к амперметрам 1 и 2 соответственно. Допустим, что подключенный к ним вольтметр 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 оно равно общему напряжению в цепи, то есть

$$\boldsymbol{U_1 = U_2 = U.} \qquad (1)$$

Если к цепи взаимно параллельно подключено n лампочек, то напряжение в них будет одинаковым:

$$U_1 = U_2 = U_3 = ... = U_n. \qquad (2)$$

При параллельном соединении потребителей напряжение на концах каждого потребителя одинаково.

Сила тока 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, будет равна общей силе тока I, т.е. силе тока, протекающего по неразветвленной части цепи:

$$I = I_1 + I_2. \qquad (3)$$

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

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + ... + I_n. \qquad (4)$$

При параллельном соединении потребителей общая сила тока в цепи равна сумме сил тока каждого потребителя.

Сопротивление в параллельно соединенной цепи

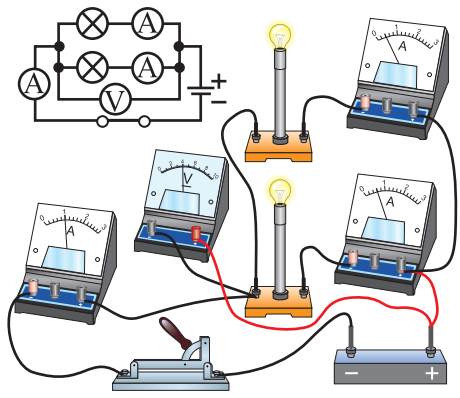


Рис. 67

В цепи, изображенной на рисунке 67, сила тока, проходящего через первую лампочку, в соответствии с законом Ома равна $I_1 = \frac{U}{R_1}$, сила тока, проходящего через вторую лампочку, будет равна $I_2 = \frac{U}{R_2}$, а сила общего тока будет равна $I = \frac{U}{R}$, где R_1 и R_2 – электрическое сопротивление первой и второй лампочек, R – общее сопротивление обеих лампочек. Подставив эти три формулы в формулу (3), получим:

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} \quad \text{или} \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}. \qquad (5)$$

Если в цепи параллельно подключить n лампочек, то величина, обратная общему сопротивлению в цепи, будет следующей:

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\ldots+\frac{1}{R_n}. \qquad (6)$$

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

При решении задач часто встречаются случаи параллельного соединения только двух потребителей. В таких случаях для формулы общего сопротивления удобно использовать следующую формулу:

$$R=\frac{R_1\cdot R_2}{R_1+R_2}. \qquad (7)$$

Пример решения задач

К электрической сети с 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.

Дано:

$U=220$ В
$I_1=0{,}5$ А
$I_2=0{,}4$ А
$I_3=1$ А.

Найти:

$I=?$ $R_1=?$
$R_2=?$
$R_3=?$ $R=?$

Формула:

$I=I_1+I_2+I_3.$

$R_1=\frac{U}{I_1};\ R_2=\frac{U}{I_2};$

$R_3=\frac{U}{I_3};\ R=\frac{U}{I};$

$R=\frac{R_1\cdot R_2\cdot R_3}{R_1R_2+R_1R_3+R_2R_3}.$

Решение:

$I=0{,}5\text{ А}+0{,}4\text{ А}+1\text{ А}=1{,}9\text{ А}.$

$R_1=\frac{220\text{ В}}{0{,}5\text{ А}}=440\text{ Ом};$

$R_2=\frac{220\text{ В}}{0{,}4\text{ А}}=550\text{ Ом};$

$R_3=\frac{220\text{ В}}{1\text{ А}}=220\text{ Ом};$

$R=\frac{220\text{ В}}{1{,}9\text{ А}}\approx 116\text{ Ом};$

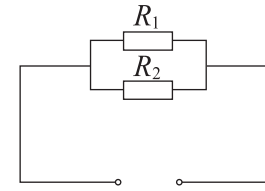
$R=\frac{440\cdot 550\cdot 220}{440\cdot 550+440\cdot 220+50\cdot 220}\approx 116\text{ Ом}.$

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

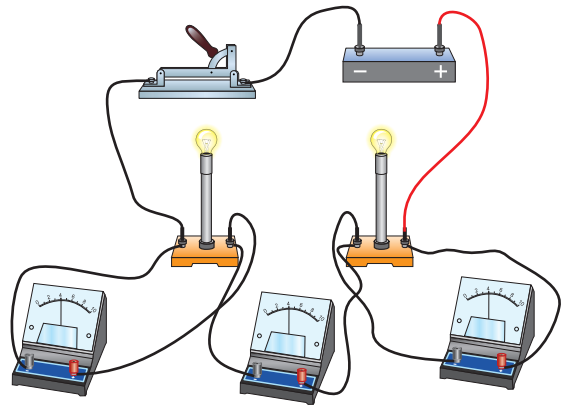
1. Почему при соединении электрических проводов в квартирах и автомобилях не используется последовательное соединение?
2. Как соотносятся напряжение цепи и напряжение на концах каждого потребителя при параллельном соединении потребителей?
3. Будет ли одинаковой сила тока потребителей, соединенных параллельно? От чего зависит ее значение?
4. Как выражается полное сопротивление потребителей, соединенных параллельно, через сопротивление каждого потребителя?

Упражнение 12

1. Два потребителя с сопротивлениями 3 Ом и 6 Ом соединены параллельно. Найдите полное сопротивление участка цепи, где соединены потребители.
2. Три потребителя с сопротивлениями 10 Ом, 15 Ом и 30 Ом соединены параллельно. Найдите сопротивление участка цепи, где соединены потребители.
3. У вас дома на люстре горят 5 одинаковых лампочек, соединенных параллельно. Найдите силу тока, проходящего через каждую лампочку, если по проводу, к которому подключена люстра, проходит ток 4 А.
4. Две лампочки с сопротивлением 40 Ом и 60 Ом соединены взаимно параллельно. Каким будет полное сопротивление на этом участке цепи? Найдите общую силу тока в цепи, если напряжение в концах лампочки 36 В.



5. На схеме через проводник, сопротивление которого $R_1 = 30$ Ом, проходит ток $I_1 = 0{,}6$ А. Какой ток пройдет через проводник, сопротивление которого $R_2 = 10$ Ом?
6. Какой из приведенных на рисунке электроизмерительных приборов – амперметр, а какой – вольтметр? Обоснуйте ответ.



§ 23 Практическое занятие. СОЕДИНЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Цель занятия: изучение подключения источников тока и измерение напряжения на концах источника.

Необходимое оборудование: 3 гальванических элемента, вольтметр, соединительные провода.

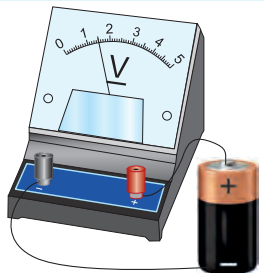


Рис. 68

1. Возьмите 3 элемента по 1,5 В каждый.

2. С помощью вольтметра измерьте напряжение на концах каждого гальванического элемента. Полученные результаты запишите в таблицу.

Примечание: для измерения напряжения на концах источника тока положительный полюс источника подключают к клемме «+» вольтметра, отрицательный полюс источника – к клемме «–» вольтметра, как показано на рис. 68.

3. Источники тока последовательно соедините, как показано на рисунке 69, то есть положительный полюс первого элемента подключите к отрицательному полюсу второго элемента, а положительный полюс второго элемента подключите к отрицательному полюсу третьего элемента.

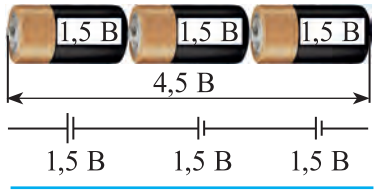


Рис. 69

4. Общее напряжение ($U_{общ}$), полученное в электрической цепи, измерьте вольтметром, результат запишите в таблицу.

5. При последовательном соединении источников тока окончательное напряжение вычисляется выражением $U_{общ} = U_1 + U_2 + U_3$. На основании результатов, включенных в таблицу, вычислите сумму $U_1 + U_2 + U_3$, сравните ее со значением общего напряжения $U_{общ}$.

Значение напряжения на конце каждого гальванического элемента			Значение напряжения при последовательном соединении гальванических элементов	
U_1, В	U_2, В	U_3, В	$U_1 + U_2 + U_3$, В	$U_{общ}$, В

6. Запишите свои выводы на основании проведенного занятия.

Работа с мультиметром

С помощью мультиметра вы можете измерить значения многих физических величин, например, электрическое напряжение, электрическое сопротивление, силу тока, даже температуру. На рисунке 70 приведен общий вид мультиметра.

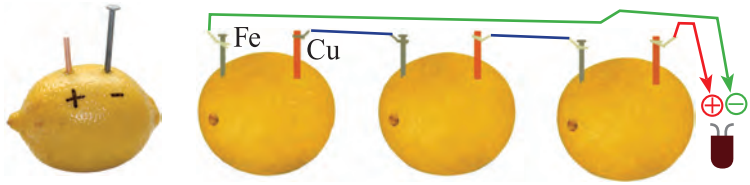
Для измерения напряжение винт, находящийся в положении OFF, поворачивается в сторону записи DCV. В этой стороне показаны границы измере-

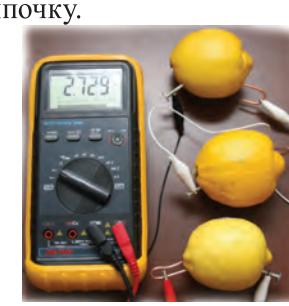


Рис. 70

ния напряжения 20, 200, 1000. Так как напряжение нашего гальванического элемента находится в пределах 1,5 В, границу измерения винта мультиметра поставим напротив точки, показывающей 20. Соединительные провода, подключенные к клеммам COM и В, Ом, мА мультиметра, подключают к полюсам источника тока. Значение напряжения источника тока показывает табло мультиметра *(рис. 70)*.

Постройте батарейку с помощью лимонов или апельсинов. Для этого воткните в середины лимонов или апельсинов железные и медные провода, как показано на рисунке, и подключите лампочку.





§ 24

Лабораторная работа. ИЗУЧЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО И ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ

1. Последовательное соединение проводников

Цель работы: изучение силы тока и падения напряжения в проводнике при их последовательном соединении.

Необходимое оборудование: источник тока, два резистора, имеющих различное сопротивление (сопротивление около 100–150 Ом), миллиамперметр, вольтметр, ключ и соединительные провода.

Порядок выполнения работы

1. Соберите электрическую цепь, изображенную на рисунке *71*. Вольтметр подключается к концам первого резистора. Ключ оставляют открытым.

2. Винт подачи напряжения потребителям источника тока ставится в положение 4 В.

3. Ключ включается. Измеряется сила тока (I_1), проходящая через резистор и напряжение (U_1) на его концах. Полученные результаты фиксируются в таблице.

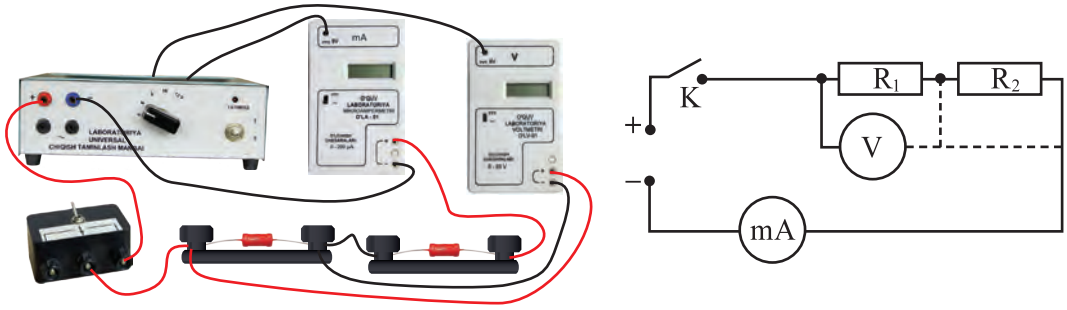


Рис. 71

4. Ключ выключается. Сняв вольтметр с первого резистора, подключите его к концам второго резистора.

5. Ключ включается. Измеряют силу тока (I_2), проходящего через второй резистор, и напряжение (U_2) на его концах. Полученные результаты фиксируются в таблице.

6. Ключ выключается. Вольтметр подключается к последовательно соединенным резистором.

7. Ключ включается. Измеряется сила тока, проходящего через резистор, и напряжение ($U_{АБ}$) на его концах. Полученные результаты фиксируются в таблице.

8. Ключ выключается. Винт, дающий напряжение потребителям источника тока, ставится в положение 6 В, и опыт повторяется.

	U_1, В	I_1, мА	R_1, Ом	U_2, В	I_2, мА	R_2, Ом	$U_{АВ}$, В	I, мА
1								
2								
3								

9. На основании результатов опыта проверьте выполнение основных закономерностей для потребителей, соединенных последовательно.

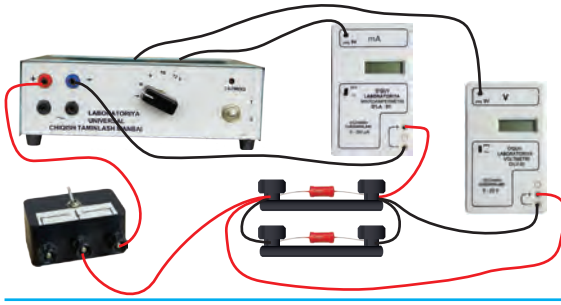
2. Параллельное соединение проводников

Цель работы: изучение силы тока и падение напряжения при параллельном соединении проводников.

Необходимое оборудование: источник тока, два резистора, имеющих различное сопротивление (около 200–300 Ом), миллиамперметр, вольтметр, ключ и соединительные провода.

Порядок выполнения работы

1. Собирается электрическая цепь, изображенная на рисунке *72*. Вольтметр подключается к концам обоих резисторов. Ключ оставляют открытым.



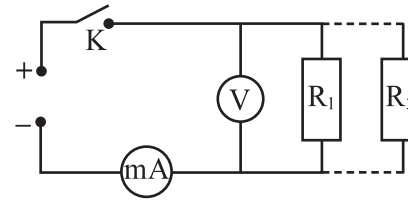


Рис. 72

2. Винт, дающий напряжение потребителям источника тока, ставят в положение 4 В.

3. Ключ включается. Вычисляют силу тока (I), проходящего через резисторы и напряжение (U) на его концах. Полученные результаты фиксируются в таблице.

4. Ключ выключается. Амперметр подключают последовательно к первому резистору.

5. Ключ включается. Амперметр показывает силу тока (I_1), проходящего через первый резистор.

6. Напряжение (U_1) на его концах измеряют с помощью вольтметра. Полученные результаты фиксируются в таблице.

7. Ключ выключается. Отключив амперметр от первого резистора, его подключают последовательно ко второму резистору.

8. Ключ включается. Измеряется сила тока (I_2), проходящего через второй резистор, и напряжение (U_2) на его концах. Полученные результаты фиксируются в таблице.

9. Ключ выключается. Винт, регулирующий подачу напряжения потребителям источника тока, ставится в положение 6 В, и опыт повторяется.

	U, В	I, мА	R_p, Ом	U_1, В	I_1, мА	R_1, Ом	U_2, В	I_2, мА	R_2, Ом
1									
2									
3									

10. Проверьте выполнение основных закономерностей для потребителей, подключенных параллельно, на основании результатов опыта.



1. Какая физическая величина будет одинаковой при последовательном соединении проводников?
2. Чему равно напряжение на концах проводников, соединенных последовательно?

3. Какая физическая величина будет одинаковой при параллельном соединении проводников?
4. Как подключается к цепи амперметр при последовательном соединении проводников?

§ 25 СМЕШАННОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ
(Для самостоятельного чтения)

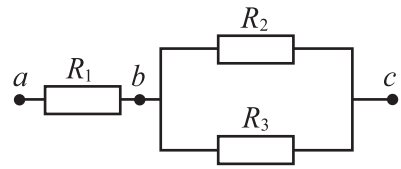


Рис. 73

Мы рассмотрели последовательное и параллельное соединение потребителей. Однако на практике часто встречаются случаи последовательного и параллельного соединения в одной цепи. Например, пусть 3 резистора соединены, как показано на рисунке *73*. Такое соединение электрической цепи называется ***смешанным соединением***. Смешанное соединение потребителей вычисляется отдельно, по узлам соединения.

Например, при нахождении общего сопротивления R'_1 между точками *b* и *c* на рисунке *73* из-за того, что резисторы R_2 и R_3 соединены параллельно, используют выражение $R'_1 = \dfrac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$. Общее сопротивление будет как два реостата *(R_1 и $R'_{общ}$),* соединенных последовательно, а общее сопротивление цепи найдем через выражение $R_{общ} = R_1 + R'_1$.

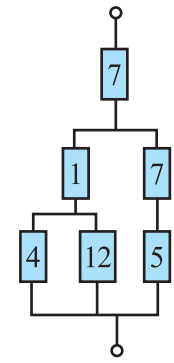


Рис. 74

При нахождении общего сопротивления сложных смешанно соединенных потребителей удобно пользоваться эквивалентными схемами, в которых все влияющие на расчёт элементы заменены на их идеальные эквиваленты, а все не влияющие элементы и факторы исключены.

Пример: Найдите общее сопротивление схемы, приведенной на рисунке *74*. При этом считается, что сопротивление данных проводников дано в одинаковых основных единицах (Ом).

Решение задачи начнем с первой схемы. Выделим резисторы, связанные непосредственно с узлами. Они показаны пунктирными линиями (*рис. 75 а*):

а) резисторы 4 Ом и 12 Ом соединены параллельно, общее эквивалентное сопротивление будет равно 3 Ом;

б) резисторы 7 Ом и 5 Ом соединены последовательно, вместо общего эквивалентного сопротивления можно взять 12 Ом;

Используя полученные результаты, начертим вторую эквивалентную схему (*рис. 75 б*):

в) резисторы 1 Ом и 3 Ом соединены последовательно, эквивалентное сопротивление можно взять равное 4 Ом;

В третьей эквивалентной схеме (*рис. 75 в*):

г) 4 Ом и 12 Ом соединены параллельно, общее эквивалентное сопротивление будет равно 3 Ом;

В четвертой эквивалентной схеме (*рис. 75 г*):

д) резисторы 7 Ом и 3 Ом соединены последовательно.

Значит, сложная цепь преобразовалась в цепь с простым последовательным соединением, и ее общее сопротивление равно 10 Ом.

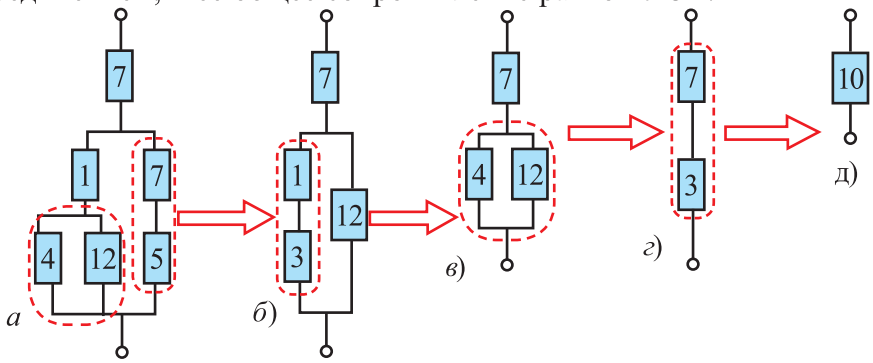


Рис. 75. Вычисление сопротивления сложной схемы

Как видим, любую сложную схему, разделив ее на последовательно и параллельно соединенные схемы, с помощью эквивалентных схем можно привести в простой вид.



1. На основе данного рисунка начертите электрическую схему цепи (*рис. 76*). Запишите алгоритм нахождения общего сопротивления.

2. Скольких видов электрических схем можно получить при помощи четырех резисторов? Обоснуйте ответ с помощью чертежей.

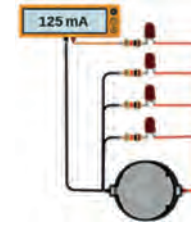


Рис. 76

§ 26 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. Напряжение в электрической цепи 220 В. Каждая из двух электрических ламп, подключенных к цепи, имеет сопротивление 240 Ом. Найдите силу тока при их последовательном соединении.

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$U = 220$ В $R_1 = R_2 = 240$ Ом.	$R = R_1 + R_2$; $I = I_1 = I_2$;	$I = \dfrac{220\,\text{В}}{240\,\text{Ом} + 240\,\text{Ом}} \approx 0{,}46\,\text{А}.$
Найти: $I = ?$	$I = \dfrac{U}{R} = \dfrac{U}{R_1 + R_2}.$	*Ответ:* $I \approx 0{,}46$ А.

Задача 2. Резисторы, сопротивление которых равно 20 Ом и 40 Ом *(рис. 77),* соединены последовательно. Определите показания амперметра и вольтметра. При этом считайте, что сопротивление амперметра очень маленькое, а сопротивление вольтметра бесконечно большое.

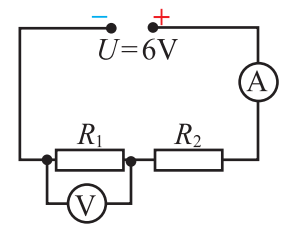
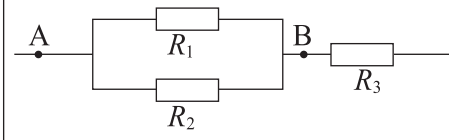


Рис.77.

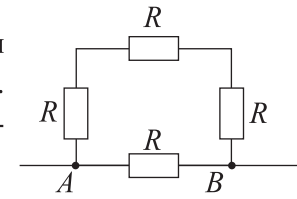
Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$R_1 = 20$ Ом $R_2 = 40$ Ом $U = 6$ В.	$R = R_1 + R_2$; $I = I_1 = I_2 = \dfrac{U}{R}$; $U_1 = I R_1$.	$R = 20$ Ом $+ 40$ Ом $= 60$ Ом; $I = \dfrac{6\,\text{В}}{60\,\text{Ом}} = 0{,}1\,\text{А}$; $U_1 = 0{,}1$ А $\cdot 20$ Ом $= 2$ В.
Найти: $I = ?$; $U_1 = ?$		*Ответ:* $I = 0{,}1$ А; $U_1 = 2$ В.

Задача 3. Два проводника, сопротивление которых равно $R_1 = 2$ Ом и $R_2 = 6$ Ом, напряжение на концах 12 В, соединены параллельно. Найдите силу тока и напряжение с сопротивлением $R_3 = 4$ Ом при последовательном соединении.

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$R_1 = 2$ Ом $R_2 = 6$ Ом $R_3 = 4$ Ом $U_{AB} = 12$ В.	$R_{AB} = \dfrac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$; $I_{AB} = \dfrac{U_{AB}}{R_{AB}}$; $I_{AB} = I_3$; $U_3 = I_3 \cdot R_3$.	
Найти: $I_3 = ?$ $U_3 = ?$		$R_{AB} = \dfrac{2 \cdot 6}{2 + 6}$ Ом $= 1{,}5$ Ом; $I_{AB} = \dfrac{12\,\text{В}}{1{,}5\,\text{Ом}} = 8\,\text{А}$; $I_3 = 8$ А; $U_3 = 8$ А $\cdot 4$ Ом $= 32$ В. *Ответ:* $I_3 = 8$ А; $U_3 = 32$ В.

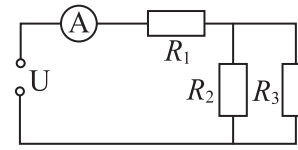
Упражнение 13

1. Вычислите общее сопротивление между точками A и B электрической цепи, изображенной на рисунке. Электрическое сопротивление каждого резистора равно 4 Ом.



2. Два проводника, сопротивление которых 20 Ом и 80 Ом, соединены параллельно, напряжение на их концах равно 48 В. Найдите силу тока и напряжение подключенного к ним третьего проводника с сопротивлением 5 Ом.

3. Электрическое сопротивление резисторов, данных на схеме, равно R_1=4 Ом, R_2= 10 Ом и R_3= 15 Ом. Какое значение покажет амперметр, если к концам цепи дать напряжение, равное 12 В?



§ 27 ЭЛЕКТРОЕМКОСТЬ. КОНДЕНСАТОРЫ

Конденсатор и его электроемкость

В электротехнике очень важно собирать и накапливать большое количество электрических зарядов. При собирании и хранении электрических зарядов используют конденсатор.

Прибор, состоящий из двух проводников, отделенных друг от друга тонким диэлектриком, называется *конденсатором*.

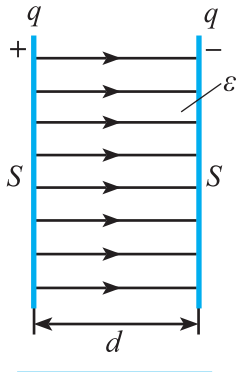


Рис. 78

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

Простейший конденсатор – это ***плоский конденсатор***. Плоский конденсатор состоит двух параллельных плоских проводников – пластинок (*рис. 78*), которые называются ***обкладками конденсатора***. Электростатическая площадь конденсатора находится в основном между его обкладками, и их можно считать однородными (их силовые линии одинаковы).

При заряжении конденсатора в каждой из его двух обкладок собирается одинаковое количество зарядов различных знаков.

Физическая величина, характеризующая свойство конденсатора накапливать заряды, называется его ***электроемкостью***.

Емкость конденсатора равна отношению количества зарядов в его обкладках к напряжению между пластинками:

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

где q – количество заряда, данное на обкладку конденсатора; U – напряжение между обкладками. В Международной системе единиц за единицу электроемкости принят ***1 фарад*** (Ф) в честь М. Фарадея.

$$[C] = \left[\frac{q}{U}\right] = \frac{1\text{ кулон}}{1\text{ вольт}} = 1\frac{\text{Кл}}{\text{В}} = 1\text{ Ф}.$$

Поскольку 1 фарад является очень большой единицей, на практике применяются его доли – *микрофарад* (мкФ), *нанофарад* (нФ) и *пикофарад* (пФ). При этом:

$$1\text{ мкФ} = 0{,}000001\text{ Ф} = 10^{-6}\text{ Ф};$$

$$1\text{ нФ} = 0{,}000000001\text{ Ф} = 10^{-9}\text{ Ф};$$

$$1\text{ пФ} = 0{,}000000000001\text{ Ф} = 10^{-12}\text{ Ф}.$$

Емкость конденсатора зависит от его геометрических размеров и расстояния между пластинками. Общий вид плоского конденсатора, состоящего из двух кругов, площадь обкладок которого равна S, приведен на рисунке *79*. Его обкладки отделены друг от друга диэлектриком толщиной d. Чем больше площадь обкладок S плоского конденсатора, тем больше заряда можно накопить в нем, и чем больше расстояние d между обкладками, тем меньше заряда может накопить конденсатор.

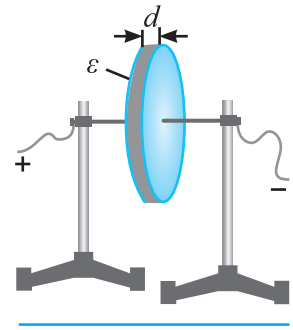


Рис. 79

Емкость плоского конденсатора прямо пропорциональна площади обкладок и обратно пропорциональна расстоянию между обкладками:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S}{d}, \qquad (2)$$



Рис. 80

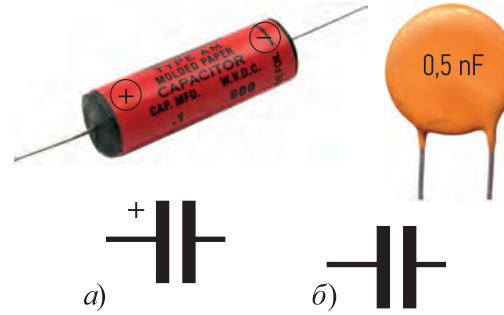


Рис. 81

где $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \frac{\Ф}{\text{м}}$ – электрическая постоянная, ε – диэлектрическая проницаемость среды между обкладками, например, для воздуха $\varepsilon = 1$; для слюды $\varepsilon = 6$, для стекла $\varepsilon = 7$.

В электротехнике также применяются конденсаторы, предназначенные для концентрации зарядов в различном количестве. В радиотехнике широко применяется конденсатор с переменной емкостью (*рис. 80*). Принцип его работы основан на подвижности пластин относительно друг друга. Конденсатор состоит из подвижных и неподвижных пластин, которые располагаются попеременно, причем подвижные пластины подсоединены к рукоятке. При поворачивании рукоятки они сдвигаются относительно неподвижных, и поверхности (S) наложенных друг на друга пластин изменяются. В результате изменяется и электроемкость конденсатора. Для регулирования радио на нужную волну поворотом рукоятки изменяется емкость переменного конденсатора. Кроме того, применяются также конденсаторы с полюсом и без полюса (*рис. 81 а, б*).

Конденсаторы широко применяются для запуска электродвигателей, для приведения в движение электромобилей и в промышленной электронике.

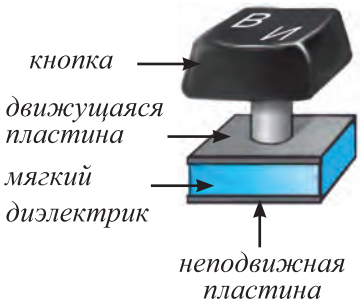


Рис. 82

Зависимость емкости конденсатора от расстояния между обкладками используется в процессе кодирования клавиатуры компьютера. Под каждой клавишей находится конденсатор, и когда мы нажимаем на клавишу, изменяется емкость конденсатора *(рис. 82)*. Микросхема, подключенная к клавишам, при изменении емкости реагирует на буквы. Так работают клавиши компьютера и телефона.

Пример решения задач

Задача 1. К обкладкам конденсатора емкостью 3 нФ дано напряжение 12 В из источника тока. Какой заряд получит каждая обкладка конденсатора?

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$C = 3$ нФ $= 3 \cdot 10^{-9}$ Ф $U = 12$ В. *Найти:* $q = ?$	$C = \frac{q}{U}$; $q = C\,U$; $[q] = \Phi \cdot \text{В} = \frac{\text{Кл}}{\text{В}} \cdot \text{В} = \text{Кл}.$	$q = 3 \cdot 10^{-9} \cdot 12$ Кл $= 36 \cdot 10^{-9}$ Кл $=$ $= 36$ нКл. *Ответ:* $q = 36$ нКл.

Задача 2. Обкладки плоского конденсатора, имеющие площадь 25 см^2, отделены друг от друга слюдой толщиной 5 мм. Чему равна емкость конденсатора? Для слюды $\varepsilon = 6$.

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$S = 25\,\text{см}^2 = 25 \cdot 10^{-4}\,\text{м}^2$ $d = 5$ мм $= 5 \cdot 10^{-3}$ м $\varepsilon = 6$. *Найти:* $C = ?$	$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$ $[C] = \frac{\frac{\Phi}{\text{м}} \cdot \text{м}^2}{\text{м}} = \Phi \cdot$	$C = \frac{6 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 25 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-3}}\Phi =$ $= 26{,}55 \cdot 10^{-12}\Phi = 26{,}55$ пФ. *Ответ:* $C = 26{,}55$ пФ.



1. В каких целях используют конденсатор?
2. Какие виды конденсаторов бывают? Как их используют?
3. Что такое электрическая емкость конденсатора и как она определяется?
4. Одна обкладка плоского конденсатора получила заряд +100 нКл, другая обкладка получила заряд –100 нКл. Какое количество заряда получил конденсатор?
5. Объясните, почему не проходит ток через конденсатор, подключенный к цепи постоянного тока.
6. Как изменится емкость плоского конденсатора при увеличении его заряда в 2 раза?

Упражнение 14

1. Как изменится емкость плоского конденсатора, если диэлектрик между его обкладками заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 2{,}1$?
2. Найдите емкость конденсатора, если конденсатор, подключенный к источнику тока напряженностью 24 В, получил заряд 30 мкКл.
3. Какое количество заряда получит конденсатор емкостью 40 нФ при подаче напряжения 30 В из источника тока в обкладки?

4. Обкладки конденсатора, площадь которых 40 см^2, отделены друг от друга воздушной прослойкой толщиной 8 мм. Чему равна емкость конденсатора?

5. Чему равно напряжение между обкладками конденсатора емкостью 3 мкФ, если количество заряда, полученного обкладками, равно 42 мкКл?

§ 28 ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ

В электрических цепях возникает необходимость повышения или уменьшения емкости конденсатора. В таких случаях конденсаторы соединяют параллельно или последовательно. Опытом определено, что при параллельном соединении конденсаторов их электрическая емкость увеличивается:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + ... + C_n . \qquad (1)$$

При *параллельном соединении* конденсаторов общая электрическая емкость равна сумма емкостей отдельных конденсаторов.

Общий вид параллельного соединения конденсаторов приведен на рисунке *83*. Для параллельного соединения конденсаторов их обкладки с положительным знаком соединяют с обкладками положительных знаков, обкладки с отрицательными знаками соединяют с обкладками отрицательных знаков *(рис. 83)*.

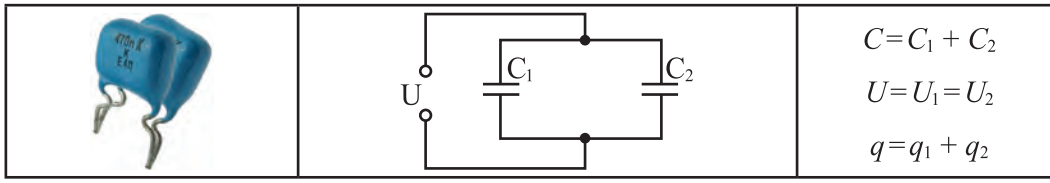


Рис. 83

При параллельном соединении конденсаторов напряжение на общих концах будет одинаковым:

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = ... = U_n . \qquad (2)$$

Общий заряд будет равен сумме зарядов каждого конденсатора, то есть

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + ... + q_n . \qquad (3)$$

Значит, параллельным соединением конденсаторов можно накопить больше зарядов.

Последовательное соединение конденсаторов

При *последовательном соединении* конденсаторов величина, обратная общей электроемкости конденсаторов, равна сумме величин, обратных емкостям каждого конденсатора:

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}+...+\frac{1}{C_n}. \qquad (4)$$

Значит, при последовательном соединении конденсаторов уменьшается общая электроемкость.

При последовательном соединении конденсаторов общее напряжение будет равно алгебраической сумме напряжений на концах каждого конденсатора:

$$U=U_1+U_2+U_3+\ldots+U_n. \qquad (5)$$

Общий вид последовательного соединения конденсаторов приведен на рисунке *84*.

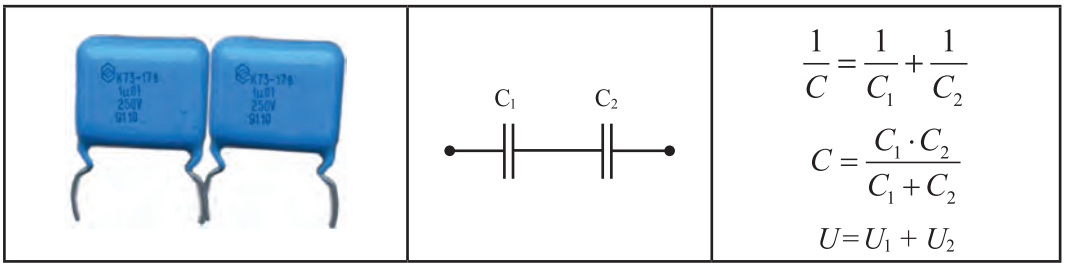


Рис. 84

Пример решения задач

Конденсаторы емкостью 2 мкФ и 6 мкФ соединены параллельно к источнику тока напряжением 9 В. Какой будет общая электрическая емкость цепи? Какой заряд получит каждый конденсатор?

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$C_1=2$ мкФ $=2\cdot10^{-6}$ Ф $C_2=6$ мкФ $=6\cdot10^{-6}$ Ф $U=9$ В.	$C_{общ}=C_1+C_2;$ $q_1=C_1\cdot U;$ $q_2=C_2\cdot U.$	$C_{общ}=2$ мкФ $+6$ мкФ $=8$ мкФ; $q_1=2\cdot10^{-6}$ Ф $\cdot 9$ В $=18\cdot10^{-6}$ Кл $=18$ мкКл; $q_2=6\cdot10^{-6}$ Ф $\cdot 9$ В $=54\cdot10^{-6}$ Кл $=54$ мкКл.
Найти: $C_{общ}=?\ q_1=?\ q_2=?$		*Ответ:* $C_{общ}=8$ мкФ; $q_1=18$ мкКл; $q_2=54$ мкКл.



1. Как выражается емкость плоского конденсатора через его размеры?
2. Объясните принцип работы конденсатора с изменяющейся емкостью.
3. Как определяется общая емкость при параллельном соединении конденсаторов?
4. Как осуществляется последовательное соединение конденсаторов? Как в этом случае находят общую емкость?
5. Обкладки заряженного конденсатора обеззаряжены при помощи соединения проводом. Как изменилась масса обкладок после обеззаряживания?

Упражнение 15

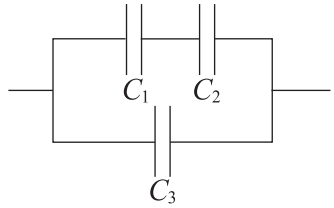
1. Три конденсатора емкостью 3 мкФ; 5 мкФ и 8 мкФ соединены параллельно с источником тока напряжением 12 В. Какой будет общая емкость цепи? Какой заряд получит каждый из них?
2. Какую емкость можно получить, соединив последовательно три конденсатора емкостью 12 мкФ; 20 мкФ и 30 мкФ?
3. Два конденсатора с одинаковой емкостью соединены сначала последовательно, затем параллельно. Во сколько раз будет отличаться общая емкость при последовательном и параллельном соединениях?
4*. Можно ли получить емкость 5 мкФ при соединении конденсаторов с емкостью $C_1 = 4$ мкФ; $C_2 = 6$ мкФ и $C_3 = 10$ мкФ? Если можно, то как?

§ 29 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. Пластинки конденсатора имеют форму квадрата со стороной 30 см. Каково расстояние между пластинками конденсатора, если при заполнении промежутка между пластинами бумагой, пропитанной жидкостью ($\varepsilon = 2$), его емкость была равна 177 пФ?

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$a = 30$ см $= 0{,}3$ м $C = 177$ пФ $= 177 \cdot 10^{-12}$ Ф $\varepsilon = 2$.	$S = a^2$; $C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d} = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot a^2}{d}$; $d = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot a^2}{C}$.	$d = \frac{2 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 0{,}3^2}{177 \cdot 10^{-12}}$ м $=$ $= 9 \cdot 10^{-3}$ м $= 9$ мм.
Найти: $d = ?$		*Ответ*: $d = 9$ мм.

Задача 2. Вычислите электроемкость электрической цепи, изображенной на рисунке. При этом емкости конденсаторов равны C_1 = 3 мкФ; C_2 = 6 мкФ и C_3 = 5 мкФ.



Дано:	*Формула:*	*Решение:*
C_1 = 3 мкФ C_2 = 6 мкФ C_3 = 5 мкФ.	Конденсаторы C_1 и C_2 соединены последовательно: $C_{1,2} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$;	$C_{1,2} = \frac{3\,\text{мкФ} \cdot 6\,\text{мкФ}}{3\,\text{мкФ} + 6\,\text{мкФ}} = 2\,\text{мкФ}$ $C_{\text{общ}} = 2\,\text{мкФ} + 5\,\text{мкФ} =$ $= 7\,\text{мкФ}$.
Найти: $C_{\text{общ}}$ = ?	Конденсатор $C_{1,2}$ соединен с C_3 параллельно: $C_{\text{общ}} = C_{1,2} + C_3$.	*Ответ:* $C_{\text{общ}}$ = 7 мкФ.

Упражнение 16

1. Расстояние между обкладками плоского конденсатора, площадь которых по 30 см^2, равно 4 мм. Чему равна диэлектрическая проницаемость среды между обкладками конденсатора, если емкость конденсатора равна 20 пФ?
2. Обкладки плоского конденсатора имеют форму круга радиусом 4 см. Обкладки отделены друг от друга слюдой толщиной 2 мм. Какой заряд получит конденсатор, если его обкладкам дать напряжение 4 В? Диэлектрическую проницаемость слюды взять равной 6.
3. У плоского конденсатора емкостью 370 пФ площадь его обкладок равна 300 см^2. Какой толщины была стеклянная пластинка, если она установлена между обкладками? Для стекла ε = 7.
4. В коробке имеется несколько конденсаторов емкостью 30 пФ и 70 пФ. Сколько конденсаторов с указанными емкостями надо взять, чтобы получить конденсаторную батарею емкостью 330 пФ при параллельном соединении?

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ ГЛАВЫ II

1. Какое количество заряда пройдет через поперечное сечение проводника за 15 минут, если сила тока в цепи равна 2 А?

А) 300 Кл; Б) 1800 Кл; В) 900 Кл; Г) 600 Кл.

2. Сколько электронов прошло через поперечное сечение проводника за 1 с, если в течение 2 минут через поперечное сечение проводника прошел заряд 480 Кл?

А) $3 \cdot 10^{18}$; Б) $2{,}5 \cdot 10^{19}$; В) $5 \cdot 10^{18}$; Г) $4 \cdot 10^{19}$.

3. При подключении к концам проводника напряжения, равного 24 В, через него прошел ток в 400 мА. Каким было электрическое сопротивление (Ом) проводника?

А) 30; Б) 180; В) 60; Г) 120.

4. Никелиновый провод длиной 4 м, с поперечным сечением 0,8 мм² подключен к цепи. Какой силы ток (А) пройдет через провод, если к концам провода дать напряжение 6 В? Удельное сопротивление для нихрома $\rho = 0{,}4 \cdot 10^{-6}$ Ом·м.

А) 1,5; Б) 2; В) 3; Г) 4,5.

5. Каким будет общее сопротивление (Ом), если параллельно соединить проводники, электрическое сопротивление которых 4 Ом; 5 Ом; 20 Ом?

А) 2; Б) 4; В) 3; Г) 5.

6. Как изменится общее сопротивление, если 6 одинаковых резисторов, параллельно соединенных, соединить последовательно?

А) увеличится в 36 раз; Б) уменьшится в 12 раз;
В) увеличится в 3 раза; Г) уменьшится в 9 раз.

7. Какое сопротивление (Ом) следует параллельно подключить к сопротивлению 120 Ом, чтобы общее сопротивление стало 40 Ом?

А) 60; Б) 80; В) 30; Г) 90.

8. Одна пластинка плоского конденсатора получила заряд +5 мкКл, вторая – заряд –5 мкКл. Какой заряд (мкКл) получил конденсатор?

А) 2,5; Б) 10; В) 5; Г) не получил заряд.

9. При подаче обкладкам плоского конденсатора напряжения 1,2 кВ он получил заряд 48 мкКл. Какой была емкость конденсатора (нФ)?

А) 57,6; Б) 40; В) 25; Г) 36.

10. Как изменится электрическая емкость плоского конденсатора, если пространство между обкладками заполнить веществом, диэлектрическая проницаемость которого $\varepsilon = 3$?

А) увеличится в 9 раз; Б) уменьшится в 1,5 раза;
В) увеличится в 3 раза; Г) уменьшится в 3 раза.

11. Как изменится общая емкость, если 4 одинаковых конденсаторов, соединенных параллельно, соединить последовательно?

А) увеличится в 4 раза; Б) уменьшится в 2 раза;
В) увеличится в 16 раз; Г) уменьшится в 16 раз.

ВАЖНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ II

Электрический ток	Упорядоченное движение заряженных частиц, т.е. состоит из потока зарядов.
Источник постоянного тока	Источник, имеющий положительный и отрицательный полюса, образующий постоянный ток.
Гальванический элемент	В гальваническом элементе химическая энергия преобразуется в электрическую энергию.
Электрическое напряжение	Величина, равная по численному значению работе, выполняемой при прохождении заряда, равного 1 кулону, некоторой части цепи, называется электрическим напряжением между концами этой части цепи.
Сила тока	Величина, равная по значению количеству электрических зарядов, проходящих за единицу времени через поперечное сечение проводника.
Сопротивление проводника	Электрическим сопротивлением называется физическая величина, характеризующая свойство противиться прохождению тока в цепи проводника. Электрическое сопротивление проводника зависит от его геометрических размеров и природе вещества, то есть: $R = \rho \frac{l}{S}$.
Закон Ома	Сила тока, проходящего по проводнику, прямо пропорциональна напряжению, поданному его концом, и обратно пропорциональна сопротивлению проводника. $I = \frac{U}{R}$.
Реостат	Электрический прибор, применяющийся для регулирования, то есть изменения, силы тока и напряжения в электрической цепи.
Формулы сопротивления при последовательном и параллельном соединении проводников	$R = R_1 + R_2 + ... + R_n$, $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ... + \frac{1}{R_n}$.
Формулы емкости конденсатора	$C = \frac{q}{U}$, $C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S}{d}$.
Формула емкости при параллельном и последовательном соединении конденсаторов	$C = C_1 + C_2 + C_3 + ... + C_n$ и $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + ... + \frac{1}{C_n}$

ГЛАВА III
РАБОТА И МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

§ 30 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.

Из выражения электрического напряжения $U = \frac{A}{q}$ работа, выполненная током:

$$A = U\,q. \qquad (1)$$

Из формулы силы тока $I = \frac{q}{t}$, принимая во внимание $q = It$, выражение (1) запишем в следующем виде:

$$A = I\,U\,t. \qquad (2)$$

Работа, выполненная за определенное время электрическим током потребителя, равна произведению силы тока, проходящего по нему, на напряжение и время прохождения тока.

Единица работы, выполненная электрическим током, так же, как и единица работы, вычисляется в ***джоулях*** (**Дж**), то есть $1\,\text{Дж} = 1\,\text{А} \cdot 1\,\text{В} \cdot 1\,\text{с}$.

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

Значит, для вычисления работы электрического тока нужны три прибора: вольтметр, амперметр и часы.

Используя закон Ома для участка цепи в формуле (2), если напряжение выразить через силу тока или силу тока через напряжение, то можно записать следующие три эквивалентных выражения работы тока:

$$A = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t. \qquad (3)$$

Вычисление израсходованной электрической энергии

Израсходованная электрическая энергия количественно равна работе, выполненной электрическим током.

Если израсходованную энергию обозначить буквой W, то выражение будет иметь следующий вид:

$$W = I\,U\,t\,. \qquad (4)$$

Работа, выполненная электрическим током, то есть израсходованная потребителями электрическая энергия, измеряется специальным прибором – электрическим счетчиком *(рис. 85)*.

В счетчике электрической энергии объединены три прибора, указанные выше. Такие счетчики установлены во всех местах потребления электрической энергии, т.е. на заводах, фабриках, производственных предприятиях, а также в наших квартирах.



Рис. 85

Пример решения задач

Через электрический нагреватель, подключенный к сети с напряжением 220 В, проходит ток 3 А. Какую работу выполнит ток в течение 0,5 ч?

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$U = 220$ В $I = 3$ А $t = 0{,}5$ ч $= 1800$ с.	$A = I\,U\,t.$ $[A] = 1$ А $\cdot 1$ В $\cdot 1$ с $= 1$ Дж.	$A = 3 \cdot 220 \cdot 1\,800$ Дж $=$ $= 1\,188\,000$ Дж $= 1{,}188$ МДж.
Найти: A = ?		*Ответ*: $A = 1{,}188$ МДж.



1. Как выражается работа, выполненная током, и в каких единицах она измеряется?
2. Как можно уменьшить расход электрической энергии в квартире?
3. Как вычисляется израсходованная электроэнергия?
4. Запишите формулы работ, эквивалентных выполненной работе электрического тока.

Упражнение 17

1. Через двигатель, подключенный к сети напряжением 220 В, проходит ток 2 А. Какую работу выполняет ток в этом двигателе в течение 20 минут?
2. Через проводник, подключенный к напряжению 12 В, проходит ток 20 мА. Какую работу выполнит ток в течение 15 минут?
3. К концам проводника, сопротивление которого 200 Ом, дано напряжение 42 В. Какую работу выполняет ток в течение 20 минут?
4. Какая электрическая энергия расходуется в течение 5 минут, если напряжение в лампочке 4,5 В, сила тока 0,2 А?
5. При подключении электрического утюга к сети тока напряжением 220 В через него проходит ток 3 А. Сколько электрической энергии расходуется при работе утюга за 10 минут?

§ 31 МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Понятие о мощности тока

В различных потребителях, подключенных к электрической сети, за одинаковое время электрический ток выполняет различную работу.

Для нахождения мощности P электрического тока работу A, выполненную током, нужно разделить на время t, израсходованное на выполнение этой работы, то есть:

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

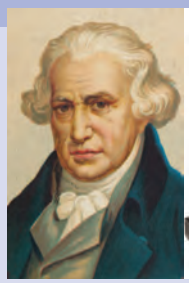
Если в это выражение подставить выражение $A = I\,U\,t$ работы, выполненной электрическим током в течение времени t, то получится следующее выражение мощности:

$$P = \frac{U\,I\,t}{t} \text{ или } P = I\,U. \qquad (2)$$

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

ДЖЕЙМС ВАТТ (1736–1819)

Английский инженер, изобретатель, механик. Впервые ввел в науку лошадиную силу в качестве единицы мощности, и усовершенствованием принципа работы паровой машины внес огромный вклад в развитие промышленности.





За основную единицу мощности электрического тока принят **ватт (Вт)** в честь английского ученого **Джеймса Ватта**.

Ваттом **называется мощность тока силой 1 А на участке цепи напряжением 1 В.**

Потребительская мощность электрических приборов, используемых в повседневной жизни, намного превышает 1 Вт, поэтому на практике применяются и производные единицы – гектоватт (гВт), киловатт (кВт) и мегаватт (МВт). При этом

$$1 \text{ гектоватт} = 100 \text{ ватт} = 10^2 \text{ ватт};\ 1 \text{ киловатт} = 1000 \text{ ватт} = 10^3 \text{ ватт};$$

$$1 \text{ мегаватт} = 1\,000\,000 \text{ ватт} = 10^6 \text{ ватт}.$$

Используя закон Ома для участка цепи, если выразить напряжение через силу тока или силу тока через напряжение, можно записать следующие три эквивалентные выражения мощности тока:

$$P = IU = I^2R = \frac{U^2}{R}. \qquad (3)$$

Мощность потребителей электричества

Обычно на электроприборах, являющихся потребителями электричества, есть отметка их мощности. В квартирах в большинстве случаев используются экономичные лампочки с электрической мощностью 5 Вт, 10 Вт, 12 Вт. Чем больше мощность лампочки, тем сильнее она светит и потребляет энергию. У различных потребителей электричества мощность тоже различна (*табл. 3*).

Таблица 3

№	Потребители	*P*, Вт	№	Потребители	*P*, Вт
1	Мобильный телефон	0,3–1	7	Телевизор	50–300
2	Радиоприемник	2–10	6	Стиральная машина	350–600
3	Холодильник	110–160	7	Лампочка накаливания	60–1000
4	Компьютер	40–200	8	Утюг	500–2000

Мощность потребителей электричества

Потребительская мощность электроприборов – электрического нагревателя, холодильника, телевизора, компьютера и т.д. – обычно указывается в их паспортах. По мощности можно вычислить формулу работы тока:

$$A = P\,t, \qquad (4)$$

выполненной в течение определенного времени. Если выразить мощность в ваттах, время – в секундах, то единица работы джоуль будет выражаться следующим образом:

$$1\ \text{Дж} = 1\ \text{Вт} \cdot 1\ \text{с}.$$

Так как ватт · секунду является очень маленькой единицей, на практике применяется ватт · час. При этом 1 Вт·ч = 3 600 Вт·с = 3 600 Дж = 3,6 кДж.

На практике также широко используются кратные единицы работы тока: гектоватт · час (гВТ·ч), киловатт · час (кВт·ч) и мегаватт·час (МВт·ч).

$$1\ \text{гектоватт} \cdot \text{час} = 100\ \text{ватт} \cdot 1\ \text{час} = 100\ \text{ватт} \cdot \text{час} = 360\,000\ \text{Дж} = 360\ \text{килоджоулей};$$

$$1\ \text{киловатт} \cdot \text{час} = 1000\ \text{ватт} \cdot 1\ \text{час} = 1000\ \text{ватт} \cdot \text{час} = 3\,600\,000\ \text{Дж} = 3{,}6\ \text{мегаджоуля};$$

$$1\ \text{мегаватт} \cdot \text{час} = 1\,000\,000\ \text{ватт} \cdot 1\ \text{час} = 3\,600\,000\,000\ \text{Дж} = 3{,}6\ \text{гигаджоуля}.$$

Обычно оплата за израсходованную электроэнергию осуществляется ежемесячно. Например, если месяц назад показания счетчика электрической энергии были 312,2 кВт·ч, а показания на сегодняшний день 354,6 кВт·ч, то количество израсходованной электрической энергии будет равно 354,6 кВт·ч – 312,2 кВт·ч = 42,4 кВт·ч.

На основании определенных цен за каждый израсходованный кВт·ч. электрической энергии определяется сумма оплаты. Например, умножив сумму оплаты, определенную за 1 кВт·ч, на количество электрической энергии, израсходованной за один месяц, можно определить сумму оплаты за электрическую энергию.

Пример решения задач

Задача 1. Электрическая лампа мощностью 15 Вт каждый день горит по 6 часов. Найдите работу, выполненную за 1 месяц (30 дней) током, проходящим через эту лампу. Ответ выразить в киловатт-часах.

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$P = 15$ Вт $t = 6$ ч $\cdot 30 = 180$ ч.	$A = P\,t.$	$A = 15$ Вт $\cdot 180$ ч $= 2700$ Вт $\cdot$ ч $=$ $= 2{,}7$ кВт $\cdot$ ч.
Найти: $A = ?$		*Ответ:* $A = 2{,}7$ кВт $\cdot$ ч.

Задача 2. Найдите сопротивление спирали лампы, если электрическая лампа, имеющая мощность 60 Вт, рассчитана на напряжение 220 В.

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$P = 60$ Вт $U = 220$ В.	$P = \frac{U^2}{R};\ R = \frac{U^2}{P}.$	$R = \frac{220^2}{60}$ Ом ≈ 807 Ом.
Найти: $R = ?$	$[R] = \frac{\text{В}^2}{\text{Вт}} = \frac{\text{В}^2}{\text{А}\cdot\text{В}} = \frac{\text{В}}{\text{А}} =$ Ом.	*Ответ:* $R \approx 807$ Ом.



1. Как выражается мощность электрического тока?
2. В каких единицах вычисляется мощность тока?
3. Что вы знаете о мощности тока у потребителей электричества?
4. Выведите выражение мощности тока через напряжение и сопротивление и выражение мощности тока через силу тока и сопротивление, используя формулу закона Ома и формулу (2).
5. Как вы вычисляете расход киловатт-часов электроэнергии в своей квартире?
6. Почему израсходованная электроэнергия вычисляется в киловатт-часах?



1. Определите стоимость выполняемой за 1 час работы тока, проходящего через следующие бытовые приборы: А) утюг мощностью 300 Вт; Б) лампочка мощностью 60 Вт. Спросите у родителей, сколько стоит 1 кВт $\cdot$ ч электроэнергии.
2. Определите, сколько денег нужно заплатить за израсходованную телевизором в вашей квартире электроэнергию при его ежедневной работе по 2,5 часа. Потребительская мощность телевизора – 220 Вт.

§ 32 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. Две лампочки мощностями 100 ватт и 200 ватт подсоединены параллельно к сети с напряжением 220 В. Найдите силу тока в каждой лампочке, общую силу тока, проходящую через обе лампочки, сопротивление каждой лампочки и общее сопротивление лампочек.

Дано:

$P_1 = 100$ Вт
$P_2 = 200$ Вт
$U = 220$ В.

Найти:

$I_1 = ?$ $I_2 = ?$
$I = ?$ $R_1 = ?$
$R_2 = ?$ $R = ?$

Формула:

$$I_1 = \frac{P_1}{U};\ I_2 = \frac{P_2}{U};$$

$$I = I_1 + I_2;\ R_1 = \frac{U}{I_1};$$

$$R_2 = \frac{U}{I_2};\ R = \frac{U}{I}.$$

Решение:

$$I_1 = \frac{100\ \text{Вт}}{220\ \text{В}} \approx 0{,}45\ \text{А};\ I_2 = \frac{200\ \text{Вт}}{220\ \text{В}} \approx 0{,}91\ \text{А};$$

$$I = 0{,}45\ \text{А} + 0{,}91\ \text{А} = 1{,}36\ \text{А};$$

$$R_1 = \frac{220\ \text{В}}{0{,}45\ \text{А}} \approx 489\ \text{Ом};\ R_2 = \frac{220\ \text{В}}{0{,}91\ \text{А}} \approx 242\ \text{Ом}$$

$$R = \frac{220\ \text{В}}{1{,}36\ \text{А}} \approx 162\ \text{Ом}.$$

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

Задача 2. Потребители с сопротивлением 80 Ом и 60 Ом последовательно соединены в цепи. С какой мощностью работает второй потребитель, если первый работает с мощностью 12 Вт?

Дано:

$R_1 = 80$ Ом
$R_2 = 60$ Ом
$P_1 = 12$ Вт.

Найти:

$P_2 = ?$

Формула:

$$U_1 = U_2 = U;$$

$$P_1 = \frac{U^2}{R_1};\quad P_2 = \frac{U^2}{R_2};\quad P_2 = \frac{P_1 R_1}{R_2}.$$

$$[P_2] = \frac{\text{Вт} \cdot \text{Ом}}{\text{Ом}} = \text{Вт}.$$

Решение:

$$P_2 = \frac{12 \cdot 80}{60}\ \text{Вт} = 16\ \text{Вт}.$$

Ответ: $P_2 = 16$ Вт.

Задача 3. Потребители, сопротивление которых равно 75 Ом и 50 Ом, соединены последовательно. С какой мощностью работает второй потребитель, если мощность первого потребителя 120 Вт?

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$R_1 = 75$ Ом $R_2 = 50$ Ом $P_1 = 120$ Вт. *Найти:* $P_2 = ?$	$I_1 = I_2 = I$; $P_1 = I^2 R_1$; $P_2 = I^2 R_2$; $P_2 = \frac{P_1 R_2}{R_1}$. $[P_2] = \frac{\text{Вт} \cdot \text{Ом}}{\text{Ом}} = \text{Вт}$.	$P_2 = \frac{120 \cdot 50}{75}$ Вт $= 80$ Вт. *Ответ:* $P_2 = 80$ Вт.

Упражнение 18

1. Найдите потребительскую мощность двигателя, работающего на напряжении 220 В с силой тока 4 А.
2. Лампочка автомобиля мощностью 40 Вт рассчитана на напряжение 12 В. Определите сопротивление лампочки.
3. При прохождении через цепь 5 А тока электрическая плита за 30 минут расходует 1800 кДж энергии. Каким было сопротивление плиты?
4. Показания электросчетчика в начале месяца составляют 1450 кВт·ч, а к концу месяца – 1890 кВт·ч. Сколько электрической энергии было израсходовано в квартире в течение месяца?
5. Через лампочку, подключенную к сети с напряжением 220 В, проходит ток 0,4 А. Какую работу выполнит ток в течение 10 минут?
6. Две электрические лампочки, мощность которых 10 Вт и 15 Вт, подключены к сети с напряжением 220 В. Определите сопротивление нити накаливания каждой лампочки.
7. На участке цепи с напряжением 220 В ток выполнил работу в 176 кДж. Какое количество электронов прошло за это время через поперечное сечение проводника?
8. Потребители, сопротивление которых 120 Ом и 160 Ом, подключены параллельно к цепи. С какой мощностью работает первый потребитель, если второй работает с мощностью 15 Вт?
9. Потребители, сопротивление которых 30 Ом и 75 Ом, соединены последовательно. С какой мощностью работает первый потребитель, если второй работает с мощностью 25 Вт?
10. Следует нагреть воду двумя нагревателями. В каком случае вода быстрее нагреется: при последовательном или при параллельном соединении нагревателей? Поясните ответ.

§ 33

Лабораторная работа. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЯ (ЛАМПОЧКИ)

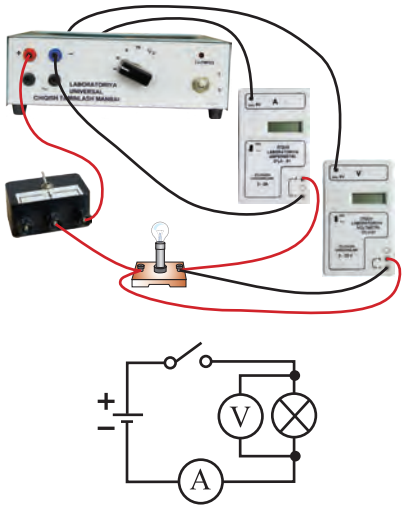


Рис. 86

Цель работы: научиться определять мощность потребителя через силу тока и напряжение, данное ему.

Необходимое оборудование: источник тока, потребитель (лампочка), амперметр, вольтметр, ключ, соединительные провода.

Порядок выполнения работы

1. Соберите цепь, состоящую из источника тока, лампочки, амперметра, вольтметра и ключа *(рис. 86)*.

2. Начертите схему собранной электрической цепи.

3. Включите ключ и запустите секундомер.

4. Определите показания амперметра и вольтметра и запишите в таблицу.

5. С помощью формулы $P=I\,U$ вычислите израсходованное количество электрической энергии и запишите в таблицу.

6. Отключите ключ и одновременно остановите секундомер. Время t, в течение которого горела лампочка, запишите в таблицу.

7. Вычислите израсходованную электрическую энергию с помощью формулы $W=I\,U\,t$. Результат запишите в таблицу.

8. Повторите опыт 3 раза. Результаты запишите в таблицу.

9. Вычислите среднюю мощность лампочки через выражение $P_{ср}=(P_1+P_2+P_3)/3$. Полученный результат сравните с мощностью, записанной на лампочке.

10. Проанализируйте результаты и сделайте вывод.

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

1. Можно ли сказать, что электрическая энергия, израсходованная потребителем, равна работе, выполненной током?
2. Изменяется ли мощность лампочки из-за повышения или уменьшения силы тока, при повышении или понижении напряжения в источнике?
3. Как изменятся показания амперметра и вольтметра, если в лабораторной работе лампочку поменять на другую, с большей мощностью?

§ 34 НАГРЕВАНИЕ ПРОВОДНИКОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Количество теплоты, выделяемое проводником

В проводниках упорядоченно движущиеся электроны образуют электрический ток. Электроны во время своего направленного движения сталкиваются с атомами проводника. В результате таких столкновений часть энергии электронов передается атомам проводника, и внутренняя энергия проводника возрастает, т.е. он нагревается. Поэтому из проводника выделяется количество теплоты.

Если при прохождении электрического тока через проводник работа, выполненная током, расходуется только на увеличение внутренней энергии проводника (его нагревание), то работа, выполненная током, будет равна количеству теплоты, выделяемой проводником:

$$Q = A \quad \text{или} \quad Q = I\,U\,t. \qquad (1)$$

Из равенства $U = I\,R$ для количества теплоты, выделяемого проводником, вытекает следующее равенство:

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

Количество теплоты, выделяемое при прохождении электрического тока через проводник, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления проводника и времени, затраченного для прохождения этого тока.

К такому выводу пришли независимо друг от друга на основании проведенных опытов английский ученый **Джеймс Прескотт Джоуль** (1818–1889) и русский ученый **Эмилий Христианович Ленц** (1804–1865), поэтому он называется законом Джоуля–Ленца.

При прохождении тока через проводник выделенное количество теплоты обычно вычисляется в единицах ***джоуль*** **(Дж),** ***килоджоуль*** **(кДж)** и ***мегаджоуль*** **(МДж)**.

1 кДж = 1000 Дж = 10^3 Дж; 1 МДж = 1 000 000 Дж = 10^6 Дж.



Рис. 87

Электрическая лампа накаливания

В быту для освещения используют в основном электрические лампы накаливания, которые светят за счет накаливания спирали при прохождении тока *(рис. 87)*.

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 3000 °С и допускает накаливание до 3000 °С.

Первая лампа накаливания была изобретена в 1872 году русским электротехником **Александром Николаевичем Лодыгиным** (1847–1923). Первую усовершенствованную лампочку изобрел в 1879 году американский ученый **Томас Алва Эдисон** (1847–1931).



Рис. 88

В квартирах в основном используются лампы накаливания напряжением 220 В. Сегодня на производстве и в бытовом обслуживании кроме ламп накаливания используются холодные лампы – лампы с инертным газом (*рис. 88*). С принципом их работы подробно ознакомимся в последующих темах.

Так как в лампах накаливания большая часть электрической энергии превращается в тепловую, коэффициент их полезного действия невысокий, а в лампах с инертным газом большая часть электрической энергии превращается в световую. В таких лампах электрическая энергия расходуется меньше, они не накаливаются даже при длительном горении, поэтому на предприятиях, в магазинах, на улицах, где освещение на ночь не выключается, используют чаще всего газонаполненные лампы белого свечения. В последнее время такими лампами пользуются и для освещения жилья.

Коэффициент полезного действия потребителей электричества

Определенная часть общей работы ($A_{общ}$) электрического тока расходуется на выполнение полезной ($A_{полез}$) работы.

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

$$\eta = \frac{A_{полез}}{A_{общ}} \text{ или } \eta = \frac{A_{полез}}{A_{общ}} \cdot 100\%. \qquad (3)$$

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

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

где $P_{общ}$ – затраченная общая мощность, $P_{полез}$ – полезная мощность.

Коэффициент полезного действия лампы накаливания невысок 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 задач

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

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$R = 40$ Ом $I = 5$ А $t = 1$ ч $= 3\,600$ с.	$Q = I^2 R t$; $[Q] = \text{А}^2 \cdot \text{Ом} \cdot \text{с} = \text{Дж}$.	$Q = 5^2 \cdot 40 \cdot 3600$ Дж $=$ $= 3600000$ Дж $= 3{,}6$ МДж.
Найти: $Q = ?$		*Ответ:* $Q = 3{,}6$ МДж.



1. Как выражается формула Джоуля–Ленца?
2. За счет чего освещает лампа накаливания?
3. Почему при прохождении тока через проводник он нагревается?
4. Как определяется коэффициент полезного действия потребителей электричества?
5. Почему тонкие листы спирали электрической плиты сильнее нагреваются?



1. Возьмите негодную к использованию (или новую) электрическую лампочку с неподключенным к сети патроном. Проанализируйте ее устройство и изучите ее работу. Запишите функции металлических пластинок, закрепленных в патроне с резьбой, спирали и стеклянной колбы.





2. Сравните расход энергии за 10 часов лампы накаливания и LED-лампы, подключенных к электрической цепи дома:
– мощность лампы накаливания – 60 Вт;
– мощность LED-лампы – 7 Вт.

Упражнение 19

1. По спирали с сопротивлением 100 Ом проходит ток 10 А. Какое количество теплоты выделяется от этой спирали в течение 1 минуты?
2. Какое количество тепла выделяется из электронагревателя сопротивлением 20 Ом, подключенного к сети с напряжением 220 В в течение 1 часа?
3. В цепь источника тока последовательно подключены алюминиевый и нихромовый провода с одинаковым поперечным сечением и длиной. Какая из них нагревается больше?
4. Спираль утюга изготовлена из нихрома с поперечным сечением 0,2 мм^2 и длиной 2,5 м. Какова мощность утюга, если он рассчитан на 220 В?
5. При прохождении какой силы тока через проводник с сопротивлением 50 Ом в течение 10 минут выделится 120 кДж теплоты?

§ 35 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. В цепи электродвигателя, подключенного к сети с напряжением 220 В, сила тока равна 3 А. Какую полезную работу выполнит двигатель за 1 час, если его коэффициент полезного действия (КПД) 80%?

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$I = 3$ А $U = 220$ В $t = 1$ ч $= 3600$ с $\eta = 80\%$. *Найти:* $A_{полез} = ?$	$A_{общ} = I\,U\,t$ $\eta = \frac{A_{полез}}{A_{общ}} \cdot 100\%$.	$A_{общ} = 3$ А $\cdot 220$ В $\cdot 3\,600$ с $= 2\,376\,000$ Дж. $A_{полез} = \frac{2376000\text{ Дж} \cdot 80\%}{100\ \%} = 1900800\text{ Дж} \approx$ $\approx 1{,}9$ МДж. *Ответ:* $A_{полез} \approx 1{,}9$ МДж.

Задача 2. Электронагреватель мощностью 1,2 кВт и электрическая лампочка мощностью 15 Вт подключены к сети параллельно. Во сколько раз больше электрической энергии расходуется электронагревателем, чем лампочкой?

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$P_1 = 1{,}2$ кВт $= 1200$ Вт $U = 220$ В $P_2 = 15$ Вт. *Найти:* $\frac{W_1}{W_2} = ?$	$W_1 = P_1\,t$; $W_2 = P_2\,t$; $\frac{W_1}{W_2} = \frac{P_1 t}{P_2 t} = \frac{P_1}{P_2}$.	$\frac{W_1}{W_2} = \frac{1200}{15} = 80$ раз. *Ответ:* $\frac{W_1}{W_2} = 80$ раз.

Задача 3. Потребители, сопротивление которых равно 20 Ом и 30 Ом, соединены параллельно. Какую работу выполнил второй потребитель, когда первый потребитель за определенное время выполнил работу в 240 Дж?

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$R_1 = 20$ Ом $R_2 = 30$ Ом $A_1 = 240$ Дж $t_1 = t_2 = t$. *Найти:* $A_2 = ?$	$U_1 = U_2 = U$ $A_1 = \frac{U^2}{R_1} \cdot t;\ A_2 = \frac{U^2}{R_2} \cdot t;$ $A_2 = \frac{A_1 R_1}{R_2}.\ [A_2] = \frac{\text{Дж} \cdot \text{Ом}}{\text{Ом}} = \text{Дж}.$	$A_2 = \frac{240 \cdot 20}{30}$ Дж = 160 Дж. *Ответ:* $A_2 = 160$ Дж.

Упражнение 20

1. Электрический чайник, подключенный к сети с напряжением 220 В, имеет потребительскую мощность 1,1 кВт. Какой ток проходит через чайник при его подключении к сети?
2. Через спиральный провод с сопротивлением 50 Ом проходит ток 4 А. Какое количество теплоты выделяется в спирали в течение 2 часов?
3. Какое количество теплоты выделяет за час электронагреватель с сопротивлением 60 Ом, подключенный к сети с напряжением 220 В?
4. Электронагреватель мощностью 2,2 кВт подключен к сети с напряжением 220 В. Какой величины ток проходит через него?
5. Спираль утюга длиной 2 м изготовлена из нихрома, а площадь его поперечного сечения равна 0,1 мм^2. Какова мощность утюга, если он рассчитан на напряжение 220 В?
6. Два электронагревателя с сопротивлением 200 Ом и 300 Ом подключены параллельно к электрической сети. Сравните количество теплоты, выделенное ими в одно и то же время.
7. Потребительская мощность электрического чайника, рассчитанного на 220 В, равна 550 Вт. Какое количество тока пройдет через чайник и чему равно его сопротивление при подключении его к сети?
8. Через провод, подсоединенный к электрическому двигателю, проходит ток 0,5 А, напряжение в нем 20 В. Какую работу выполнит двигатель за 1 час? КПД двигателя равен 80%.
9. Потребители с сопротивлениями 50 Ом и 16 Ом соединены последовательно. Какую работу выполнит первый потребитель за определенное время, если второй потребитель за это время выполняет работу, равную 400 Дж?

§ 36

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНА ДЖОУЛЯ–ЛЕНЦА

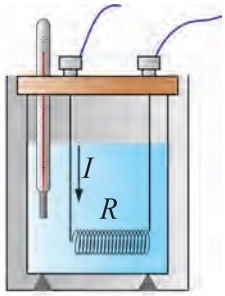


Рис. 89

В первой половине XIX века английским ученым Д. Джоулем и русским ученым Е. Ленцем был открыт закон, определяющий количество теплоты, выделяемой проводником при проходе тока по нему. На рисунке 89 показано устройство для практической проверки этого закона.

Когда через проводник с сопротивлением R проводят ток I, он выделяет теплоту Q. Если увеличить время прохождения тока, проходящего через спираль, то количество выделяемой теплоты также увеличится. Опытным путем доказано, что увеличение сопротивления проводника (спирали) или силы тока, проходящего по нему, находится в следующем соотношении:

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



Рис. 90

Этот закон имеет большое практическое значение и в том отношении, что он показывает превращение электрической энергии в тепловую. Ниже мы ознакомимся с оборудованием, работающим на основе этой закономерности. Принцип работы всех электрических нагревательных приборов основан на нагревании проводников при проведении электрического тока. Во всех этих приборах устанавливается нагревательный элемент с различной конфигурацией (*рис. 90*).

Элемент накаливания изготовляется из проводника с большим удельным сопротивлением, устойчивым к температуре 1000–1200 °С.

Тепловое воздействие тока широко используют в быту в электронагревательных приборах, таких как электронагреватель (плита), утюг, электрический чайник, а также в электросварочных аппаратах.

Одним из устройств, основанных на таком принципе работы, является утюг. Когда нагревается элемент накаливания, металлическая пластина тоже нагревается. Металлическая пластина изготовляется тяжелой, нижняя часть – гладкой. До изобретения утюгов, используемых сегодня, в качестве

нагревателя металлических пластин утюгов использовали раскаленный уголь *(рис. 91 а)*.

Современные утюги нагреваются посредством электрической энергии *(рис. 91 б)*, с помощью элемента накаливания, расположенного внутри металлической оболочки, – трубы.

Некоторые электронагревательные приборы, широко применяемые в повседневном быту, изображены на рисунке *92*. В последнее время в качестве охлаждающих и обогревающих приборов широко применяются кондиционеры *(рис. 92 а)*. В нагревательных установках элемент накаливания непосредственно нагревает жидкость, а жидкость передает свою теплоту через тонкую металлическую оболочку в окружающую среду *(рис. 92 б)*.



Рис. 91



Рис. 92

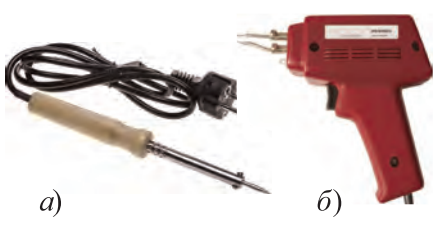
Электрический паяльник

При ремонте электрических приборов широко применяются электрические паяльники, общий вид которых показан на рисунке 93 *а, б.*

Раскаленный кончик паяльника способен расплавить сплав припоя, с помощью которого соединяют оборванные контакты в электроприборах.

Работы по разрезанию и сварке толстых металлов выполняются за счет количества теплоты, выделяемой из них при проведении через них большого количества тока. На основе данного принципа можно производить сварку металлов. При этом на поверхности металла и на конце сварочного электрода образуют сильную электрическую дугу. Высокая температура, возникшая в электрической дуге, расплавляет металлы (*рис. 93 в*).

Еще одним прибором, основанным на выделении теплоты при подаче электрического тока проводником, является кипятильник (*рис. 94*). Внутри электрокипятильника имеется тонкая нихромовая спираль, внешняя часть которой покрыта не проводящим ток, но хорошо проводящим тепло порошком. Порошок покрыт тонким водоустойчивым металлом. При использовании кипятильника нужно следить, чтобы нагреватель обязательно находился в погруженном в воду состоянии, в противном случае при подключении нагревателя к электрической сети он мгновенно лопнет.



а) *б*) *в*)

Рис. 93



Рис. 94

В настоящее время для подогрева, кипячения воды и в обогревательных системах жилищ широко используются разнообразные электронагреватели.

1. С помощью воды и раскалённого угля можно нагреть основание утюга. Почему в утюгах не применяются водяные обогреватели?
2. Из каких элементов состоит электрический чайник (кипятильник)?
3. В каких целях используется электропаяльник? Объясните принцип его работы.

37-§ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И СОЕДИНЕНИЯ В ЖИЛИЩАХ

Электрическая цепь в жилище

Электрический ток из электрических станций, вырабатывающих электрическую энергию, поступает в жилища, производственные предприятия и ко всем потребителям. Электрические потребители подсоединены параллельно к общей электрической цепи с напряжением 220 В.

Все электрические потребители в жилищах подсоединены между собой параллельно.

На рисунке *95* изображены образцы электрической цепи и схемы жилища.

Предохранители

В жилищах в качестве средств безопасности в местах соединения электрической цепи к общей электрической цепи подсоединяют предохранители. Они подключаются к общим проводам, идущим к электрической цепи жилища.

Задача предохранителя состоит в отключении цепи при превышении определенного значения силы тока.

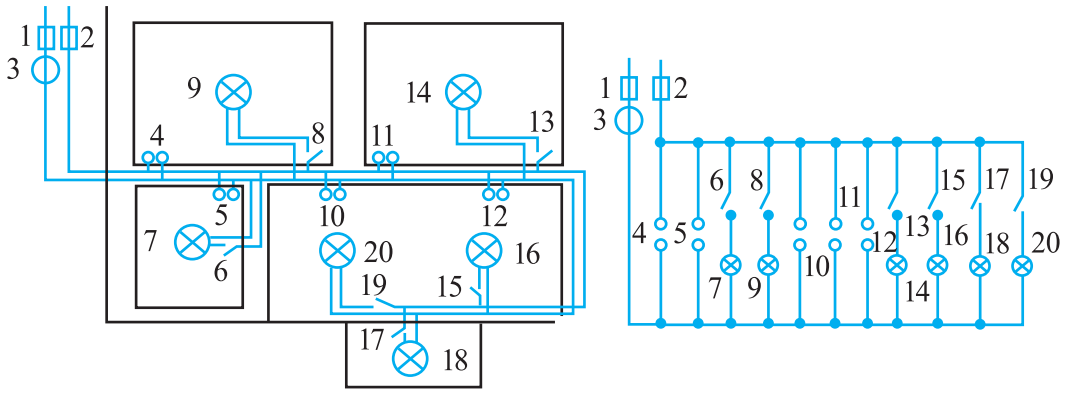
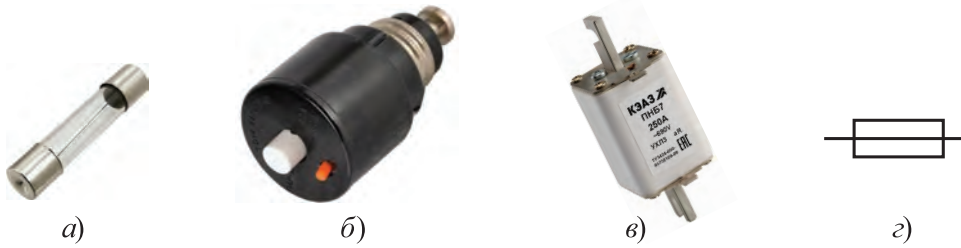


Рис. 95

В устройствах, работающих на электричестве, таких как радио, телевизор, а также в автомобилях используются плавкие предохранители. В плавком предохранителе тонкая проволока натянута по оси стеклянной трубки, на концах имеются металлические наконечники, к которым припаяны концы проволоки. Трубка вставляется в специальный держатель (*рис. 96 а*).



а) *б*) *в*) *г*)

Рис. 96

Если электрическое напряжение в сети превышает 220 В или из-за неисправностей внутри электроприбора пройдет ток больше установленной величины, тонкая проволока в предохранителе мгновенно расплавляется и обрывается, и поступление тока в электрический прибор прекращается. Это предохраняет прибор от поломки. Установив в прибор новый предохранитель, его можно снова использовать в повседневном быту. В технике также используются электромагнитные предохранители, работающие под воздействием тепла, контактные и возобновляемые (*рис. 96 б, в*). Обозначение их на электрической схеме показано на рисунке *96 г*.

Подключение электрической цепи жилища к сети

На уличных электрических столбах имеются как минимум два провода, один из них нейтральный. В нейтральном проводе электрическое напряжение отсутствует, он заземлен.

Нижний провод электрического столба является *нейтральным*.

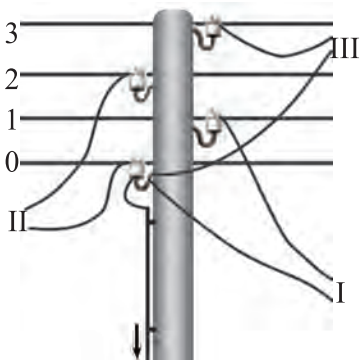


Рис. 97

Допустим, что на столбе имеется четыре провода (*рис. 97*). Напряжение между нижним нейтральным проводом и остальными тремя проводами равно 220 В, поэтому один провод квартиры подключается к нейтральному проводу, а второй – к одному из остальных проводов. Например, квартира I подключается к проводу 0 и 1, квартира II – к проводу 0 и 2, квартира III – к проводам 0 и 3. При таком подключении напряжение в сети каждой квартиры будет равно 220 В. В случае же подключения электрической цепи квартиры по ошибке к проводам 1 и 2, 2 и 3 или 1 и 3 все электроприборы, подключенные к сети, мгновенно выйдут из строя, так как напряжение между проводами столба составит 380 В.



Рис. 98

Определение наличия напряжения

Для определения наличия электрического напряжения в проводниках, электроприборах, определения среди проводников нейтрального используют различные приборы, простейший из которых – отвертка-индикатор (*рис. 98*).

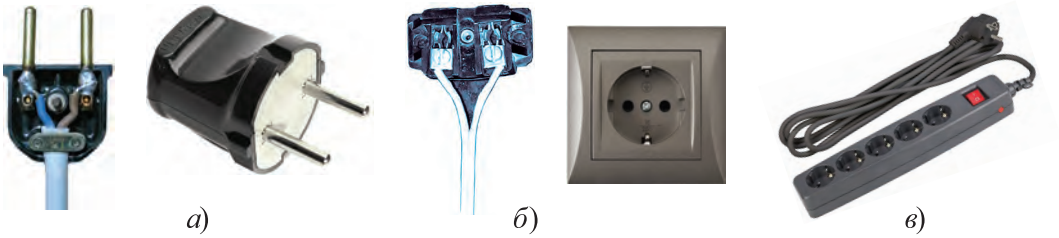
В середине отвертки-индикатора установлена неоновая лампа (*1*) . Одна сторона лампы подключена к концу (*2*) отвертки-индикатора, другая – к концу ручки (*3*).

Для определения наличия напряжения в проводнике нужно положить указательный палец на конец рукоятки и прикоснуться наконечником отвертки-индикатора к проводнику. При наличии на проводнике напряжения ток проходит через цепь проводник–лампочка–человек, и лампочка на отвертке-индикаторе загорается. Одну часть напряжения лампочка получает от проводника с большим сопротивлением, другую – от человека через большой палец. У человека напряжение составляет несколько вольт, но его достаточно для загорания лампочки на отвертке-индикаторе. Если на проверяемом проводнике напряжение отсутствует, лампочка на отвертке-индикаторе не загорается.

Подключение вилки и розетки

Один из проводов, подключенных к электрической цепи квартиры от столба на улице, нейтрален, а во втором имеется напряжение. Мы уже гово-

рили о том, что между этими проводами напряжение равно 220 В. Оба провода, подключенные к электрической цепи квартиры, во всей частях квартиры располагаются рядом, параллельно друг другу и нигде не должны соприкасаться. В противном случае произойдет короткое замыкание.



а) *б*) *в*)

Рис. 99

Электрические приборы подключаются к электрической цепи квартиры не непосредственно, а через вилку и розетку. Внутри шнура имеются два изолированных друг от друга провода. Вилка прикрепляется к шнуру винтами (рис. *99 а*). Для этого очищается изоляция длиной 10–15 мм на конце каждого провода, затем их концы загибаются в кольцо, с помощью винтов укрепляются к вилке и запаиваются. Для подсоединения розетки электрические провода квартиры необходимо отключить от сети. Это осуществляется с помощью автоматических предохранительных ключей, установленных на электросчетчике.

При подключении розетки выполняется работа, указанная выше. Розетка, соединенная с проводами, закрепляется в нужном месте (*рис. 99 б*).

В некоторых случаях электроприборы подключаются к розетке через удлинители. Один конец удлинителя снабжен вилкой, а другой выполняет функцию розетки. Второй конец удлинителя может иметь не одну, а несколько розеток (*рис. 99 в*).

Подключение патрона и переключателя

Для соединения частей патрона концы обоих проводов очищаются от изоляции. Часть *1* патрона выкручивается и отделяется от части *2* (*рис. 100*). Концы провода подключают к *3* части патрона и закрепляют винтами, которую затем устанавливают на место, а часть *1* вкручивается в часть *2* и закрепляется.

При соединении вилки, розетки и патрона не обращают внимания на то, какой проводник нейтральный, а какой – с напряжением.

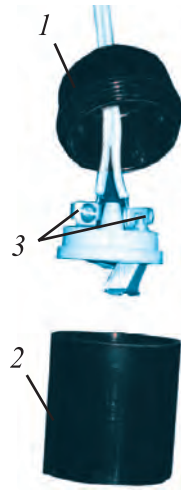


Рис. 100

Если один из проводников, подключенных к лампочке, отключить, то лампочка погаснет. Переключатель выполняет функцию переключения. Переключатель можно подключить и к проводнику с напряжением, ведущему к лампочке, и к нейтральному проводнику.

При подключении вилки, розетки, патрона и переключателя очищенные от изоляции части не должны соприкасаться, необходимо соблюдать правила безопасности.



1. Почему в квартире электрические потребители соединяют не последовательно, а параллельно?
2. Проанализируйте электрическую цепь квартиры.
3. Расскажите об устройстве и принципе работы плавких предохранителей, применяемых в радио, телевизорах, автомашинах и других электроприборах.
4. Как подсоединяется вилка к шнуру электроприборов?
5. Объясните, как подключается розетка к электрической цепи квартиры.
6. Объясните подключение патрона электрической лампочки и переключателя.



Начертите схему электрической цепи своей квартиры. Проанализируйте ее и сделайте вывод. Взяв розетку, вилку, патрон и переключатель, поупражняйтесь в соединении их с проводами, не подключаясь к электрической цепи.

§ 38 МЕРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Вокруг нас множество электрических сетей, в повседневной жизни мы постоянно сталкиваемся с электроприборами. Неполадки в них, неосторожность при пользовании ими могут стать причиной нашей безопасности.

Короткое замыкание

Провода в электрической цепи рассчитаны на определенную силу тока. Если сила тока в цепи превысит допустимую величину, то провода могут нагреться, а покрывающий их изоляционный материал – расплавиться. Если в помещении одновременно включить мощные электроприборы, например электроплиту, электронагреватель, электрический чайник, утюг, то сила тока в электрической цепи резко возрастет. В результате изолированные провода сильно нагреются, и может произойти короткое замыкание. При коротком замыкании внешнее сопротивление потребителя будет равно нулю.

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

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	4	4	20	15
2	1	6	4,5	5	10	31	25
3	1,5	10	7	6	16	43	35

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



Рис. 101

Тело человека хорошо проводит электрический ток. Напряжение электрической сети выше 42 В считается опасным для организма человека.

При работе с электрическими приборами из-за неосторожности человека может ударить током, поэтому нужно строго соблюдать меры электробезопасности:

1. Провода электрических сетей, находящиеся на улице, не изолируются. Нельзя трогать провод оборванной электрической сети. Оберегайте других от этого и остерегайтесь сами.

2. Провода электрической цепи жилища обычно находятся под штукатуркой. При забивании гвоздя в стену следует убедиться, что в этом месте не проходит электрический провод.

3. В розетках и патронах электрических лампочек помещений всегда имеется напряжение. Запрещается втыкать железные предметы в отверстия розеток или внутрь патрона без лампочки. В домах, где есть дети младшего возраста, розетки целесообразно заткнуть специальным пластмассовыми приспособлениями.

4. При отключении тока в общей электрической сети перед ремонтом электрической сети жилища следует обязательно отключить ток от сети.

5. В некоторых случаях напряжение может отсутствовать только в одной фазе общей сети. Обнаружив, что лампочка не горит, нельзя пытаться ремонтировать открытое место провода. Если человек не изолирован от земли, его ударит 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 некоторых случаях удара током может и не быть, даже если держать одну фазу провода с током. Для этого человек должен быть изолирован от земли, т.е. под его ноги следует положить не проводящий ток материал, и никакая часть его тела не должна соприкасаться с землей.

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 электрического тока мышцы кистей рук 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.

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 забиванием гвоздя в стену?
4. Почему опасно засовывать металлические предметы в отверстия розетки и в патроны?

5. Что необходимо предпринять перед тем, как приступать к устранению неисправности в электрической цепи жилища?
6. Какую первую помощь оказывают человеку при ударе электрическим током?

§ 39 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. Длина электрической линии передачи электрического тока алюминиевого провода с поперечным сечением 150 мм^2 составляет 120 км. Чему равно напряжение в линии, если сила передаваемого тока равна 160 А? Удельное сопротивление материала провода равно $\rho = 2{,}8 \cdot 10^{-8}$ Ом · м.

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$S = 150$ мм$^2 = 1{,}5 \cdot 10^{-4}$ м^2 $l = 120$ км $= 12 \cdot 10^4$ м $\rho = 2{,}8 \cdot 10^{-8}$ Ом · м $I = 160$ А. *Найти:* $U = ?$	$R = \rho \frac{l}{S}$; $U = I \cdot R = I \cdot \rho \frac{l}{S}$. $[U] = \frac{\text{А} \cdot \text{Ом} \cdot \text{м} \cdot \text{м}}{\text{м}^2} = \text{А} \cdot \text{Ом} = \text{В}$.	$U = 160 \cdot 2{,}8 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{12 \cdot 10^4}{1{,}5 \cdot 10^{-4}}$ В $= 3584$ В. *Ответ:* $U = 3584$ В.

Задача 2. Электрическая цепь жилища подключена к электрической сети с напряжением 220 В через алюминиевый провод с поперечным сечением 1,5 мм^2. Выдержит ли такое поперечное сечение провод, если в жилище 3 лампочки с мощностью 100 Вт каждая, холодильник с мощностью 100 Вт, телевизор с мощностью 300 Вт и утюг с мощностью 1 кВт одновременно подключены к электрической цепи?

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$S = 1{,}5$ мм$^2 = 1{,}5 \cdot 10^{-6}$ м^2 $U = 220$ В $P_1 = P_2 = P_3 = 100$ Вт $P_4 = 100$ Вт $P_5 = 300$ Вт $P_6 = 1$ кВт $= 1000$ Вт $I_{(1,5\ max)} = 7$ А. *Найти:* $I = ?$	$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6$; $I = \frac{P}{U}$.	$P = 3 \cdot 100$ Вт $+ 100$ Вт $+ 300$ Вт $+ 1000$ Вт $= 1700$ Вт $I = \frac{1700\ \text{Вт}}{220\ \text{В}} = 7{,}73$ А · *Ответ:* 7,73 А > 7 А, не выдержит такую силу тока.

Упражнение 21

1. В электрическую цепь жилища одновременно можно подключить 2 лампочки мощностью 100 Вт каждая, 2 лампочки мощностью 150 Вт каждая, холодильник мощностью 100 Вт, телевизор мощностью 300 Вт, утюг мощностью 1,5 кВт, электронагреватель мощностью 2 кВт. Каким должно быть минимальное поперечное сечение медного провода, подключаемого к сети, чтобы выдержать силу тока данных электрических приборов с такими мощностями?

2. Среднее сопротивление человеческого тела примерно 10 кОм. Какой ток пройдет через человека, если он случайно ухватился за открытый провод мощностью 42 Вт, находясь в мокром месте?

3. На плавком предохранителе, вставленном в телевизор мощностью 400 Вт, рассчитанный на напряжение 220 В, написано «2 А». Временами напряжение в сети превышает 220 В. При каком значении напряжения в сети предохранитель расплавится?

4. Потребители, сопротивление которых 4,5 Ом и 6 Ом, соединены параллельно. Какое количество теплоты выделится за определенное время от второго потребителя, если от первого потребителя за это же время выделилось 30 Дж теплоты?

5. Потребители с сопротивлением 12 Ом и 15 Ом соединены последовательно. Какое количество теплоты выделяется от первого потребителя, если от второго потребителя цепи выделяется 8 Дж теплоты?

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ ГЛАВЫ III

1. С помощью какого выражения вычисляется выполненная работа электрического тока?

А) $F \cdot s$ Б) $I\ U\ t$; В) $I^2\ R$; Г) U^2/R.

2. Какую работу (Дж) выполнит двигатель вентилятора, если через электрический двигатель вентилятора с напряжением 220 В в течение 30 с прошла сила тока, равная 0,1 А?

А) 660; Б) 6600; В) 660; Г) 6,6.

3. Каким прибором можно определить выполненную работу электрического тока?

А) амперметр; Б) электрический счетчик; В) вольтметр; Г) гальванометр.

4. Скольким ваттам равняются 10 гектоватт?

А) 0,1 Вт; Б) 100 Вт; В) 10000 Вт; Г) 1000 Вт.

5. Потребитель с сопротивлением 150 Ом подключен к источнику с напряжением 220 В. Сколько энергии (Дж) расходует потребитель в течение 0,5 минуты?

А) 9680; Б) 6400; В) 8600; Г) 7860.

6. Мощность электрического двигателя 5,7 кВт, сила тока в нем 15 А. С каким напряжением он подключен?

А) 380 В; Б) 220 В; В) 400 В; Г) 350 В.

7. При каком значении силы тока (А) части цепи, где сопротивление 5 Ом, за 10 с выделится 50 Дж энергии?

А) 2; Б) 1; В) 0,5; Г) 1,2.

8. Сколько тепла выделяется в течение 2 часов в проводнике с сопротивлением 60 Ом, подключенного к цепи с напряжением 120 В?

А) 1728 кДж; Б) 2075 кДж; В) 12,54 кДж; Г) 178,8 кДж.

9. Электрический нагреватель, подключенный к сети, в течение 30 минут потребил 1620 кДж энергии. Каково было электрическое сопротивление (Ом) нагревателя, если через него прошел ток 3 А?

А) 80; Б) 120; В) 10; Г) 100.

10. Два электрических нагревателя с сопротивлением 20 Ом и 40 Ом параллельно подключены к сети тока. Сравните количество теплоты, выделенное ими в одно и то же время.

А) в первом – в 2 раза больше; Б) во втором – в 2 раза больше;

В) в обоих – одинаково; Г) в первом – в 2 раза меньше.

11. Два электрических нагревателя с сопротивлением 400 Ом и 200 Ом последовательно подключены к сети тока. Сравните количество теплоты, выделенное в одно и то же время.

А) в первом – в 2 раза меньше; Б) в обоих – одинаково;

В) в первом – в 2 раза больше; Г) во втором – в 2 раза больше.

12. Электрическая лампочка с потребительской мощностью 20 Вт подключена к сети с напряжением 220 В. Чему равно сопротивление (Ом) нити накаливания лампочки?

А) 2280; Б) 2420; В) 3640; Г) 4400.

13. Потребители, сопротивление которых 30 Ом и 75 Ом, соединены последовательно. С какой мощностью (Вт) работает первый потребитель, если второй работает с мощностью 300 Вт?

А) 75; Б) 150; В) 120; Г) 60.

14. К электрической цепи последовательно подсоединены медный и нихромовый провода с одинаковыми поперечными сечениями и длиной. Какой из них больше нагревается?

А) медный; Б) оба – одинаково; В) они не нагреваются; Г) нихромовый.

15. Как изменится сопротивление проводника, если его длина и поперечное сечение увеличатся в 2 раза?

А) увеличится в 2 раза; Б) уменьшится в 4 раза;

В) не изменится; Г) увеличится в 4 раза.

16. Потребители с сопротивлением 4 Ом и 12 Ом соединены параллельно. Какая мощность (Вт) выделяется вторым потребителем, если первым выделяется мощность, равная 3,6 Вт?

А) 36; Б) 1,2; В) 2; Г) 10,8.

ВАЖНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ III

Работа электрического тока	Работа, выполненная электрическим током в потребителе в течение определенного времени, равна произведению силы тока, проходящего через него, на напряжение и время прохождения тока: $A = I\,U\,t$.
Израсходованная энергия	Количественно равна работе, выполненной электрическим током: $W = I\,U\,t$.
Мощность электрического потребителя	Мощность электрического потребителя равна произведению силы тока, проходящей по нему, на напряжение, переданное ему: $P = I\,U$.
Закон Джоуля–Ленца	Количество теплоты, выделенное проводником при прохождении электрического тока, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления проводника и времени, израсходованного на прохождение этого тока: $Q = I^2\,R\,t$.
Коэффициент полезного действия потребителя	Отношение полезной работы, выполненной электрическим током, на общую работу, выполненную током, называется коэффициентом полезного действия электрического потребителя: $\eta = \frac{A_{полез}}{A_{общ}} \cdot 100\%$.
Короткое замыкание	Соприкосновение оголенных участков двух электрических проводов, идущих из различных полюсов (фаз), или резкое повышение тока в результате стремления к нулю сопротивления потребителя называется коротким замыканием.
Предохранитель	Назначение предохранителей состоит в немедленном отключении цепи в случае повышения силы тока в цепи сверх нормы.
Удар током	Человеческое тело хорошо проводит электрический ток. Электрическая сеть с напряжением выше 42 В считается опасной для организма человека.

ГЛАВА IV
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

По свойству проведения электрического тока вещества делятся на несколько видов: проводники, полупроводники и диэлектрики. Вещества в различных агрегатных состояниях, т.е. в твердом, жидком или газовом состояниях могут проводить или не проводить электрический ток. В данной главе мы подробно остановимся на изучении природы проводимости электрического тока металлами, электролитами и газами.

§ 40 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В МЕТАЛЛАХ

Беспорядочное движение свободных электронов

Атомы твердых тел, в частности металлов, образуют ***кристаллическую решетку*** упорядоченной периодической структуры. В кристаллической решетке точки расположения атомов называются ***узлами***.

В атомах металлов электроны, расположенные на внешней орбите, связаны с ядром слабо. Такие электроны отделяются от своих атомов и становятся свободными электронами, а атомы превращаются в положительные ионы.

Ион – это атом с лишним или недостающим электроном.

Металлы имеют строение в виде кристаллической решетки, в узлах которой расположены ионы с положительным зарядом. 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. Свободно движущиеся электроны, как молекулы газа, находятся в беспрерывном хаотическом движении (*рис. 102*). В 1 $см^3$ металла находится примерно 10^{22}–10^{23} свободно движущихся электронов.

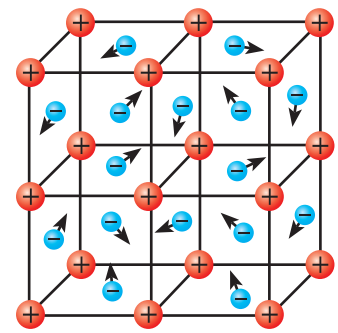


Рис. 102

Движение свободных электронов в электрическом поле

Если концы проводника подключить к положительному и отрицательному полюсам электрического источника, то между концами проводника об-

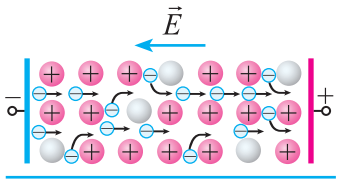


Рис. 103

разуется электрическое поле. Под воздействием этого поля свободные электроны движутся в сторону положительного поля источника (*рис. 103*), а атомы, превратившиеся в положительные ионы металлов, остаются на своем месте без движения. В результате из-за упорядоченного движения электронов в проводнике образуется электрический ток.

Электрический ток в металлах есть результат упорядоченного движения свободных электронов.

Движение свободных электронов в металлах

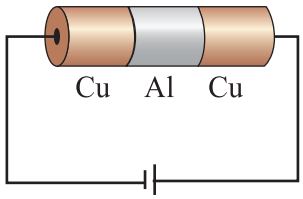


Рис. 104

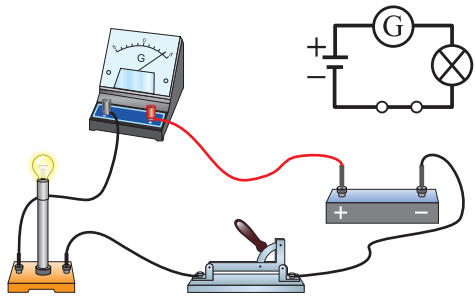
Электропроводность металлов в 1901 году открыл немецкий физик К. Рикке. Его опыт состоит из следующего. Взяв три сильно отшлифованных цилиндра – 2 медных и 1 алюминиевый, он изменил массу каждого из них, затем, плотно поместив их, образовал электрическую цепь (*рис. 104*). В течение одного года непрерывно проводил через них ток в одном направлении. В конце опыта при измерении было определено, что их массы не изменились. Рикке на основании результатов опыта пришел к следующим выводам: 1) при протекании тока через металл перемещение зарядов не вызывает химического процесса; 2) существуют носители тока, общие для всех металлов, ими являются свободные электроны.

Электропроводность металлов впоследствии была доказана опытами Л.И. Мандельштама, Н.Д. Папалекси, Р. Толмена и Т. Стюарта.

Направление электрического тока

Прохождение тока по электрической цепи можно определить с помощью гальванометра или амперметра. Соединим гальванометр с электрической цепью, как показано на рисунке *105 а*. При включении цепи стрелка гальва-

а)



б)

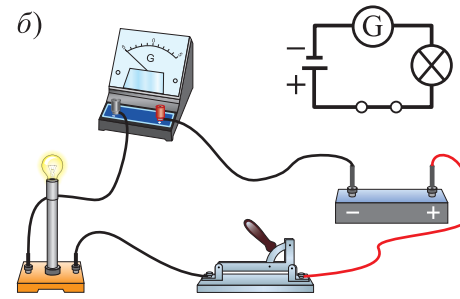


Рис. 105

нометра отклоняется вправо от цифры 0. Значит, через проводник проходит ток. Это можно увидеть также по загоревшейся лампочке, подсоединенной к цепи.

Теперь поменяем местами полюса на концах проводника, соединенных с источником тока. В этом случае лампочка тоже горит, но стрелка гальванометра отклоняется влево от нуля (*рис. 105 б*).

Этот опыт показывает, что электрический ток имеет направление.

Электрический ток имеет направление. За направление в электрической цепи принято упорядоченное направление движения положительно заряженных частиц.

Носителями заряда в электрической цепи являются электроны, которые движутся по проводнику от отрицательного полюса источника тока в сторону положительного источника. Однако в тот период, когда было принято указанное направление тока, науке еще ничего не было известно об электронах. Поэтому в электрической цепи за направление электрического тока было принято упорядоченное движение положительно заряженных частиц.



1. Как называются свободные электроны в металлах?
2. Как движется свободный электрон в электрическом поле?
3. Почему при проведении через металлы большого количество тока их масса не меняется?
4. Как можно узнать, что ток имеет направление?
5. Направление движения каких частиц принято в качестве направления электрического тока в проводниках?

§ 41 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ЖИДКОСТЯХ

Из предыдущего параграфа вы узнали о том, что электрический ток в металлах создают свободные электроны. Теперь ознакомимся с тем, какие частицы создают электрический ток в жидкостях.

Ионная связь

На уроках химии вы узнали об ионной связи между атомами и молекулами некоторых веществ. В качестве примера ионной связи можно привести поваренную соль – хлорид натрия (NaCl). В атоме натрия имеются 11 электронов, один из которых находится на внешней электронной оболочке (*рис. 106*).

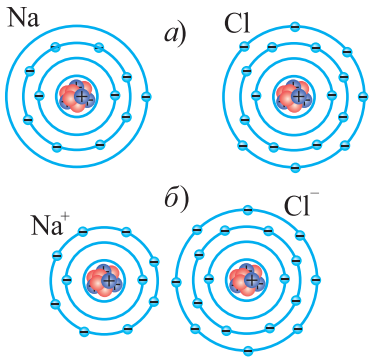


Рис. 106

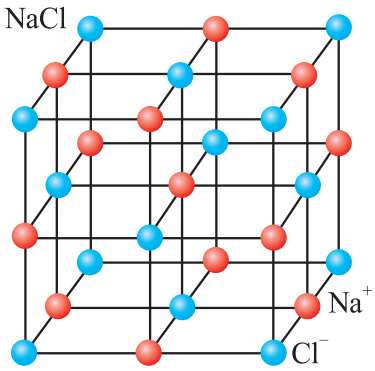


Рис. 107

Любой отдельно взятый атом всех элементов Периодической системы химических элементов является электронейтральным, так как число отрицательно заряженных электронов, вращающихся вокруг ядра, равно числу положительно заряженных протонов в ядре атома. Поэтому атомы Na и Cl, отдельно взятые, электрически нейтральны.

Для заполнения внешней электронной оболочки атома хлора недостает 1 электрона, поэтому при приближении атомов хлора и натрия друг к другу происходит обмен электронами. Атом хлора притягивает 1 электрон из внешней электронной оболочки атома натрия, в результате чего атом хлора превращается в отрицательно заряженный ион хлора (Cl^-), а атом натрия, потеряв свой 1 электрон, – в ион натрия (Na^+) с положительным знаком:

$$Na - e^- \rightarrow Na^+ \quad \text{и} \quad Cl + e^- \rightarrow Cl^-.$$

Разноименно заряженные ионы натрия и хлора, притягиваясь друг к другу, образуют кристаллическую решетку NaCl *(рис. 107)*.

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

Электролиты

Некоторые жидкости проводят электрический ток, другие не обладают этим свойством. Электропроводность жидкости можно определить с помощью простого прибора, изображенного на рисунке *108*. Этот прибор состоит стеклянного сосуда, опущенных в него двух угольных стержней – электродов, источника тока, электрической лампочки и ключа. Электрод, соединенный с положительным полюсом электрического источника, называется ***анодом***, а соединенный с отрицательным полюсом – ***катодом***.

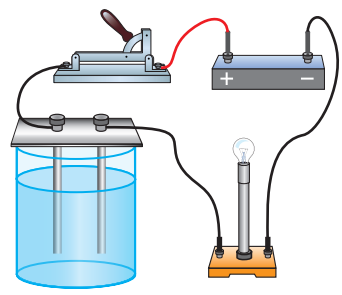


Рис. 108

Нальем в стеклянный сосуд воду и включим ток. При этом лампочка не загорится. Значит, дис-

тиллированная вода не проводит электрический ток (*рис. 108*).

Отключим ключ и, добавив поваренную соль, образуем раствор хлорида натрия. Затем включим ток и увидим, что лампочка загорелась. Значит, раствор хлорида натрия хорошо проводит ток. В чем причина?

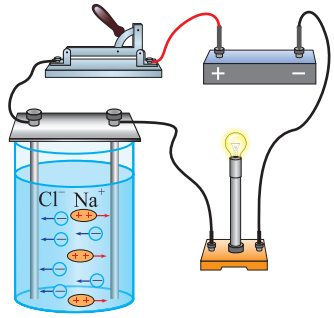


Рис. 109

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. При включении тока ионы Na^+ движутся в сторону катода, а ионы Cl^- – в сторону анода (*рис. 109*). В результате по цепи проходит ток.

Таким образом, электрический ток в жидких растворах образует положительно и отрицательно заряженные ионы.

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

Есть и такие вещества, которые в твердом состоянии не проводят электрический ток. Однако при растворении их в жидкости или приведении в жидкое состояние под воздействием теплоты они проводят ток.

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

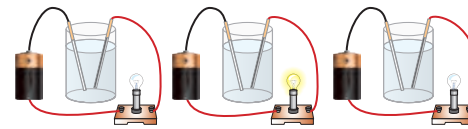
Чем больше электролитов в ионе, тем лучше он проводит электрический ток. При растворении NaCl в воде он полностью распадается на ионы Na^+ и Cl^-.

1. Что такое ион? Как образуются электролиты?
2. Какая связь называется ионной? Объясните ее на примере хлорида натрия.
3. Что такое электролит? Как он образуется?
4. Какие частицы создают электрический ток в электролите?
5. Чему равно значение наименьшего заряда, который может перемещаться при прохождении тока через электролит?

Получение электролита и наблюдение прохождения электрического тока через него

Необходимые приборы: гальванический элемент, стакан, 2 металлических гвоздя, лампочка, поваренная соль, сахарный песок, лимон и соединительные провода.

Опустим в стакан два гвоздя электрода. Соберем электрическую цепь, как показано на рисунке. Налив в стакан чистую воду, увидим, что лампочка не загорелась. Если в воду добавить немного соли, то в цепи появится электрический ток и лампочка загорится. Повторите опыт, добавив в чистую воду сахарный песок. Также понаблюдайте опыт, добавив в чистую воду лимонный сок. На основе наблюдения процесса запишите свои выводы.



вода *соленая вода* *вода с сахаром*

§ 42 ЭЛЕКТРОЛИЗ. ПЕРВЫЙ ЗАКОН ФАРАДЕЯ

Явление электролиза

Положим медный купорос ($CuSO_4$) в стеклянный сосуд с электродами, заполненный водой (электролитная ванна), и образуем электролит. При этом медный купорос распадается на ионы (Cu^{2+}) и (SO_4^{2-}). Ионы Cu^{2+} будут двигаться в сторону катода K, а ионы SO_4^{2-} – в сторону анода A. При замыкании цепи через электролит начнет проходить ток *(рис. 110).* В результате на поверхности катода будут накапливаться атомы Cu. 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*.

Первый закон Фарадея

Опыты, проведенные М. Фарадеем, показали, что масса вещества, выделяющегося на электродах, зависит от числа ионов, двигающихся в сторону

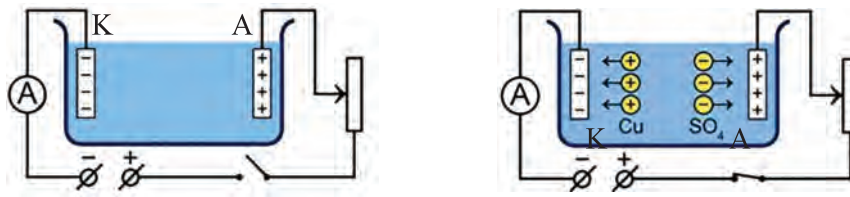


Рис. 110

электродов, т.е. от количества заряда, проходящего через электролит. Первый закон Фарадея выражает зависимость между массой вещества, выделяющегося во время электролиза, и 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:

$$m = k\,q. \qquad (1)$$

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

Электрохимический эквивалент вещества – это величина, равная по численному значению массе вещества, выделившейся при прохождении заряда 1 кулон через электролит:

$$k = \frac{m}{q}; \quad [k] = \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}.$$

Электрохимический эквивалент различных веществ определен на опыте, например, для серебра он 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.

Выразив количество заряда, прошедшего через электролит, через силу тока (I) и время прохождения тока (Δt), т.е. учитывая, что $q = I\Delta t$, для массы вещества, выделенной в электролите, получим следующее выражение:

$$m = k\,I\,\Delta t. \qquad (2)$$

Первый закон Фарадея можно проверить на следующем опыте. В три электролитные ванны A, B и C были залиты одинаковые электролиты, и их электроды были соединены друг с другом, как показано на рисунке *111.*

Согласно рисунку, сила тока I_A, протекающая через электролит A, равна сумме сил тока I_B и I_C, протекающих через электролиты B и C: $I_A = I_B + I_C$. Отсюда, согласно формуле (2), $m_A = k\,I_A\,\Delta t$, $m_B = k\,I_B\,\Delta t$ и $m_C = k\,I_C\,\Delta t$, для масс веществ, выделенных на электродах электролитических ванн A, B и C, справедливо отношение $m_A = m_B + m_C$, что подтверждено опытом.

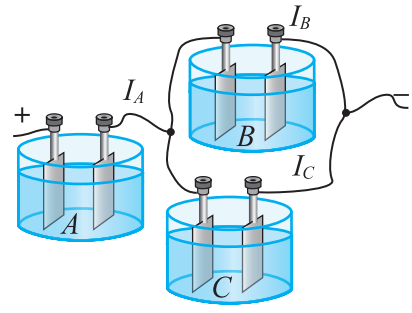


Рис. 111

Пример решения задач

Предмет никелировали в течение 40 минут. При этом на площадь поверхности предмета осело 1,8 г никеля. Найдите силу тока, протекавшего через электролит в процессе никелирования.

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$t = 40$ мин $= 2400$ с $m = 1{,}8$ г $= 1{,}8 \cdot 10^{-3}$ кг $k = 0{,}304 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$.	$m = k\,q = k\,I\,t$; $I = \frac{m}{k\,t}$. $[I] = \frac{\text{кг}}{\frac{\text{кг}}{\text{Кл}}\text{с}} = \frac{\text{Кл}}{\text{с}} = \text{А}$.	$I = \frac{1{,}8 \cdot 10^{-3}}{0{,}304 \cdot 10^{-6} \cdot 2400}\,\text{А} = 2{,}5\,\text{А}$.
Найти: $I = ?$		*Ответ:* $I = 2{,}5$ А.



1. Какое явление называется электролизом?
2. Объясните опыт, проведенный с медным купоросом.
3. Сформулируйте первый закон Фарадея и запишите его выражение.
4. Для чего используется приспособление, изображенное на рисунке 112, и на чем основан принцип работы этого приспособления?
5. Как можно на опыте проверить первый закон Фарадея?

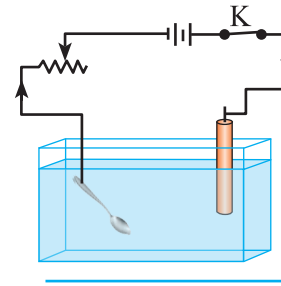


Рис. 112

Упражнение 22

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.
4. При прохождении тока силой 1,6 А в течение 20 минут через электролитную ванну на катоде выделилась медь массой 0,632 г. На основе этих результатов вычислите электрохимический эквивалент меди.

§ 43 ВТОРОЙ ЗАКОН ФАРАДЕЯ

Английский физик М. Фарадей в своих многочисленных опытах через различные электролиты пропускал различное количество тока. Основываясь на результатах измерения массы вещества, выделенного на электродах, в 1833–1834 годах он открыл второй закон электролиза.

Для ознакомления с этим законом вам необходимо будет вспомнить следующие сведения из курса химии для 7 класса:

Валентность (Z)	Молярная масса	Моль
способность атомов химических элементов присоединять определенное количество атомов других элементов.	масса вещества, количество которого равно 1 молю.	1 моль – количество вещества, имеющее число частиц (атомов или молекул), равное числу атомов, содержащихся в 0,012 кг углерода: $\nu = \frac{m}{M}$.

Нальем в три электролитные ванны растворы солей хлорида натрия (NaCl), сульфата меди ($CuSO_4$) и нитрата серебра ($AgNO_3$) соответственно. Электроды, опущенные в электролиты и соединенные последовательно, как показано на рисунке *113*, подключим к источнику тока. При этом на катод первой ванны будут выделяться водород (H_2), а на анод – хлор (Cl_2); на катод второй ванны – медь (Cu), а на анод – кислород (O_2); на катод третьей ванны – серебро (Ag), а на анод – кислород (O_2).

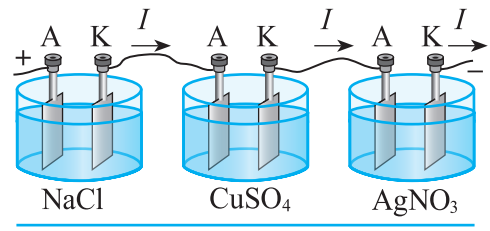


Рис. 113

В результате последовательного соединения ванн сила тока I, проходящего через каждый электролит, будет одинаковой, однако массы натрия, меди и серебра, выделившихся на электродах, различны. Это объясняется различными атомными массами Na, Cu и Ag и их валентностью. На основе опыта, измерив массы натрия, меди и серебра, осевших на электродах, можно убедиться, что массы выделившихся во время электролиза веществ прямо пропорциональны атомным массам этих веществ.

В опыте число ионов Cu^{2+}, осевших в течение времени t на электроде второго электролита, в два раза меньше числа ионов Na^+ и Ag^+, осевших на электроды первого и третьего электролитов, так как вещества натрий и серебро, участвовавшие в электролизе, одновалентны. Массы веществ, выделивших-

ся в каждой ванне во время электролиза, пропорциональны эквивалентным массам ($\frac{A}{Z}\frac{\text{(атомная масса)}}{\text{(валентность)}}$).

На основе определения силы тока $I = \frac{q}{t}$ (1), за определенное время проходит суммарный заряд ионов $q = q_i \cdot N$ (2), из курса химии число частиц определяем по формуле $N = \frac{m}{M} N_A$ (3); объединяя формулы (1), (2) и (3), получим

$$I = \frac{q_i \cdot m \cdot N_A}{M \cdot t}. \qquad (4)$$

После преобразований получаем формулу массы выделившегося вещества:

$$m = \frac{M}{q_i \cdot N_A} \cdot It. \qquad (5)$$

$k = \frac{M}{q_i \cdot N_A}$ – электрохимический эквивалент.

k – характеризует свойства данного химического вещества.

Заряд иона данного химического элемента определяется по формуле $q_i = q_e \cdot z$, где z – валентность химического элемента. Тогда $k = \frac{M}{z \cdot q_e \cdot N_A}$, где произведение $q_e \cdot N_A = F$.

F – постоянная Фарадея.

$$q_e \cdot N_A = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 6{,}022 \cdot 10^{23} \approx 9{,}65 \cdot 10^4 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}}.$$

$$k = \frac{M}{z \cdot F}.$$

k – электрохимический эквивалент, который показывает, сколько вещества выделяется из электролита при прохождении заряда в 1 Кл: $[\,k\,] = \left[\frac{\text{кг}}{\text{Кл}}\right]$.

$m = \frac{M}{z \cdot F} \cdot It$ – второй закон Фарадея.

Следует иметь в виду, что некоторые химические элементы в различных соединениях имеют различную валентность. Например, в соединениях CuCl и Cu_2O медь проявляет одновалентность, а в соединениях CuO и $CuSO_4$ – двухвалентность. Когда медь проявляет одновалентность, ее электрохимический эквивалент будет равен $6{,}6 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл, а когда двухвалентность – $3{,}3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.

1. Назовите первый закон электролиза. Каков физический смысл электрохимического эквивалента?
2. Как выражается и как формулируется второй закон Фарадея?
3. Как на опыте можно проверить прямую пропорциональность массы вещества, выделенной во время электролиза, к молярной массе этого вещества?
4. Как можно проверить на опыте зависимость массы вещества, слившегося во время электролиза, от валентности этого вещества?

Попробуйте провести опыт, показанный на рисунке 114. В качестве источника тока возьмите элемент с напряжением 9 В. Объясните появление пузырьков на концах карандаша, находящегося в электролите.

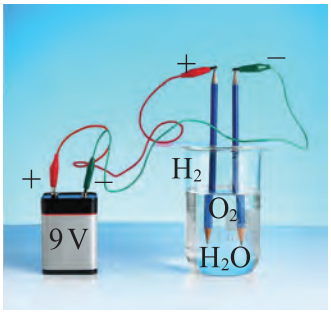


Рис. 114

§ 44 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. Какой заряд должен пройти через раствор серебряной соли для покрытия серебром толщиной 0,08 мм железной ложки с площадью поверхности 25 см^2? Плотность серебра равна $10{,}5 \cdot 10^3$ кг/м^3.

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$S = 25$ см^2 $= 2{,}5 \cdot 10^{-3}$ м^2	$m = \rho V = \rho S h$;	$q = \dfrac{10{,}5 \cdot 10^3 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^{-5}}{1{,}118 \cdot 10^{-6}}$ Кл $\approx$
$h = 0{,}08$ мм $= 8 \cdot 10^{-5}$ м	$m = k q$; $q = \dfrac{\rho S h}{k}$.	≈ 1878 Кл.
$k = 1{,}118 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл	$[q] = \dfrac{\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{м}}{\text{м}^3}}{\frac{\text{кг}}{\text{Кл}}} = $ Кл.	
$\rho = 10{,}5 \cdot 10^3$ кг/м^3.		
Найти: $q = ?$		*Ответ:* $q \approx 1878$ Кл.

Задача 2. Сколько меди соберется за 2 часа в установке электролиза мощностью 10 кВт, рассчитанного на напряжение 42 В?

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$U = 42$ В $P = 10$ кВт $= 10^4$ Вт $t = 2$ ч $= 7{,}2 \cdot 10^3$ с $k = 0{,}329 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл. *Найти:* $m = ?$	$A = q\,U$; $A = P\,t$; $q = \frac{Pt}{U}$; $m = kq = k\frac{Pt}{U}$; $[m] = \frac{\text{кг}}{\text{Кл}} \cdot \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{В}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{Дж}}{\text{Дж}} = \text{кг}$.	$m = 0{,}329 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{10^4 \cdot 7{,}2 \cdot 10^3}{42}$ кг $=$ $= 0{,}564$ кг. *Ответ:* $m = 0{,}564$ кг.

Задача 3. Через пластинку длиной 3 см и шириной 5 см, опущенную в электрохимическую ванну для хромирования, в течение 2 ч проходил ток 1,5 А. Определите толщину слоя хрома, полученного на пластинке. Плотность хрома – $\rho = 7{,}18 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Дано:	*Решение:*
$a = 3$ см $= 3 \cdot 10^{-2}$ м $b = 5$ см $= 5 \cdot 10^{-2}$ м $t = 2$ ч $= 7{,}2 \cdot 10^3$ с $I = 1{,}5$ А $k = 1{,}8 \cdot 10^{-7} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$ $\rho = 7{,}18 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. *Найти:* $h = ?$	Согласно I закону Фарадея, $m = k\,I\,\Delta t$. Масса хрома, осевшая на обеих поверхностях пластинки электрода, определяется следующим образом: $m = \rho\,V = \rho\,2S\,h = \rho\,2(a\,b)\,h$, h – толщина хрома, образовавшегося на пластинке. Уравняв выражения массы, получим: $kIt = 2\rho\,a\,b\,h$, отсюда $h = \frac{k\,I\,t}{2\rho\,a\,b}$ $h = \frac{1{,}8 \cdot 10^{-7} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}} \cdot 1{,}5\text{А} \cdot 7{,}2 \cdot 10^3\,\text{с}}{2 \cdot 7{,}18 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 3 \cdot 10^{-2}\,\text{м} \cdot 5 \cdot 10^{-2}\,\text{м}} =$ $= 9 \cdot 10^{-5}\,\text{м} = 90$ мкм *Ответ:* $h = 90$ мкм.

Упражнение 23

1. Какова сила тока, прошедшего через электролит во время электролиза, если во время электролиза, продолжавшегося в течение 2 часов, на катоде собралось 20 мг никеля?
2. Какое количество серебра соберется в течение 2 часов в электролизной установке мощностью 6 кВт, рассчитанной на напряжение 12 В?
3. Во время никелирования предмета в течение 3 часов через электролит проходил ток 5 А, толщина никеля была 0,1 мм. Какова площадь, покрытая никелем? Плотность никеля равна 8900 кг/м^3.

4. Какое количество меди было выделено, если напряжение между электродами в растворе купороса меди было 24 В, а электрический ток выполнил полезную работу 192 кДж?

5. Какой заряд должен пройти через раствор соли серебра, чтобы покрыть серебром железную ложку толщиной 0,05 мм с площадью поверхности 30 $см^2$? Плотность серебра равна $10{,}5 \cdot 10^3$ $кг/м^3$.

6*. Каков электрохимический эквивалент золота, если молярная масса серебра 108 г/моль, валентность 1 и электрохимический эквивалент 1,08 мг/Кл, молярная масса золота 197 г/моль, валентность 1?

§ 45 ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛИЗА В БЫТУ И ТЕХНИКЕ

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.

Гальваностегия

Изделия, изготовленные из железа, быстро ржавеют в результате окисления их поверхности. Ржавчина постепенно разъедает металл, и изделия приходят 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*.

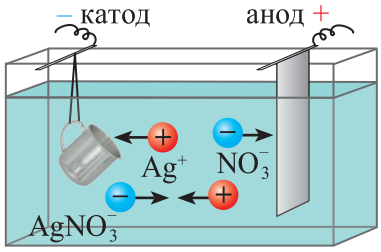


Рис. 115

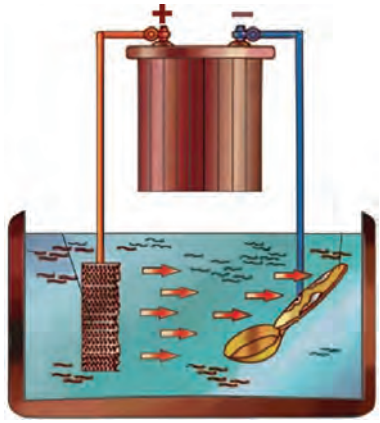


Рис. 116



Рис. 117

Если через ванну с раствором нитрона серебра пропускать ток в течение определенного времени, то поверхность предмета покрывается серебром (*рис. 115*). Для серебрения в качестве электролита берется раствор солей серебра, а в качестве анода – серебряная пластина. При золочении в качестве электролита используют раствор солей золота, в качестве анода – золотая пластина (*рис. 116*).

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 (*рис. 117*). 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 тока через электролит медь, выделившаяся в результате электролиза, оседает на графитовый слой. После того так медь полностью покроет 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 будут иметь выпуклую форму, а выпуклые – вогнутую.

Негативное изображение, полученное таким образом, называется *матрицей*. ***Матрица*** – это шаблон, с помощью которого в типографиях отливают буквы, изготовляют медали, монеты, штампы и другие 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. 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 выделить с помощью электролиза?
3. Каким образом поверхность посуды и других изделий покрывают трудноокисляемыми металлами?
4. Какой процесс называется гальваностегией?
5. Что такое гальванопластика? В каких целях она используется?

§ 46 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ВАКУУМЕ

Газ из трубки можно высосать с помощью специального насоса, и число молекул в нем можно довести до такого состояния, при котором молекулы газа от одной стенки до второй стенки доходят, не сталкиваясь другом с другом. Такое состояние газа в трубке называется ***вакуумом***.

Американский физик Томас Эдисон изучал природу прохождения электрического тока в вакууме. Образовав вакуум внутри стеклянной колбы, в которой установлены два электрода, один электрод он подключил к отрицательному полюсу источника тока, а второй электрод подключил через гальванометр к положительному полюсу источника тока. Сначала стрелка гальванометра не отклонялась, и это означало, что по вакууму ток не проходит, затем, когда подогрели электрод, подключенный к отрицательному полюсу источника тока, отклонение стрелки гальванометра подтвердило прохождение тока в вакууме *(рис. 118)*.

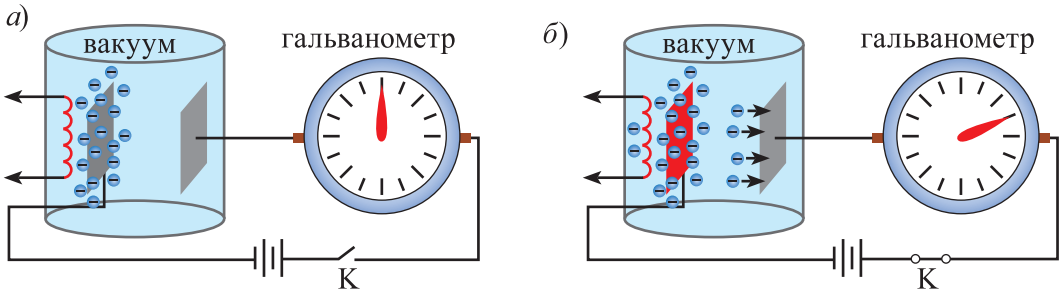


Рис. 118

Выделение электронов из раскаленных металлов называется *термоэлектронной эмиссией.*

а)



б)

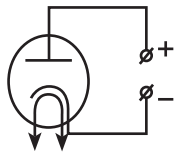


Рис. 119

Значит, образовавшийся электрический ток состоит из потока электронов, выделенных из накаленного электрода. Накаленный электрод назовем ***катодом***, он подключается к отрицательному полюсу источника тока.

Вакуумная колба (трубка) с припаянным катодом и анодом называется электронной лампой с двумя электродами, или ***вакуумным диодом***. Общий вид и электрическая схема вакуумного диода приведены на рисунке *119*.

В прошлом веке в области электроники электронные лампы заняли ведущее место, они широко использовались для производства радио, телевизора, компьютера, промышленной электроники. В результате развития ускоренными темпами науки и техники сегодня вместо вакуумных ламп применяются изготовленные из полупроводников современные приборы, потребляющие меньше энергии.

Как появляется электрический ток в вакууме?

При нагревании катода из него начинают выделяться электроны. Электроны, вышедшие из катода под воздействием электрического поля между анодом и катодом, приходят в упорядоченное движение в сторону анода, и в цепи появляется ток. Если в течение времени t до анода дошло N электронов, то количество заряда, полученное анодом за это время, вычислим согласно выражению $q = N e$. В этом случае ток анода вычисляется через следующее выражение:

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

В Узбекистане группа ученых под руководством академика Убая Орипова ведет научно-исследовательскую работу по изучению явления термоэлектронной эмиссии в металлах. Результаты их научных исследований широко применяются в областях космической метеорологии и приборостроения.

Пример решения задач

Чему равен ток анода, если к аноду двухэлектродной лампы каждую секунду подается $1{,}2 \cdot 10^{17}$ электронов?

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$t = 1$ с $N = 1{,}2 \cdot 10^{17}$ $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.	$q = N e$; $I = \frac{q}{t} = \frac{N e}{t}$.	$I = \frac{1{,}2 \cdot 10^{17} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{Кл}}{1\text{с}} = 1{,}92 \cdot 10^{-2}\,\text{А}.$
Найти: $I = ?$		*Ответ:* $I = 1{,}92 \cdot 10^{-2}$ А.

1. Какие заряженные частицы образуют электрический ток в вакууме?
2. Расскажите о явлении термоэлектронной эмиссии.
3. Как в вакууме появляется электрический ток?

Упражнение 24

1. Сколько электронов поступает каждую секунду на поверхность анода, если ток анода равен 8 мА?
2. Анодное напряжение на диоде равно 180 В. Сколько электронов достигло анода, если электрическое поле выполнило работу, равную 4,8 Дж?
3*. Какое ускорение получит электрон, если напряженность поля между анодом и диодом в диоде равна $4 \cdot 10^3$ Н/Кл?

§ 47 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ГАЗАХ

Электрический разряд в газе

Соединим плоский конденсатор с электрометром и зарядим электрометр. При этом стрелка электрометра, показывающая определенное значение, почти не сдвинется с места, и заряд в нем не уменьшится (*рис. 120 а*). 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 стрелка электрометра тут же начнет падать, т.е. конденсатор теряет заряд (*рис. 120 б*). Следовательно, через прогретый воздух проходит ток.

Процесс протекания электрического тока через газ называется *газовым разрядом*.

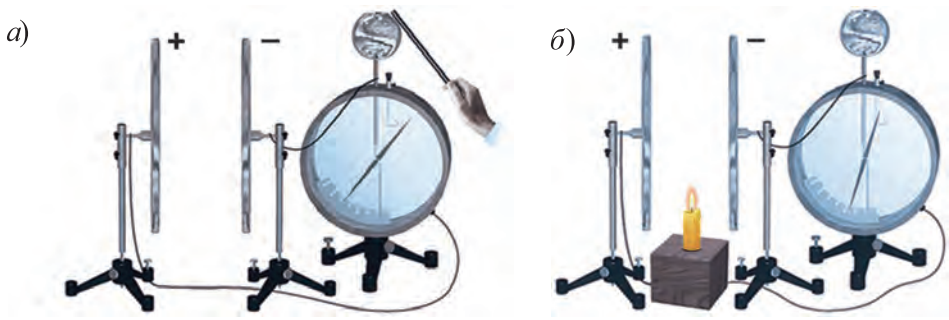


Рис. 120

Ионизация газов

В составе воздуха, помимо азота, кислорода, водорода, молекул воды, содержится около 1% инертных газов – неона и аргона. При комнатной тем-

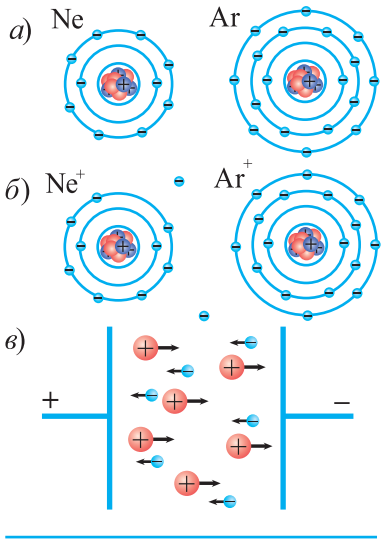


Рис. 121

пературе 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.

Вокруг ядра атома неона (Ne) вращаются 10 электронов, а вокруг ядра атома аргона (Ar) – 18. Внешняя оболочка атома аргона, на которой находится 18 электронов, считается заполненной. Заряд ядра неона равен $+10\,e$, общий заряд электронов $-10\,e$. У аргона эти показатели соответственно равны $+18\,e$ и $-18\,e$ (*рис. 121 а*). Отдельно взятые атомы Ne и Ar электронейтральны. 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. *121 б*).

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

Под воздействием электрического поля ионы Ne^+ и Ar^+ движутся в сторону отрицательно заряженной прокладки конденсатора, а отделившиеся от атомов электроны – в сторону положительно заряженной прокладки (*рис. 121 в*). В результате по воздуху проходит ток.

Электропроводность газов при участии ионов подобна электропроводности электролитов, а электропроводность газов при участии электронов – электропроводности металлов.

Электропроводность в газах **– это упорядоченное движение ионов и электронов в электрическом поле.**

Рекомбинация

При удалении электрического поля, т.е. при прекращении внешнего воздействия, электроны и ионы в газах, соединяясь друг с другом, снова образуют нейтральные ионы.

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

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



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 электропроводности газов?
4. Какой процесс называется рекомбинацией?

§ 48 ВИДЫ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Существует несколько видов газовых разрядов. Рассмотрим каждый из них отдельно.

Несамостоятельный разряд

Рассмотрим зависимость силы тока, протекающего через газ, от электрического напряжения. Для этого соберем электрическую цепь, схема которого изображена на рисунке *122*.

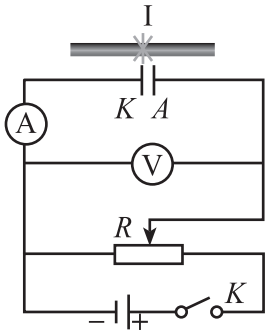


Рис. 122

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 можно изменять напряжение *R* между анодом и катодом. Для постоянной ионизации воздуха между анодом и катодом установлен ионизатор *I*. При беспрерывной работе ионизатора воздух между анодом и катодом нагревается и ионизируется.

Замкнем цепь и начнем постепенно повышать напряжение. С увеличением напряжения между анодом и катодом начнет постепенно возрастать и сила возникающего тока. Изменение тока, проходящего через воздух, в зависимости от напряжения показано на рисунке *123*.

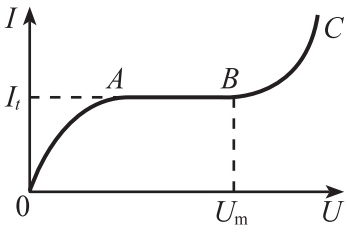


Рис. 123

При достижении определенного значения напряжения сила тока перестает увеличиваться, т.е. ток достигает значения насыщения (*рис. 123, часть AB*). Такое значение силы тока называется ***током насыщения*** I_t.

Что является причиной насыщения силы 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 достижении 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

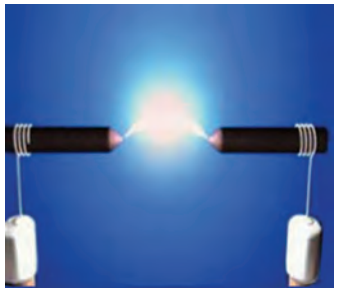


Рис. 124

Продолжим вышеприведенный опыт. Если будем продолжать повышать напряжение, при достижении максимального значения U_m сила тока начинает резко возрастать (*рис. 123, участок BC*). Причиной является то, что электроны, движущиеся в сторону анода, на своем пути неоднократно сталкиваются с нейтральными атомами газа. С увеличением напряжения также повышается скорость движения электронов, возникающих в газе и движущихся к аноду. При дальнейшем увеличении напряжения кинетическая энергия электронов будет достаточной для того, чтобы выбивать электроны нейтральных атомов, с которыми они сталкиваются на своем пути, и ионизировать их. Таким образом, ионизация газа резко возрастает. А это приведет к резкому повышению силы тока. Если внешнее воздействие – ионизатор – выключить, то ионизация газа не прекращается. Электрический разряд будет продолжаться самостоятельно, без воздействия ионизатора.

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

Разряд электрической дуги

Взяв два угольных электрода, подадим на них напряжение 40–50 В. Приблизим концы электродов друг к другу, затем отдалим их. При этом между электродами возникает ослепительная вспышка – ***разряд электрической дуги*** (*рис. 124*). Электрическая дуга будет длиться до тех пор, пока не будет снято напряжение между электродами.

Разряд электрической дуги – очень мощный источник света. Он используется в проекторах, маяках и других устройствах. В связи с тем, что температура электрической дуги очень высокая, ее используют при плавке и

сварке металлов. Сильную электрическую дугу особенно используют при получении высокосортной 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 проводящими ток проводами должны быть очень мощными: чем выше напряжение на линии электропередач, тем толще должны быть изоляторы.

В обычных условиях, когда напряженность электрического поля достигает 3000 000 Н/Кл, возникает искровой разряд.

Искровой разряд в природе проявляется в виде молнии. Вы уже знаете, что молния возникает между облаками или между облаком и землей. Сильно заряженные облака различных знаков приближаются друг к другу, и между ними появляется сильный искровой разряд – молния. Напряжение между облаками может превышать 100 000 000 В. Во время молнии между облаками величина тока, прошедшего через воздух, достигает 10 000 А, а продолжительность искрового разряда составляет всего 0,001–0,02 с.

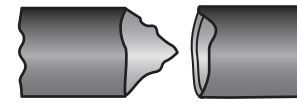


Рис. 125

При получении искрового разряда между двумя электродами, находящимися под высоким напряжением, приближенными друг к другу, в аноде образуется углубление, а в катоде – выпуклость (*рис. 125*). Это явление используется при обработке металлов. Если металл, в котором нужно проделать отверстие, принять в качестве анода и к нему приблизить катод, в аноде появится углубление (*рис. 126 а*). Если этот процесс продолжить еще некоторое время, то в металле, принятом в качестве анода, появится отверстие (*рис. 126 б*).

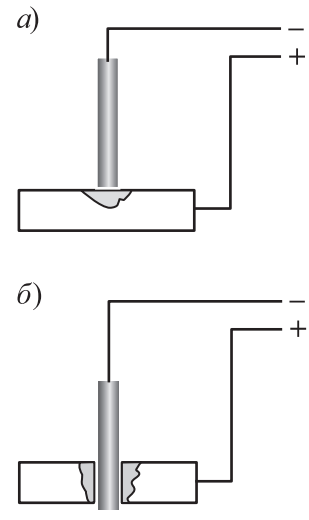


Рис. 126

Используя искровой разряд, можно высверливать отверстия определенного размера и формы в закаленной стали и даже в более прочных сплавах. Способ обработки металлов с помощью искрового

разряда используют при изготовлении различного рода штампов, при резке металла и при заточке режущих инструментов.

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. 127 а*). Разряд становится ощутимым, если воздух в трубке разредить примерно в десять раз. При стократном разрежении воздуха пространство между анодом и катодом заполнится мерцающим светом (*рис. 127 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.

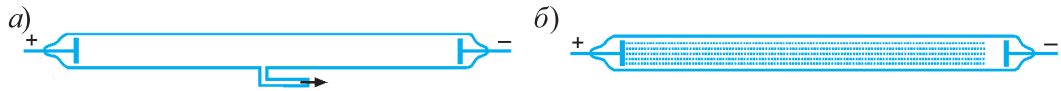


Рис. 127

Применение и представление в естественном виде газовых разрядов можно увидеть на рисунке *128*.







Рис. 128



1. Какой разряд называют несамостоятельным?
2. Какой разряд называют самостоятельным?
3. Как получают электрический дуговой разряд? В каких целях его используют?
4. Как возникает в природе молния?
5. Как образуется искровой разряд, в каких целях его используют?
6. Как получают мерцающий разряд, в каких целях его используют?
7. Можно ли назвать электрическим током молнию, возникшую между облаком и землей?

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ ГЛАВЫ IV

1. Движением каких частиц образуется электрический ток в металлах?

А) положительных ионов; Б) свободных электронов;

В) отрицательных ионов; Г) электронов и отрицательных ионов.

2. Движением каких частиц образуется электрический ток в электролитах?

А) только положительных ионов; Б) электронов и положительных ионов;

В) только отрицательных ионов; Г) положительных и отрицательных ионов.

3. Что такое термоэлектронная эмиссия?

А) выделение положительных ионов с поверхности накаленного металла;

Б) выделение отрицательных ионов с поверхности накаленного металла;

В) выделение электронов с поверхности накаленного металла;

Г) превращение накаленного газа в ионы.

4. Какие из следующих веществ имеют ионную проводимость?

А) металл и электролит; Б) газ и металл;

В) газ и электролит; Г) диэлектрик и электролит.

5. При электролизе никелирование предмета продолжалось 50 минут, и на предмет осело 0,09 г никеля. Какой была сила тока во время электролиза? $k_{никель} = 0{,}3$ мг/Кл.

А) 0,1 А; Б) 0,2 А; В) 0,3 А; Г) 1 А.

6. Сколько времени продолжалось никелирование, если на предмет осело 3,6 г никеля? Сила тока – 1 А. Электрохимическая эквивалентность для никеля – $0{,}3 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл.

А) 50; Б) 200; В) 100; Г) 60.

7. Какое количество меди можно получить за 2 часа методом электролиза из раствора в воде хлорида меди (II) ($CuCl_2$) при силе тока 1А? $k_{медь} = 0{,}33$ мг/Кл.

А) 4,8 г; Б) 240 г; В) 24 г; Г) 2,4 г.

8. В электролитической ванне из раствора медного купороса при прохождении тока 10 А за 0,5 мин выделено 0,1 г меди. Чему равен электрохимический эквивалент меди?

А) $0{,}44 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл; Б) $0{,}33 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл; В) $0{,}40 \cdot 10^{-3}$ кг/Кл; Г) $0{,}50 \cdot 10^{-3}$ кг/Кл.

9. Никелирование предмета с площадью 300 см^2 продолжалось 2 часа. Какая толщина (мм) никеля образовалась на поверхности предмета, если через электролит проходил ток 17,8 А? Примите электрохимический эквивалент никеля за 0,3 мг/Кл, плотность – 8,9 г/см^3.

А) 0,43; Б) 0,64; В) 0,32; Г) 0,86.

10. В двух ваннах электролитическим способом покрываются медь и серебро при одинаковой силе тока. Какой будет масса слоя меди, когда масса слоя серебра достигнет 33,6 г? $k_{медь} = 0{,}33$ мг/Кл; $k_{серебро} = 1{,}12$ мг/Кл.

А) 20 г; Б) 10 г; В) 1 г; Г) 5 г.

ВАЖНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ IV

Ион	Атом, в котором имеется лишний электрон или не хватает электрона.
Электрический ток в металлах	Состоит из упорядоченного движения свободных электронов.
Направление электрического тока	Направление упорядоченного движения положительно заряженных частиц.
Ионная связь	Химическая связь, проявляющаяся вследствие кулоновской силы между ионами.
Диссоциация	Процесс разделения веществ на положительные и отрицательные ионы в растворах.
Электролиты	Растворы, проводящие электрический ток за счет положительных и отрицательных ионов.
Явление электролиза	Явление выделения вещества на электродах при проведении электрического тока через электролит.
Первый закон Фарадея	Масса вещества, выделенного на электродах, прямо пропорциональна количеству заряда, прошедшего через электролит во время электролиза: $m = k\,q$, $m = kIt$.
Электрохимический эквивалент	Величина, численно равная массе вещества, выделенного при прохождении одного кулона заряда через электролит.
Химический эквивалент	Отношение атомной массы вещества к валентности (A/Z).
Второй закон Фарадея	Масса вещества, выделенного во время электролиза, прямо пропорциональна электрохимическому эквиваленту и количеству зарядов, прошедших во время электролиза. $$m = \frac{1}{F}\frac{A}{Z}q\,.$$
Гальваностегия	Покрытие поверхности предметов трудноокисляемыми металлами с использованием электролиза.
Гальванопластика	Нанесение электролитическим методом на поверхность предметов металла для получения формы.
Термоэлектронная эмиссия	Выделение электронов из накаленных металлов.

ГЛАВА V
МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

В данной главе вы ознакомитесь с магнитным полем постоянного магнита и магнитным полем вокруг проводника с током, а также с величинами, характеризующими магнитное поле. Также вы узнаете о влиянии магнитного поля на проводник с током и движущимися заряженными частицами, о магнитном поле катушки с током, об электромагнитах и их применении на практике.

§ 49 МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ПОСТОЯННЫЙ МАГНИТ И ЕГО ПОЛЮСА

В I главе вы узнали, что при трении веществ друг о друга они заряжаются, и вокруг них появляется электрическое поле. Однако существуют и такие вещества, которые без трения друг о друга создают вокруг себя другое поле, отличное от гравитационного. Какое же это поле?

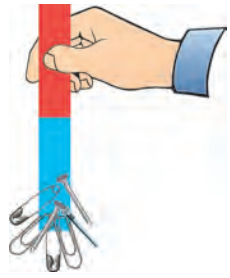
Вы знаете, что магнит притягивает железные предметы. Почему он притягивает к себе тела?		*При определении географического местоположения используется компас. Каким образом он «показывает дорогу»?*	

Рис. 129

Постоянный магнит и его полюса

В природе существуют такие естественные металлические соединения, которые обладают свойством притягивания к себе некоторых тел. Такое свойство тел означает, что вокруг них существует поле. Данное поле принято называть ***магнитным полем*** (*рис. 129).*

История появления термина «магнит» связана с названием древнего города Магнесия в Малой Азии. Найденные там камни, притягивающиеся друг к другу, называли «камнями магнесия».

Наш великий соотечественник Абу Райхан Беруни (973–1047) в своих трудах называл магнит «оханрабо» – «притягивающий железо». Беруни в своих трудах писал об использовании магнита для отделения частиц железа от частиц золота, смешанных с песком. Он установил своими опытами, что одноименные полюса магнита отталкиваются друг от друга, разноименные притягиваются, а сталь при трении о магнит намагничивается.

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

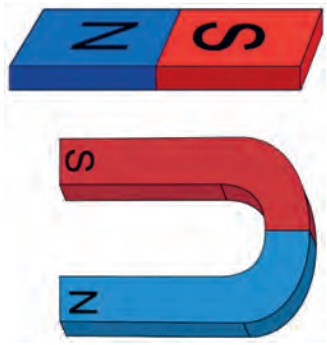
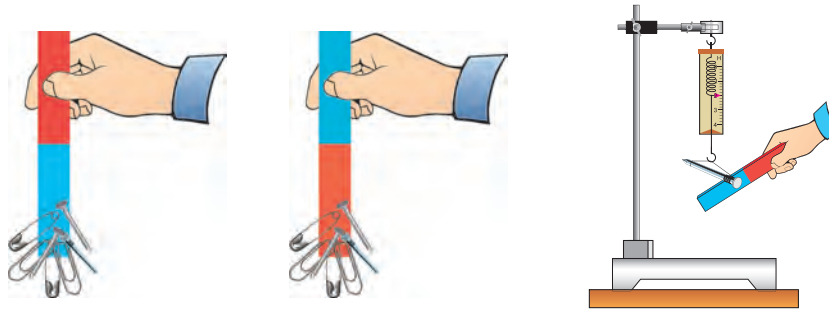


Рис. 130

На рисунке 130 изображены плоский и подковообразный магниты. Приблизим магнит к мелким железным телам. При этом увидим, как они прилипли к каждому его краю (*рис. 131 а, б*). Место самого сильного влияния магнита называется ***полюсом магнита***. В любом магните имеются южный и северный полюса. Южный полюс магнита обозначается буквой S (первая буква английского слова «south» – «юг»), северный полюс – буквой N (первая буква английского слова «nort» – «север»). Обычно южный полюс (S) закрашивают красным цветом, а северный полюс (N) – синим цветом.



а) *б*) *в*)

Рис. 131

Середина магнита является нейтральной, в этой части силы притяжения не существует. В этом можно убедиться, приблизив середину магнита к гвоздю, подвешенному к динамометру (*рис. 131 в*).

Сила взаимодействия магнитов

Силу взаимодействия магнитов можно наблюдать на опыте. Один из магнитов подвесим на штатив, а второй приблизим к нему, при этом увидим, что они отталкиваются (*рис. 132 а*) и притягиваются (*рис. 132 б*). Как и в том случае, когда одноименные электрические заряды отталкивают друг друга, а разноименные притягивают друг друга, так и одноименные магниты отталкиваются, а разноименные притягиваются.

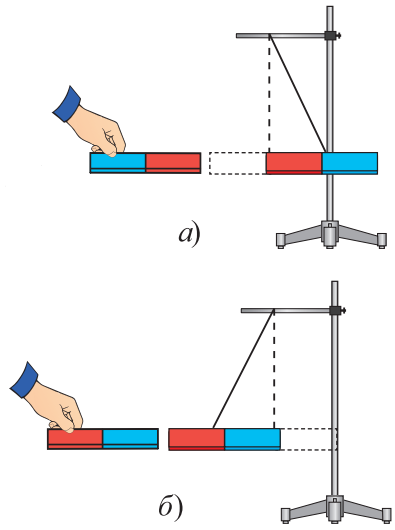


Рис. 132

Еще одно свойство магнита состоит в том, что при прикосновении к нему металлических тел (таких как ножницы, гвоздь) они тоже намагничиваются. Например, если железными ножницами дотронуться до магнита, они намагничиваются, и мы увидим, как они притягивают к себе железные тела (*рис. 133*).



Рис. 133

Стальные бруски, намагниченные при воздействии на них естественного магнита в течение длительного времени, называются *искусственными магнитами.*

Магниты взаимодействуют так же, как и электрические заряды. Однако между ними существует резкое различие. В электричестве можно различить частицы с положительными и отрицательными знаками. Вспомните электризацию тел при трении и получение разноименных зарядов на листочках электроскопа.

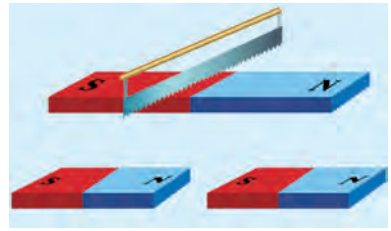


Рис. 134

Магнитные же полюса отличить невозможно. Если разделить магнит, в каждом куске образуются северный и южный полюса (*рис. 134*).

Английский врач Уильям Гильберт (1544–1603) проводил исследования по изучению свойств постоянного магнита. В книге Гильберта, изданной в 1600 году под названием «О магните, магнитных телах и большом магните – Земле» изложены следующие свойства магнитов:

1. В различных местах магнита сила притяжения различна, а на его крайних концах – полюсах магнита – сила притяжения наибольшая.

2. Магнит имеет два полюса – северный и южный, эти полюса различны по свойствам.

3. Разноименные полюса магнита притягиваются, а одноименные – отталкиваются.

4. Магнит с одним полюсом получить невозможно.

5. Земной шар является огромным магнитом.

6. При сильном нагревании магнитные свойства и естественных, и искусственных магнитов теряются.

7. Магниты воздействуют через стекло, бумагу, дерево, свечу и воду.



1. Что такое искусственный магнит? Чем он отличается от естественного магнита?

2. Что такое магнитное поле?

3. Как обозначаются северный и южный полюса магнита?

4. Какие свойства магнита обнаружил Уильям Гильберт?

5. Можно ли получить магнит, имеющий только северный полюс?

6. Объясните причину нахождения в невесомости магнита на рисунке 135.

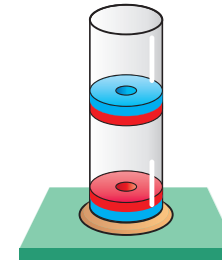


Рис. 135

7. Могут ли быть магнитом куски, отломанные от магнита?



Оценка сил взаимодействия постоянных магнитов.

Подвесьте постоянный магнит на динамометр (*рис. 136 а*). Второй магнит установите под ним на зажиме, как показано на рисунке *136 б*. По показанию динамометра определите силу притяжения одного магнита к другому. Расположите магниты, как показано на рисунке *136 в* и определите силу отталкивания магнитов с одинаковыми полюсами.

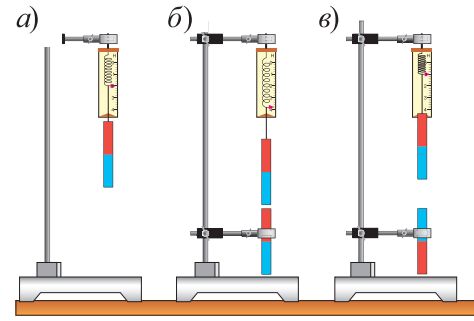


Рис. 136

§ 50

ПАРАМЕТРЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Индукция магнитного поля

Если две магнитные тарелки приблизить друг к другу, они выворачиваются и останавливаются, когда противоположные полюса находятся друг против друга (*рис. 137*). Это показывает наличие взаимодействующих сил между намагниченными телами, которые характеризуются силовыми линиями поля.



Рис. 137

Силовые линии магнитного поля увидеть непосредственно невозможно, однако с помощью следующего опыта мы будем иметь представление о расположении магнитных силовых линий. Для этого на картонный лист бумаги равномерно рассыплем железные опилки и поставим его на магнитный сердечник. Если слабо постукивать по бумаге, опилки железа займут положение, показанное на рисунке *138*. Железные опилки, находящиеся на кучке картона, расположатся плотно в местах, находящихся ближе к краям магнита, а между полюсами расположатся реже.

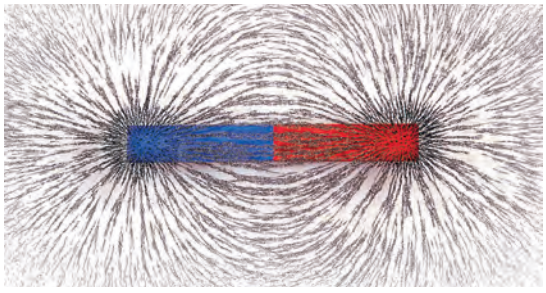


Рис. 138

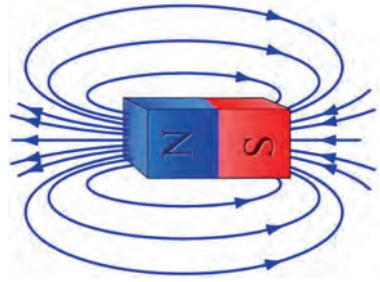
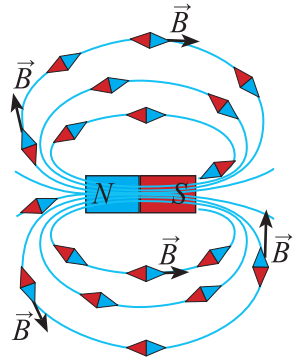


Рис. 139

Место, занятое железными опилками на рисунке *138*, отражает силовые линии, связывающие между собой полюса магнита. Силовые линии магнитного поля условно представляют замкнутые линии, направленные от северного полюса (N) магнита к южному полюсу (S) *(рис. 139).*

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



а)



б)

Рис. 140

Если положить магнитные стрелки, укрепленные на неподвижной оси, вдоль силовых линий магнита, они расположатся, как показано на рисунке *140 а*. Отсюда можно сделать вывод о том, что силовые линии магнитного поля образуют закрытый контур, без начала и конца. Этим свойством магнитное поле отличается от электрического.

Силовые линии магнитного поля по мере удаления от магнита становятся реже (воздействие слабеет). Физическую величину, характеризующую эту величину, называют ***индукцией магнитного поля*** и обозначают буквой *B*. Направление вектора магнитной индукции соответствует направлению касательной, проведенной к произвольной точке силовой линии магнита. Единицу индукции магнитного поля в МСЕ принято называть тесла (Тл), в честь сербского физика Никола Тесла.

Магнитометр – прибор, измеряющий характеристики магнитного поля и магнитные свойства тел. Он используется в геологоразведочных работах, археологических раскопках, в навигации, в военной разведке для определения местонахождения подводных лодок, в сейсмологии и научных исследованиях (*рис. 140*).

1. Что вы понимаете под индукцией магнитного поля? В каких единицах она измеряется?
2. Как взаимодействуют магниты между собой? Какую форму имеют силовые линии магнитного поля?
3. Как называется прибор, измеряющий магнитные свойства тел?

1. На рисунке вы видите два плоских магнита одинакового размера. В действительности, один из них – настоящий, второй – простое железо, покрашенное, как магнит. Как определить, какой из них – магнит, с помощью только этих предметов?



§ 51 МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

Полярное сияние – одно из прекраснейших явлений в природе. Оно появляется на высоте 80–1000 км от поверхности земли недалеко от Северного и Южного полюсов Земли *(рис. 141)*. Причина в том, что Земной шар представляет собой огромный магнит. Заряженные, сверхсильные потоки солнечных лучей при достижении Земли отклоняются в полюсах. Значит, магнитное поле Земли выполняет функцию защитной оболочки.

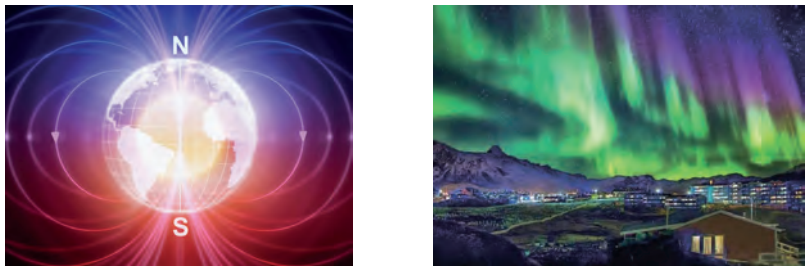
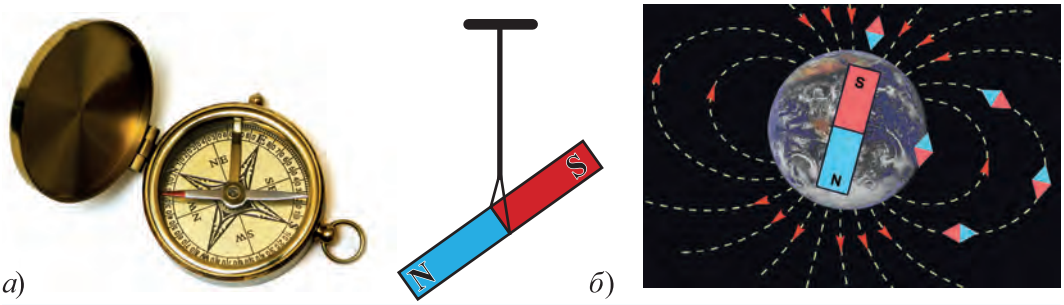


Рис. 141. Магнитное поле Земли и проявление полярного сияния

Как воздействует магнитное поле Земли на тела, находящиеся на ее поверхности?

Стрелка компаса или постоянный магнит, подвешенный на нити, располагается по направлению с юга на север (*рис. 142 а*).

Это объясняется тем, что магнитные силовые линии Земли направлены от северного магнитного полюса к южному магнитному полюсу, т.е. земной шар окружен магнитным полем (*рис. 142 б*). Компас, установленный на произвольную точку силовых линий на рисунке (направленных от N к S) означает поворот стрелки в направлении этих линий. Значит, компас нам не «показывает дорогу», а показывает Северный и Южный географические полюса Земного шара относительно места, где мы находимся.



а) *б*)

Рис. 142

Южный магнитный полюс Земли (S) расположен вблизи 75° северной широты и 99° западной долготы, примерно в 2100 км от Северного географического полюса Земли.

Северный магнитный полюс Земли (N) расположен вблизи Южного географического полюса Земли, на 66,5° южной широты и 140° восточной долготы.



1. Что вы знаете о магнитном поле Земли?
2. Почему направление стрелки компаса не показывает непосредственно географические полюса Земли?
3. Если между магнитами поставить железную пластинку, они не влияют друг другу. Почему?
4. Повлияет ли введение стеклянной пластинки между магнитами на магнитное поле?
5. Где на Земле наблюдается полярное сияние?



1. Возьмите куски магнита и изучите их воздействие друг на друга и на железные предметы.
2. Проверьте нейтральность середины магнита с помощью двух магнитов или магнита – железа.

§ 52 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.

Для проведения опыта Эрстеда соберем цепь, изображенную на рисунке 143. Цепь состоит из источника тока, реостата, ключа, проводника (провода). Сильно натянем один из проводов от юга к северу. Магнитную стрелку расположим по проводу.

Замкнув цепь, пропустим ток по проводнику. В этот же момент магнитная стрелка под проводами повернется на 90° перпендикулярно к проводу

а) *б*)

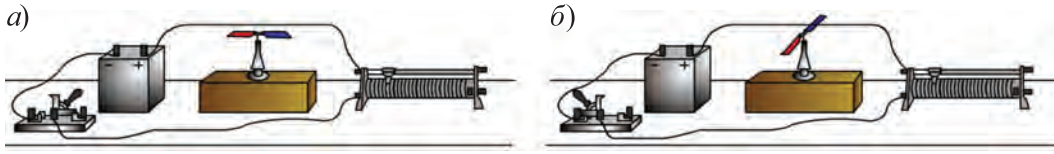


Рис. 143

(*рис. 143 б*). Значит, вокруг проводника с током возникло магнитное поле, которое поворачивает магнитную стрелку.

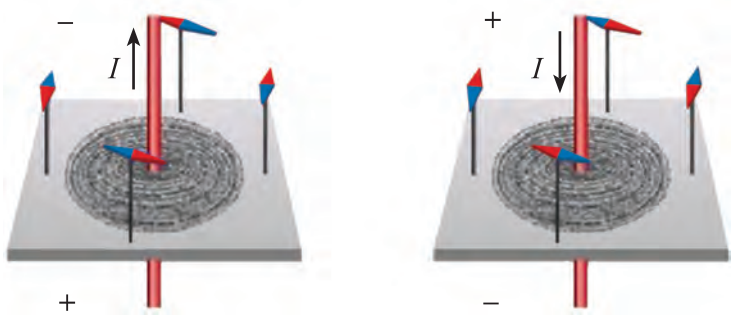
Опыт Эрстеда показывает, что вокруг проводника, по которому проходит электрический ток, существует магнитное поле.

Магнитное поле прямого тока

Наличие магнитного поля вокруг проводника, по которому проходит электрический ток, можно наблюдать на следующем опыте.

Взяв плотный картон, просверлим его посередине, и через отверстие проведем металлический стержень. На поверхности картона рассыплем железные опилки. Подключив концы проводника к источнику тока, легко встряхнем картон. Железные опилки под воздействием магнитного поля тока намагничиваются, проявляют себя как маленькие магнитные стрелки и располагаются по линии магнитной индукции. Силовые линии магнитного поля, образующиеся вокруг проводника с током, будут похожи на силовые линии поля вокруг постоянного магнита.

Продолжая опыт, положим вокруг стержня, по которому проходит ток, мелкие магнитные стрелки. Стрелки сразу равномерно распределятся в направлении магнитных силовых линий (*рис. 144 а*). Если изменить направление тока на стержне, то сразу все магнитные стрелки поворачиваются на 180° (*рис. 144 б*). Значит, направление магнитных силовых линий тока зависит от направления тока в проводнике.



а) *б*)

Рис. 144

Силовые линии магнитного тока вокруг прямого тока образуют окружности, их направление можно объяснить правилом буравчика (*рис. 145*).

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

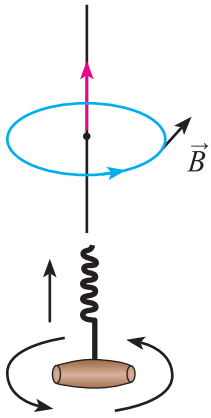


Рис. 145

Магнитное поле катушки

Открытие Эрстедом магнитного поля проводника с током послужило для исследований в области электромагнетизма. В 1830 году французские физики **Андре Мари Ампер** и **Доменик Франсуа Араго** соорудили катушку, намотав токопроводящий провод на деревянный стержень. Пропустив ток через катушку, они образовали магнитное поле, которое было намного сильнее поля прямого тока.

Изготовим спираль из металлической проволоки и приблизим с двух сторон две магнитные стрелки (*рис. 146 а*). Если через провод пустить ток, то обе стрелки поворачиваются в сторону оси спирали. При этом полюса стрелок устанавливаются в одном направлении (*рис. 146 б*).

Металлический провод в виде спирали называют ***соленоидом.***

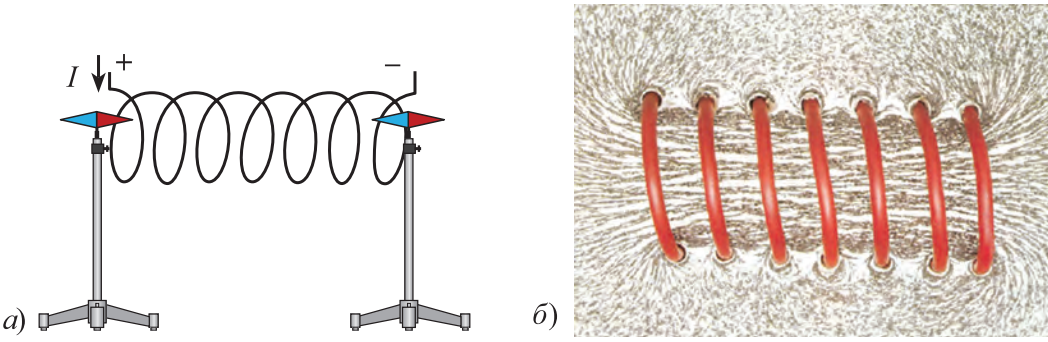


Рис. 146

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.



1. Поясните опыт Эрстеда.
2. Какое направление имеют магнитные силовые линии прямого тока?
3. Расскажите о правиле буравчика.
4. Каково направление магнитных силовых линий катушки с током?
5. Каким образом катушку с током можно сравнить с магнитной стрелкой?

На *рис. 147* изображена катушка с током. Вблизи катушки расположены четыре магнитные стрелки. Перечертите рисунок в свои тетради и покажите в нем полюса стрелок.

Определите магнитные полюса в магнитной цепи, приведенной на рисунке *148 а, б.*

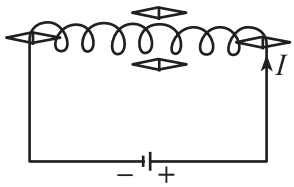


Рис. 147

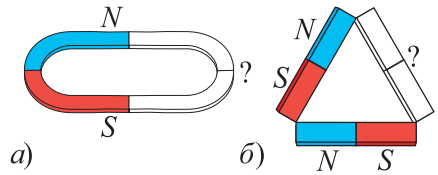


Рис. 148

§ 53 ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОВОДНИК С ТОКОМ

Сила Ампера

Действие магнитного поля на проводник с током определил Ампер на опыте в 1820 году. Ознакомимся с формулой силы, действующей на прямой участок проводника магнитным полем, и опытом Ампера. Подковообразный постоянный магнит укрепим на штатив, расположенный горизонтально. Проводник, подвешенный на штатив, установим на середине подковообразного магнита. При этом длину участка, расположенного на магнитном поле проводника, примем как Δl (*рис. 149 а*).

При включении цепи проводник приходит в движение, т.е. притягивается к магниту (*рис. 149 б*). Если полюса магнита установить с заменой, проводник отталкивается от магнита. Часть металла ($\Delta l = a\,b$) под воздействием силы F поворачивается на некоторый угол от вертикали.

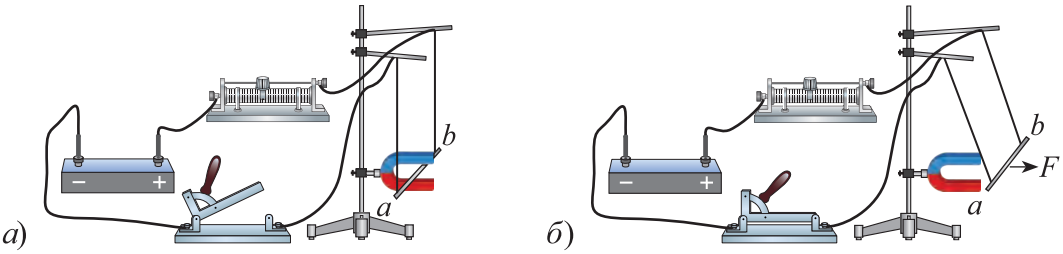


Рис. 149

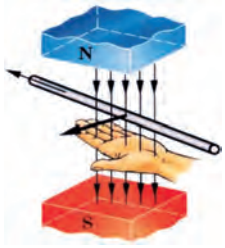
Сила *F*, с которой магнитное поле действует на часть проводника с током, находящуюся в магнитном поле, перпендикулярном плоскости проводника, прямо пропорциональна силе тока (*I*), длине проводника (Δ*l*) и магнитной индукции.

$$F = B\,I\,\Delta l.$$

Это выражение в честь Ампера называется ***силой Ампера***.

Отсюда запишем выражение магнитной индукции:

$$B = \frac{F}{I\Delta l}.$$



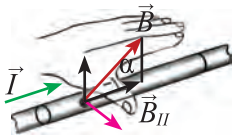


Рис. 150

Индукция магнитного поля численно равна максимальной силе, с которой данное поле действует на проводник длиной 1 м с силой тока 1 А:

$$[B] = \frac{1\ \text{Н}}{1\ \text{А} \cdot 1\ \text{м}} = 1\ \text{Тл (Тесла)}.$$

Правило левой руки

Направление силы, действующей на проводник с током со стороны магнитного поля, можно определить с помощью ***правила левой руки*** *(рис. 150)*.

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.

Сила взаимодействия проводников с током

Проводники с током, так же, как постоянные магниты, взаимодействуют. В этом можно убедиться при наблюдении взаимодействия параллельных токов. Взяв два гибких проводника, подвесим их к штативу (*рис. 151 а*).

Если верхнюю часть проводников соединить через провод и включить ключ, через проводники потечет ток в противоположном направлении *(рис. 151 б)*. В результате проводники отталкиваются друг от друга, и расстояние между ними увеличится. Если проводники соединить параллельно, т.е. проводить через них ток одинакового направления, проводники притягиваются друг к другу (*рис. 151 в*).

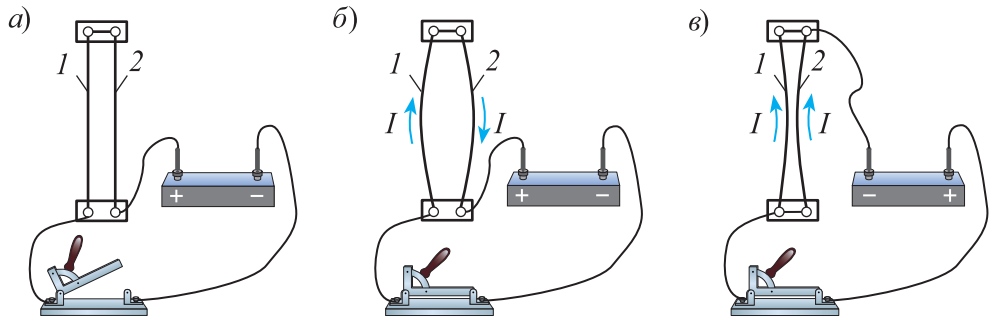


Рис. 151.

Проводники, по которым проходит ток противоположного направления, взаимно отталкиваются, проводники, по которым проходит ток одинакового направления, взаимно притягиваются.

Этот вывод сделан на основании опытов Ампера, и единица силы тока выражается следующим образом: **за единицу силы тока принят 1 А (ампер), под действием которого параллельные проводники длиной 1 м взаимодействуют с силой $2 \cdot 10^{-7}$ Н.**

1. Как определяется направление силы Ампера?
2. Как определяется направление силы взаимодействия, возникающей между параллельными проводниками с током?
3. Сформулируйте единицу силы тока ампер.
4. Мы много раз наблюдали приближение друг к другу или удаление друг от друга параллельных токопередающих проводов, установленных на столбах. Почему это происходит?

§ 54 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. Сила действия поля на проводник длиной 20 см, расположенный перпендикулярно к линиям магнитного поля с индукцией 0,5 Тл, равна 0,03 Н. Какой будет сила тока, проходящего через проводник?

Дано:

$B = 0{,}5$ Тл
$l = 20$ см $= 0{,}2$ м
$F = 0{,}03$ Н.

Найти: $I = ?$

Формула:

$F = B\,I\,l; \quad I = \dfrac{F}{Bl}$

$[I] = \dfrac{\text{Н}}{\text{Тл} \cdot \text{м}} = \text{А}.$

Решение:

$I = \dfrac{0{,}03}{0{,}5 \cdot 0{,}2}\,\text{А} = 0{,}3\,\text{А}.$

Ответ: $I = 0{,}3$ А.

Задача 2. Проводник длиной 0,4 м расположен перпендикулярно к линиям индукции магнитного поля с индукцией 25 мТл. Если на проводник действует сила 120 мН со стороны магнитного поля, то какое количество заряда проходит каждую минуту через его поперечное сечение?

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$l = 0{,}4$ м $B = 25$ мТл $= 25 \cdot 10^{-3}$ Тл $F = 120$ мН $= 120 \cdot 10^{-3}$ Н $t = 1$ минут $= 60$ с. *Найти:* q = ?	$F = I B l = \frac{q B l}{t}$: $q = \frac{F t}{B l}$; $[q] = \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} \cdot \text{м}} =$ $= \text{А} \cdot \text{с} = \text{Кл}.$	$q = \frac{120 \cdot 10^{-3} \cdot 60}{25 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}4}$ Кл $= 720$ Кл. *Ответ:* $q = 720$ Кл.

Упражнение 25

1. Проводник длиной 50 см помещен в магнитное поле с магнитной индукцией 1,2 Тл. Какая сила будет действовать со стороны магнитного поля при проходе через проводник, расположенный перпендикулярно к индукции магнитного поля, тока 2 А?
2. На проводник длиной 15 см, расположенный перпендикулярно к линиям магнитного поля с индукцией 0,4 Тл, действует сила 60 мН. Какова будет сила тока, проходящего через проводник?
3. Через проводник длиной 25 см проходит ток 5 А, на него со стороны магнитного поля действует сила 2,5 мН. Определите индукцию магнитного поля, где расположен проводник.
4. Сила действия поля на проводник длиной 5 см, расположенный перпендикулярно к линиям магнитного поля с индукцией 0,4, равна 2 мН. Какой была сила тока в проводнике?
5. Какая сила будет действовать на прямой проводник длиной 40 см, расположенный в однородном магнитном поле, если через него провести ток 8 А? Индукция поля равна 0,5 Тл.
6*. Проводник длиной 0,8 м расположен перпендикулярно к линиям индукции магнитного поля с индукцией 2 мТл. Через поперечное сечение проводника каждые 3 минуты протекает заряд 720 Кл. Какая сила действует на проводник со стороны магнитного поля?

§ 55

КРУГОВОЕ ДВИЖЕНИЕ РАМКИ С ТОКОМ В ОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Если в магнитное поле внести рамку с током, то можно наблюдать ее поворот на некоторый угол. Почему же рамка вращается?

Введем вместо прямого проводника между полюсами подковообразного магнита рамку, изготовленную из гибкого провода (рис. *152 а*). На концы проводника наденем металлические «чаши», подключенные к источнику тока, чтобы проводник мог вращаться. Построенную рамку поместим на плоскости основания магнита, как показано на рисунке *152 б*. При подключении источника тока рамка (положение «б») начинает вращаться и поворачиваться на 90° от первоначального положения (положение «в»).

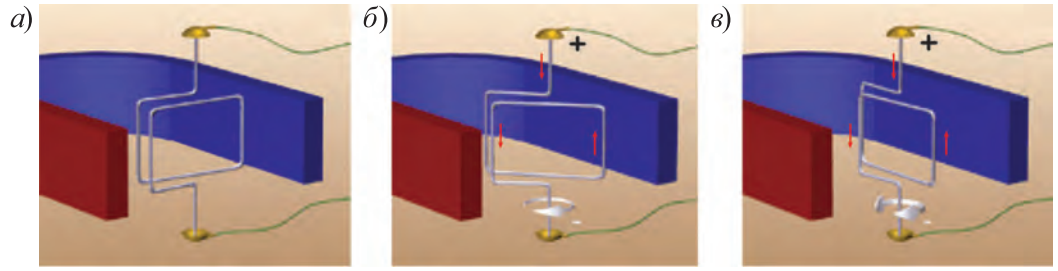


Рис. 152

Если в момент положения «в» отключить ток, то рамка продолжит свое движение и вновь займет положение «а». Если снова подключить рамку к источнику тока, она начнет вращаться, как прежде. Когда рамка из положения «б» придет к положению «в», если снова отключить ее от тока, она займет положение «а». Значит, если мы будем управлять рамкой, включив ток, когда она займет положение «а» и отключив ток, когда он займет положение «б», то рамку можно вращать без остановки. Это считается моделью электрического двигателя.

При положении «б» на рисунке ток на левой стороне рамки течет вниз (это часть сдвигается в сторону магнитной «ямы»), а ток на правой части течет наверх (эта часть сдвигается наружу). Если изменить полюс магнита, то направление тока на частях меняется, и рамка поворачивается в обратном направлении.

Из-за того, что по рамке проходит противоположный ток, согласно правилу левой руки, **на рамку с током, расположенную в магнитном поле, действуют парные силы**. Направление силы, действующей со стороны магнитного поля на проводник с током, приведено на рисунке *153*.

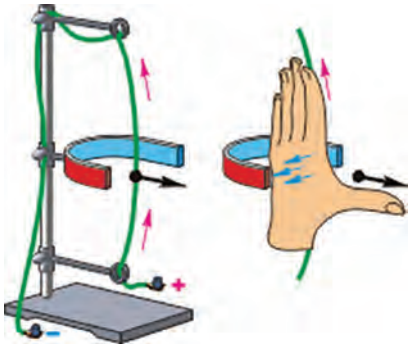


Рис. 153

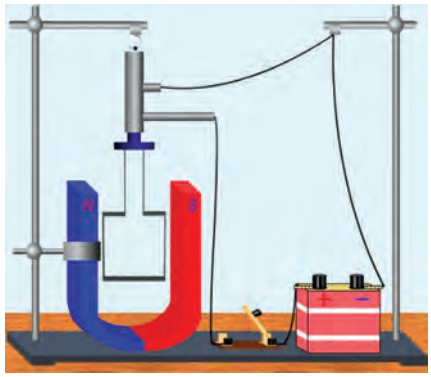


Рис. 154

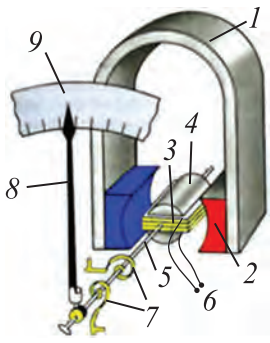


Рис. 155

Устройство и принцип работы электроизмерительных приборов

Собрав цепь и оборудование, изображенное на рисунке *154,* расположим рамку с током в магнитное поле. При включении цепи рамка поворачивается и занимает положение, перпендикулярное к магнитным силовым линиям. Если изменить направление тока, то рамка поворачивается на 180^0. Способность рамки с током поворачиваться в магнитном поле используют в измерительных приборах.

На рисунке *155* изображено устройство простейшего амперметра. При этом в магните (*1*) закреплены полярные наконечники (*2*). Движущаяся часть – рамка (*3*) состоит из алюминиевого каркаса, на него намотана тонкая медная проволока. Рамка может свободно вращаться вокруг неподвижной сердцевины (*4*). Рамка присоединена к оси (*5*). Концы обмотки проводов подключают к цепи (*6*). Спиральная пружина (*7*) сопротивляется произвольному вращению рамки и при потере тока в цепи сохраняет стрелку в равновесии.

При проходе тока через обмотку под воздействием магнитного поля рамка старается перейти в перпендикулярное состояние относительно магнитных полюсов. Чем больше тока в цепи, тем больше поворачивается стрелка (*8*), закрепленная к оси. Стрелка показывает на градуированной шкале (*9*) соответствующее значение силы тока. При отключении тока в цепи рамка под воздействием спирали возвращается в исходное положение, а стрелка – к значению «0». Принцип работы вольтметра аналогичен принципу работы амперметра.

1. Сформулируйте правило левой руки.
2. Как устроен простейший амперметр?
3. Расскажите о принципе работы простейшего амперметра.

1. В какую сторону будет катиться легкая алюминиевая трубка, если включить цепь, изображенную на рисунке *156*?

2. На двух изолированных или неизолированных проводниках, подключенных к полюсам источника тока, находится тонкая алюминиевая трубка *AB (рис. 157)*. В какую сторону покатится трубка, если подать магнитное поле, силовые линии которого направлены снизу вверх, перпендикулярно странице книги?

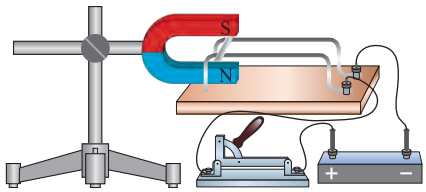


Рис. 156

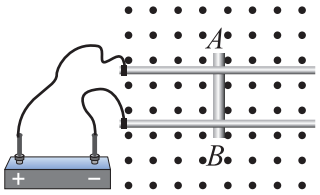


Рис. 157

§ 56 ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Сила Лоренца

Сила действия на заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле, со стороны этого поля названа в честь голландского физика **Хендрика Антона Лоренца** (1853–1928).

Сила действия со стороны магнитного поля на движущуюся заряженную частицу называется *силой Лоренца.*

Сила Лоренца, действующая со стороны магнитного поля на каждую движущуюся перпендикулярно к силовым линиям магнитного поля заряженную частицу, определяется следующим выражением:

$$F_Л = q\,\upsilon\,B.$$

Сила, действующая на заряженную частицу, движущуюся в однородном магнитном поле, равна произведению заряда частицы, его скорости движения υ и вектора $\vec{B}$ индукции магнитного поля.

Направление силы Лоренца, так же, как сила Ампера, определяется с помощью правила левой руки *(рис. 158)*.

Если на ладонь левой руки вектор магнитной индукции падает вертикально и направление указательного пальца одинаково с направлением положительного заряда, то большой палец, отодвинутый на 90°, показывает направление силы Лоренца.

Сила Лоренца, действующая на протон, попадающий в магнитное поле, согласно правилу левой руки, будет направлена в правую сторону (*рис. 159*). На чертеже линии магнитной индукции направлены вверх (от N к S). При определении движения электрона в поле четыре пальца расположим в положении, противоположном направлению тока. Отсюда сила Лоренца, действующая на электрон, будет направлена влево. Если заряженная частица будет двигаться по линиям индукции магнитного поля, то на нее не будет действовать сила со стороны магнитного поля.

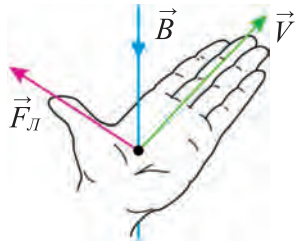


Рис. 158

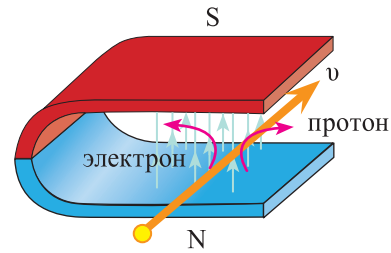


Рис. 159

Пример решения задач

В магнитное поле влетел электрон, движущийся со скоростью $2 \cdot 10^7$ м/с в перпендикулярном направлении к линии индукции магнитного поля. Какая сила действует на электрон со стороны магнитного поля, если индукция магнитного поля 0,8 Тл?

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$\upsilon = 2 \cdot 10^7$ м/с $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл $B = 0{,}8$ Тл. *Найти:* $F = ?$	$F = e\,\upsilon\,B$; $[F] = \text{Кл} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} =$ $= \text{Кл} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{Кл}} = \text{Н}.$	$F = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^7 \cdot 0{,}8\,\text{Н} =$ $= 2{,}56 \cdot 10^{-12}\,\text{Н} = 2{,}56$ пН. *Ответ:* $F = 2{,}56$ пН.



1. Объясните на основании правила левой руки направление силы Лоренца.
2. Сформулируйте силу, двигающую заряженную частицу равномерно по кругу.
3. В каком направлении при входе заряженной частицы в магнитное поле на нее не действует сила Лоренца?

150 витков тонкой лакированной проволоки. Оставив по 15–20 см, очистим концы от лака.

Теперь последовательно соединим три элемента по 1,5 В и соберем схему, как отмечено на рисунке *161*.

а) *б*)

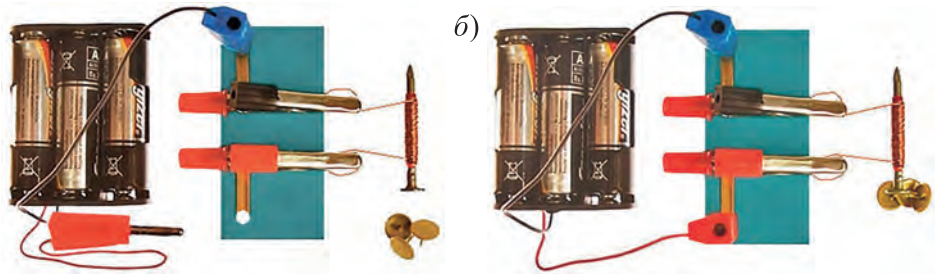


Рис. 161

Перед включением цепи железный стержень приблизим к мелким металлическим предметам (кнопка, скрепка и т.д.) и убедимся в том, что он не притягивает их. Включим цепь. Если теперь приблизить железный стержень к кнопке, то мы увидим, что железный стержень внутри катушки превратился в магнит (*рис. 161 б*).

В технике электромагниты широко используются, например в транспорте, телеграфе, радио, телевидении, электротехнике и т.д.

К примеру, при погрузке железных кусков широко используются электромагниты большой мощности (*рис. 162*). Удобство такого подъемного крана в том, что перевозимый груз не грузится ни на одну опору и не закрепляется. Электромагнитный кран приближают к грузу, который должен быть перевезен, и подключают обмотку к току. В этот же момент груз прилипает к крану, и кран доставляет его в другое место. Как только ток отключается, груз отрывается от крана.

Широко применяются электромагниты в области техники в качестве электромагнитного реле.



Рис. 162

Устройство и принцип работы реле

На рисунке 163 изображена схема простейшего реле[1]. Основная часть реле состоит из электромагнита (*1*). При включении ключа при проходе тока через катушки электромагнит намагничивается и притягивает к себе якорь (*2*). Тем самым якорь подключает контакт (*3*) с рабочей цепью.

К рабочей цепи могут быть подключены различные электропотребители – электродвигатели, электрические лампы и другие электрические приборы. При отключении цепи реле пружина (*4*) и рабочая цепь отключаются. К рабочей цепи подключен двигатель (*5*).

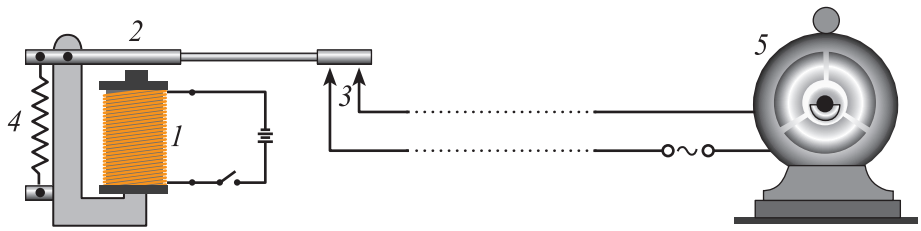


Рис. 163

Для притягивания якоря (2) реле электромагнита к электромагнитной цепи подключается источник с небольшим напряжением, например с напряжением 1,5–4,5 В. При этом для того чтобы якорь притягивался к электромагниту, достаточно провести через катушку слабый ток. А рабочая цепь подключена к электрической цепи с большим напряжением, например с напряжением 220–5000 В, через нее проходит большой ток. Реле позволяет с помощью цепи с маленьким напряжением включать и выключать цепь с большим напряжением.

Примеры применения электромагнитных реле

Электромагнитное поле применяется во всех отраслях физики, особенно в области автоматики.

В проходе при входе в метро используется электромагнитное реле с фотоэлементом. Если вы попытаетесь пройти через контрольно-пропускной автомат, не опустив жетон, с обеих сторон появятся створки и преградят вам путь.

Если вы обратили внимание, из окошечка на одной стороне автомата выходит луч, который попадает в окошко на другой стороне (*рис. 164*). При попадании луча на установленный на противо-

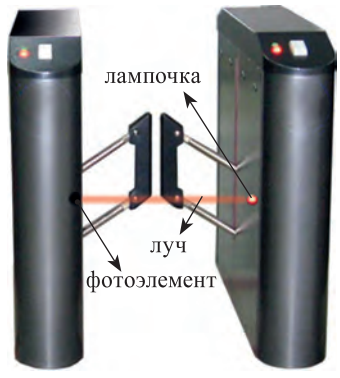


Рис. 164

[1] *Реле* – от фр. relay – означает «передача», «смена».

положной стороне фотоэлемент в нем образуется непрерывный ток, и якорь реле притягивается к электромагниту.

Положение якоря в таком притягивающим состоянии держит рабочую цепь в отключенном состоянии.

Проходя между двумя окошечками, человек загораживает поток луча, и образование тока в фотоэлементе прекращается. Якорь оттягивается от электромагнита, и рабочая цепь замыкается. В рабочую цепь установлены специальные механизмы, которые при прохождении через них тока приводит в движение створки, и проход закрывается.

При выходе человека обратно из прохода луч снова попадает на фотоэлемент, якорь опять притягивается к электромагниту и размыкает рабочую цепь. В этот момент створки возвращаются на свое место, и проход открывается.

В случае опускания жетона в щель автомата рабочая цепь размыкается в другом месте, при этом створки при прохождении человека через световой луч не приходят в движение и не закрывают прохода.



1. Как зависит сила притяжения электромагнита от силы тока, проходящего по нему? Как можно показать эту зависимость на опыте?
2. Как выражается формула силы притяжения электромагнита?
3. Что вы знаете о применении электромагнитов?
4. Объясните устройство и принцип работы электромагнитного реле.
5. В чем состоит задача реле, применяемого в месте прохода в метро?

Упражнение 26

1. Через катушку, внутри которой имеется железный сердечник, проходит ток в направлении, показанном на рисунке *165*. Определите полюса электромагнита, образовавшегося при этом.
Как можно изменить положение полюсов электромагнита?
2. На рисунке 166 показаны полюса электромагнита, полученные при прохождении тока через катушку. Определите направление тока и полюса источника тока.

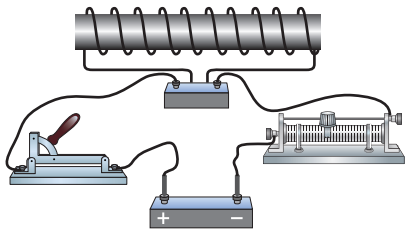


Рис. 165

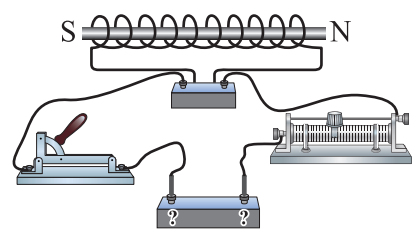


Рис. 166

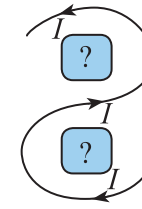


Рис. 167

3. Направление тока в витках катушки подковообразного электромагнита показано стрелками на рисунке 167. Определите полюса электромагнита.

4. Покажите, используя правило буравчика и правило левой руки, что параллельные проводники тока, направленные в одну сторону, притягивают друг друга, а параллельные проводники тока, направленные в противоположную сторону, отталкиваются один от другого.



Возьмите железный стержень длиной 5–6 см и обмотайте его изолированным проводом. Число витков должно быть 10–20. Концы провода соедините с гальваническим элементом. К подготовленному простейшему электромагниту приблизьте различные легкие железные предметы. Запишите в тетради о сборке и работе простейшего электромагнита.

§ 58

Лабораторная работа.
СБОРКА ПРОСТЕЙШЕГО ЭЛЕКТРОМАГНИТА И ИСПЫТАНИЕ ЕГО ДЕЙСТВИЯ

Цель работы: сборка простейшего электромагнита и испытание его действия.

Необходимые принадлежности: источник тока, реостат, ключ, соединительные провода, компас, катушка, железный сердечник.

Порядок выполнения работы

1. Соберите электрическую цепь из источника тока, реостата, катушки и ключа (*рис. 168*).

2. Начертите схему собранной электрической цепи.

3. Включив цепь, определите полюса катушки с помощью компаса.

4. Отодвигайте компас от катушки вдоль ее оси до тех пор, пока воздействие магнитного поля резко не уменьшится.

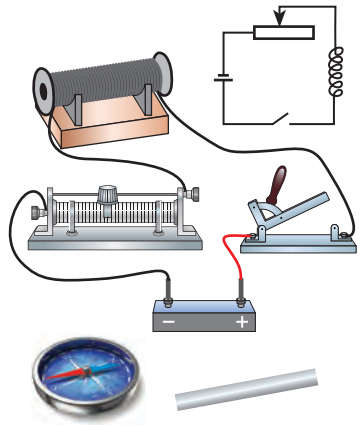


Рис. 168

5. Установив внутрь катушки железный сердечник, понаблюдайте за воздействием, оказываемым электромагнитом на стрелку компаса, и сделайте выводы. Выводы запишите в тетради.



1. Из каких элементов состоит простейшая электрическая цепь?
2. Как собирается простейший электромагнит?
3. Каково направление силовых линий собранного электромагнита?

§ 59 ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Устройство электродвигателя

Электродвигатель постоянного тока **– установка, состоящая из двух основных частей – статора и ротора, превращающая электрическую энергию постоянного тока в механическую энергию.**

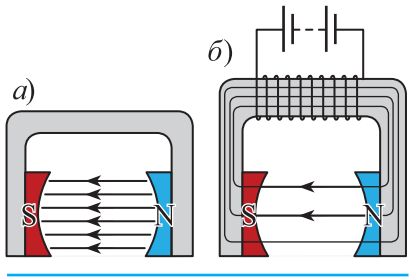


Рис. 169

«Статор» в переводе с латинского языка означает «неподвижный». Статор состоит из постоянного магнита (*рис. 169 а*) или электромагнита (*рис. 169 б*). Статор укрепляется в корпус двигателя.

«Ротор», в переводе с латинского языка означает «вращать». Ротор составляет вращающуюся часть двигателя. Основная часть ротора состоит из одной или нескольких катушечных рамок и коллектора. Концы проводов на витках рамки подключены к кольцам коллектора. Коллектор вращается вместе с рамкой. На внешней части колец коллектора неподвижно закреплены две угольные щетки, которые с помощью специальных пружин плотно прижимаются к кольцам коллектора. Электрический ток в цепи проходит к кольцам коллектора через эти щетки.

Принцип работы электродвигателя

Для удобства рассмотрим принцип работы простейшего двигателя, состоящего из ротора с одного рамкой (*рис. 170*). Коллектор двигателя состоит из двух полуколец, к которым плотно прилегают щетки *A* и *B*. К ним подсоединены провода, идущие от двух полюсов источника тока. От источника ток проходит по щетке, коллектору и рамке в направлении *A*-1-2-3-4-*B* (*рис. 170 а*). Под воздействием магнитного поля рамка устанавливается перпендикулярно силовым линиям магнитного поля. При этом щетки *A* и *B* не касаются колец коллектора, и ток перестает проходить через рамку (*рис. 170 б*). Однако рамка по инерции продолжает вращаться и устанавливается параллельно силовым линиям магнитного поля (*рис. 170 в*). При этом щетки касаются колец коллектора, и через рамку проходит ток в направлении *A*-4-3-2-1-*B*. Под воздействием магнитного поля рамка стремится опять установиться в перпендикулярное положение. Процесс продолжается, и рамка беспрерывно вращается.

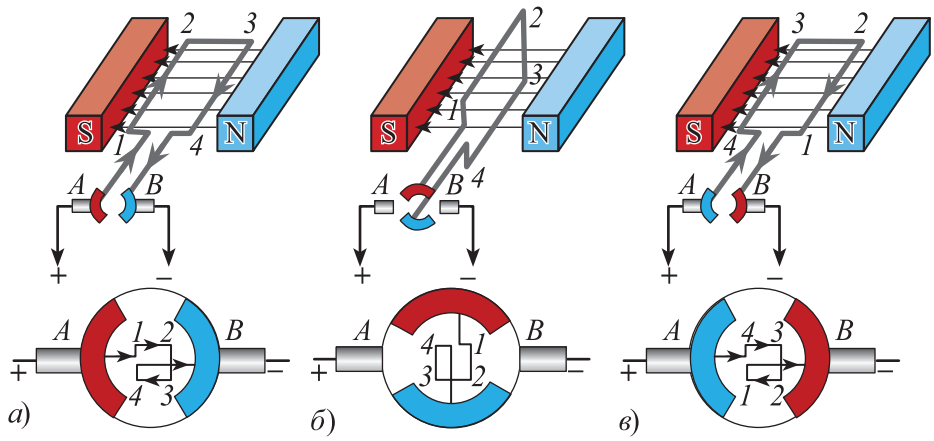


Рис. 170

Движение рамки с током, вращающейся под воздействием магнитного поля, по оси ротора передается и на другие механизмы.

На практике не используются двигатели, состоящие из ротора с одной рамкой, так как в них рамка вращается и не способна вращать ось ротора. Переходя из перпендикулярного положения к параллельному относительно магнитных силовых линий, рамка совершает медленные и слабые вращательные движения.

На рисунке *171* изображен электродвигатель с двумя рамками. При этом рамки закрепляются на одну ось перпендикулярно друг другу.

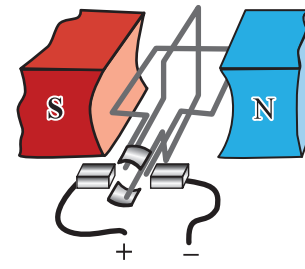


Рис. 171

Оболочек коллектора будет не две, а четыре.

В роторе с двумя рамками при прохождении тока через первую рамку, расположенную параллельно магнитным силовым линиям, под воздействием магнитного поля она стремится занять перпендикулярное положение. В то время, когда первая рамка будет в перпендикулярном положении, ток проходит по второй рамке, расположенной параллельно магнитным силовым линиям, и теперь она стремится занять перпендикулярное положение. Так рамки равномерно вращают ротор.

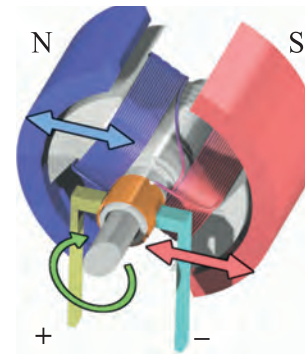


Рис. 172

Для увеличения мощности двигателей, применяемых в технике, ротор делают многорамочным, в них витки проводов размещают в канавки железного цилиндра. В этом случае железный цилиндр выполняет функцию сердечника. На рисунке *172* изоб-



Рис. 173.

ражено поперечное сечение ротора и статора, имеющего 6 рамок и железный сердечник.

На рисунке *173* показан широко используемый электродвигатель с большой мощностью.

Применение электродвигателей

Электродвигатели по сравнению с тепловыми двигателями имеют большие преимущества. Во-первых, электродвигатели более компактны, чем тепловые двигатели, и удобны при использовании, их можно установить в любом удобном месте. Во-вторых, при работе не выделяются газ, дым и пар. В-третьих, для них не нужны топливо и вода. В-четвертых, коэффициент полезного действия электродвигателей более 80%, а тепловых двигателей – не более 20%.



Рис. 174

Преимущества электродвигателей: компактны, удобны в использовании, не загрязняют воздух, не требуют материальных затрат, высокий коэффициент полезного действия.

Электродвигатели производят с расчетом на любую мощность. Например, если в электрической бритве мощность двигателя несколько ватт, то мощность электродвигателей электровоза, корабля составляет несколько мегаватт.

В различных бытовых приборах – в фене, дрели, точильном станке (*рис. 174*), вентиляторе, холодильнике, швейной и стиральной машинах – установлены электродвигатели. На предприятиях электродвигатели приводят в движение различные станки и машины. В сельском хозяйстве с использованием электродвигателей работают насосы, молотильные машины, элеваторы.

Электродвигатели приводят в действие трамваи, троллейбусы, поезда метро, электровозы и электромобили.

Широкое применение электродвигателей в различных областях облегчает труд человека, создает благоприятные условия деятельности.



1. В какую энергию превращается энергия электрического тока в электрическом двигателе постоянного тока?
2. Объясните устройство электродвигателя.
3. Расскажите о принципе действия электродвигателя.
4. Какие преимущества имеет электродвигатель?
5. Что вы знаете о применении электродвигателей?



Рассмотрите электродвигатели, используемые в электроприборах (например, в электробритве, вентиляторе, магнитофоне, швейной или стиральной машине), и запишите свои соображения в тетради.

§ 60 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задача 1. Какая сила действует на протон, движущийся со скоростью $2 \cdot 10^7$ м/с перпендикулярно к линиям индукции в магнитном поле с индукцией 0,6 Тл?

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$B = 0{,}6$ Тл $\upsilon = 2 \cdot 10^7$ м/с $q = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.	$F = q\,\upsilon\,B$; $[F] = \text{Кл} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \text{Тл} =$ $= \text{Кл} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} = \text{Н}.$	$F = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^7 \cdot 0{,}6$ Н $=$ $= 1{,}92 \cdot 10^{-12}$ Н $= 1{,}92$ пН.
Найти: $F = ?$		*Ответ:* $F = 1{,}92$ пН.

Задача 2. Заряженная частица, скорость которой $3{,}5 \cdot 10^7$ м/с, влетает перпендикулярно к направлению силовых линий магнитного поля с индукцией 0,2 Тл. Каким был заряд частицы, если на заряд со стороны поля действовала сила 3,36 пН?

Дано:	*Формула:*	*Решение:*
$\upsilon = 3{,}5 \cdot 10^7$ м/с $B = 0{,}2$ Тл $F = 3{,}36$ пН $= 3{,}36 \cdot 10^{-12}$ Н.	$F = q\,\upsilon\,B$; $[q] = \frac{\text{Н}}{\frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}} = \text{А} \cdot \text{с} = \text{Кл}.$	$q = \frac{3{,}36 \cdot 10^{-12}}{3{,}5 \cdot 10^7 \cdot 0{,}2}$ Кл $=$ $= 4{,}8 \cdot 10^{-19}$Кл.
Найти: $q = ?$		*Ответ:* $q = 4{,}8 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Упражнение 27

1. Электрон влетает в однородное магнитное поле со скоростью $2 \cdot 10^6$ м/с перпендикулярно ему. Определите силу, действующую магнитным полем с индукцией 0,8 Тл.

2. Частица со скоростью $4 \cdot 10^7$ м/с и зарядом $3{,}2 \cdot 10^{-19}$ Кл влетает перпендикулярно к направлению силовых линий магнитного поля. Какова была индукция магнитного поля, если на частицу со стороны поля воздействовала сила 6,4 пН?

3. В магнитное поле с индукцией 0,4 Тл перпендикулярно к линиям индукции влетела частица. Какова была скорость частицы, если сила, воздействующая на нее, равна 0,64 пН?

4. Протон, движущийся со скоростью $2 \cdot 10^8$ м/с, влетел перпендикулярно к направлению линий индукции магнитного поля. Какая сила действует на протон со стороны магнитного поля, если индукция магнитного поля 0,4 Тл?

5. На ион, влетевший в магнитное поле со скоростью $2 \cdot 10^6$ м/с перпендикулярно линиям индукции магнитного поля с индукцией 0,3 Тл, со стороны поля действует сила 0,48 пН. Каков был заряд иона?

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ ГЛАВЫ V

1. При прохождении током каких сред наблюдается магнитное влияние электрического тока?

А) через электролит; Б) через металл;

В) через вакуум; Г) через любую среду.

2. Какое поле образуется вокруг проводника при проходе постоянного тока?

А) электрическое поле; Б) магнитное поле;

В) электромагнитное поле; Г) гравитационное поле.

3. На рисунках изображены 4 пары направления прохождения тока. В каком случае они взаимно притягиваются?

А) ↑↓; Б) →←; В) ↓↓; Г) →↓.

4. На рисунках изображены 4 пары направления прохождения тока. В каком случае они взаимно отталкиваются?

А) ↑↓; Б) →→; В) ↓↓; Г) →↓.

5. В перпендикулярном направлении к линиям индукции магнитного поля влетают электрон и протон. Масса протона в 1800 раз больше массы электрона. На какую из частиц силы Лоренца окажут большее влияние?

А) на электрон; Б) на протон;

В) одинаково на электрон и протон; Г) сила воздействия равна нулю.

6. Как изменяет сила Лоренца скорость движущейся заряженной частицы?

А) увеличивает скорость; Б) уменьшает скорость;

В) не изменяет скорость; Г) изменяет направление скорости.

7. Направление каких величин определяется правилом левой руки?

А) силы Ампера; Б) силы Кулона;

В) силы Лоренца; Г) силы Ампера и Лоренца.

8. Какая сила (Н) действует на протон, который влетел в магнитное поле со скоростью $3 \cdot 10^7$ м/с перпендикулярно силовым линиям однородного магнитного поля, индукция которого 20 мТл?

А) $3{,}2 \cdot 10^{-16}$; Б) $9{,}6 \cdot 10^{-14}$; В) $4{,}8 \cdot 10^{-18}$; Г) $6{,}4 \cdot 10^{-15}$.

9. Металлический проводник длиной 25 см установили на магнитном поле с индукцией 0,8 Тл. Какая сила (мН) действует на проводник со стороны магнитного поля, если через него проходит ток 0,6 А?

А) 480; Б) 240; В) 120; Г) 640.

10. На проводник длиной 40 см со стороны магнитного поля действует сила 60 мН, и через проводник проходит ток 1,25 А. Определите индукцию магнитного поля, где находится проводник.

А) 0,24; Б) 0,12; В) 0,15; Г) 0,36.

11. На проводник длиной 8 см, расположенный перпендикулярно магнитным силовым линиям, действует сила 96 мН; индукция магнитного поля 0,6 Тл. Какова была сила тока (А) в проводнике?

А) 2; Б) 1,8; В) 3,6; Г) 1,2.

12. В магнитное поле с индукцией 0,5 Тл влетела заряженная частица, движущаяся со скоростью $2 \cdot 10^6$ м/с в перпендикулярном направлении к силовым линиям индукции магнитного поля. Каков был заряд (Кл) частицы, если со стороны магнитного поля на заряд действовала сила 0,8 пН?

А) $3{,}2 \cdot 10^{-19}$; Б) $4{,}8 \cdot 10^{-19}$; В) $6{,}4 \cdot 10^{-19}$; Г) $8 \cdot 10^{-19}$.

13. Частица, имеющая скорость $5 \cdot 10^7$ м/с, с зарядом $6{,}4 \cdot 10^{-19}$ Кл, влетела в магнитное поле перпендикулярно направлению магнитных силовых линий. Какой была индукция магнитного поля (Тл), если поле действовало на частицу с силой 8 пН?

А) 0,5; Б) 0,8; В) 0,25; В) 0,32.

14. Проводник длиной 30 см расположен перпендикулярно линиям индукции магнитного поля, индукция которого 0,6 Тл. Через поперечное сечение проводника за одну минуту протекает заряд 80 Кл. Какая сила (Н) действует на проводник со стороны магнитного поля?

А) 0,12; Б) 0,24; В) 0,08; Г) 0,16.

ВАЖНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ V

Постоянный магнит	Тела, долгое время не теряющие своих магнитных свойств.
Магнитное поле	Существует вокруг постоянного магнита, намагниченных тел или вокруг проводника, через который проходит ток.
Магнитные силовые линии	Состоят из замкнутых линий, проходящих от северного полюса магнита к южному полюсу.
Полюса магнита	Южный полюс магнита обозначают буквой S, северный полюс – буквой N. В качестве направления магнитных силовых линий принято направление от полюса N к полюсу S.
Южный магнитный полюс Земли	Расположен примерно на расстоянии 2 100 км от Северного географического полюса Земли вблизи 75° южной широты и 99° западной долготы.
Северный магнитный полюс Земли	Расположен на 66,5° южной широты и 140° восточной долготы вблизи южного географического полюса Земли.
Сила Ампера	Сила, действующая на часть проводника тока, расположенного перпендикулярно силовым линиям магнитного поля, пропорциональна силе тока, длине проводника и индукции магнитного поля, т.е.: $F = B\,I\,\Delta l$.
Силовые линии магнитного поля прямого тока	Если направление поступательного движения буравчика совпадает с направлением тока, то вращательное направление рукоятки буравчика показывает направление магнитных силовых линий этого тока.
Электромагнит	Катушка, полученная наматыванием на железный сердечник изолированного проводника в несколько слоев.
Сила Лоренца	Сила, действующая со стороны магнитного поля на заряженную частицу, движущуюся перпендикулярно силовым линиям этого поля: $F_L = q\,\upsilon\,B$.
Правило левой руки	Держать ладонь левой руки так, чтобы магнитные силовые линии в нее входили; если четыре пальца держать по направлению тока, то раскрытый на 90° большой палец показывает направление силы, действующей на проводник.

ОТВЕТЫ К УПРАЖНЕНИЯМ

Глава I

Упражнение 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. $q_e = -1{,}28 \cdot 10^{-18}$ Кл; $m = 7{,}28 \cdot 10^{-30}$ кг.

Упражнение 2. 1. $F = 11{,}52$ мН. 2. $q = 10$ нКл. 3. $r = 6$ см. 4. $\approx 4{,}2 \cdot 10^{42}$ раза.

Упражнение 3. 1. $q = 5{,}2$ пКл. 2. $N = 2{,}5 \cdot 10^{10}$. 3. $q = 4 \cdot 10^{-6}$Кл. 4. увеличиваете 1,8 раз. 5. $r = 10$ см. 6. $N \approx 10^{11}$. 7. $F = 10$ мкН. 8. $F = 9$ мН.

Упражнение 4. 1. $E = 10^4$ Н/Кл 2. $F = 60$ мкН. 3. $E = 160$ Н/Кл. 4. $r = 6$ см.

Упражнение 5. 1. $E = 400$ Н/Кл. 2. $q = 6$ нКл. 3. $N = 8 \cdot 10^{11}$. 4. $E = 3000$ Н/Кл. 5. $\varepsilon = 2$. 6. $m = 4{,}5 \cdot 10^{-18}$ кг. 7. $E = 3000$ Н/Кл.

Глава II

Упражнение 6. 1. $U = 3$ В. 2. $A = 50$ Дж. 3. $q = 50$ Кл. 4. $N = 5 \cdot 10^{19}$.

Упражнение 7. 1. $I = 0{,}1$ А. 2. $q = 9$ Кл. 3. $q = 48$ Кл; $N = 3 \cdot 10^{20}$. 4. $m \approx 2{,}7$ нкг. 5. $U = 5$ В. 6. $t = 20$ минут. 7. $q = 6000$ Кл. 8. $q = 72$ Кл; $N = 4{,}5 \cdot 10^{20}$. 9. $A = 1200$ Дж. 10. $U = 4$ В.

Упражнение 8. 1. $R = 0{,}85$ Ом. 2. Никелин. 3. $R_1/R_2 = 300$. 4. $l = 2{,}5$ м. 5. $S = 0{,}5$ мм^2. 6. не меняется. 7*. $V = 27{,}5$ см^3.

Упражнение 9. 1. $I = 0{,}1$ А. 2. $U = 220$ В. 3. $U = 6$ В. 4. $I = 0{,}2$ А. 5. $l = 10$ м. 6*. $I = 40$ мА.

Упражнение 10. 1. $R = 1{,}5$ Ом. 2. $I = 0{,}2$ А. 3. $n = 1{,}25 \cdot 10^{19}$. 4. $l = 5$ м. 5. $U = 165$ В. 6. $I = 2{,}5$ А. 7. Сопротивление провода увеличивается в 4 раза.

Упражнение 11. 1. $U_1 = 2$ В; $U_2 = 4$ В; $R = 15$ Ом; $U = 6$ В. 2. $I = 0{,}2$ А; $U_1 = 0{,}8$ В; $U_2 = 2$ В; $U_3 = 3{,}2$ В. 3. $U_1 = 165$ В; $U_2 = 55$ В. 4. $U_{AB} = 45$ В.

Упражнение 12. 1. $R = 2$ Ом. 2. $R = 5$ Ом. 3. $I = 0{,}8$ А. 4. $R = 24$ Ом; $I = 1{,}5$ А. 5. $I_2 = 1{,}8$ А.

Упражнение 13. 1. $R = 3$ Ом. 2. $I = 3$ А; $U = 15$ В 3. $I = 1{,}2$ А.

Упражнение 14. 1. Увеличивается в 2,1 раза. 2. $C = 1{,}25$ мкФ. 3. $q = 1{,}2$ мкКл. 4. $C = 4{,}425$ пФ. 5. $U = 14$ В.

Упражнение 15. 1. $C_{um} = 16$ мкФ; $q_1 = 36$ мкКл; $q_2 = 60$ мкКл; $q_1 = 96$ мкКл. 2. $C = 6$ мкФ. 3. Увеличивается в 4 раза. 4. Да, можно. 1 и 2 конденсаторы, параллельно. К ним последовательно подключается конденсатор 3.

Упражнение 16. 1. $\varepsilon = 3$. 2. $q = 0{,}53$ нКл. 3. $d = 5$ мм. 4. 4 с емкостью 30 пФ и 3 с емкостью 70 пФ. 5. $U = 7$ В.

Глава III

Упражнение 17. 1. $A = 528$ кДж. 2. $A = 216$ Дж. 3. $A = 10{,}584$ кДж.
4. $W = 270$ Дж. 5. $W = 396$ кДж.

Упражнение 18. 1. $P = 880$ Вт. 2. $R = 3{,}6$ Ом. 3. $R = 40$ Ом. 4. $W = 440$ кВт·ч.
5. $A = 52{,}8$ кДж. 6. $R_1 = 4840$ Ом; $R_2 = 3227$ Ом; $I_1 = 45{,}4$ мА;
$I_2 = 68{,}2$ мА. 7. $N = 5 \cdot 10^{21}$. 8. $P_1 = 20$ Вт. 9. $P_1 = 10$ Вт.
10. При параллельном соединении обогревателей вода нагревается быстрее, так как при параллельном соединении проводников сопротивление цепи уменьшается, и через цепь проходит больше тока.

Упражнение 19. 1. $Q = 600$ кДж. 2. $Q = 8712$ кДж. 3. Нихром.
4. $P = 3520$ Вт. 5. $I = 2$ А.

Упражнение 20. 1. $I = 5$ А. 2. $Q = 5{,}76$ МДж. 3. $Q = 2904$ кДж. 4. $I = 10$ А.
5. $P = 2{,}2$ кВт. 6. $Q_1 = 1{,}5\ Q_2$. 7. $I = 2{,}5$ А; $R = 88$ Ом.
8. $A = 28{,}8$ кДж. 9. $A_1 = 1250$ Дж.

Упражнение 21. 1. $S = 4$ мм². 2. $I = 4{,}2$ мА. 3. $U = 242$ В.
4. $Q_2 = 22{,}5$ Дж. 5. $Q_2 = 10$ Дж.

Глава IV

Упражнение 22. 1. $m = 4{,}11$ мг. 2. $q = 8{,}9$ Кл.
3. $I = 9{,}1$ мА. 4. $k = 0{,}329 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл.

Упражнение 23. 1. $I = 9$ мА. 2. $m = 4{,}025$ кг. 3. $S = 184$ см². 4. $m = 2{,}6$ мг.
5. $q = 1408$ Кл. 6. $k = 2{,}04 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл.

Упражнение 24. 1. $N = 5 \cdot 10^{16}$. 2. $N \approx 1{,}7 \cdot 10^{17}$. 3. $a \approx 7 \cdot 10^{14}$ м/с².

Глава V

Упражнение 25. 1. $F = 1{,}2$ Н. 2. $I = 1$ А. 3. $B = 2$ мТл. 4. $I = 0{,}1$ А.
5. $F = 1{,}6$ Н. 6. $F = 6{,}4$ мН.

Упражнение 26. 1. Зная направление тока, применим правило правого буравчика. Левая сторона плоскости чертежа имеет полюс S, правая сторона имеет полюс N.
2. Направление тока и полюса источника будут, как в первом упражнении.
3. В верхней части чертежа, согласно правилу правого буравчика, вектор магнитной индукции направлен перпендикулярно нашей стороне от плоскости чертежа. В нижней части – перпендикулярно плоскости чертежа и направлен от нас.

Упражнение 27. 1. $F = 2{,}56 \cdot 10^{-13}$ Н. 2. $B = 0{,}5$ Тл. 3. $\upsilon = 10^7$ м/с.
4. $F = 1{,}28 \cdot 10^{-11}$ Н. 5. $q = 8 \cdot 10^{-19}$ Кл.

скачано с сайта www.idum.uz

ОТВЕТЫ К ТЕСТОВЫМ ЗАДАНИЯМ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

Глава I

1. Г	2. Г	3. В	4. Г	5. Г	6. Г	7. Г	8. Г	9. В	10. А	11. Б

Глава II

1. Б	2. Б	3. В	4. В	5. А	6. А	7. А	8. В
9. Б	10. В	11. Г					

Глава III

1. Б	2. В	3. Б	4. Г	5. А	6. А	7. Б	8. А
9. Г	10. А	11. В	12. Б	13. В	14. Г	15. В	16. Б

Глава IV

1. Б	2. Г	3. В	4. В	5. А	6. Г	7. Г	8. Б	9. А	10. Б

Глава V

1. Б	2. Б	3. В	4. А	5. В	6. Г	7. Г	8. Б
9. В	10. Б	11. А	12. Г	13. В	14. Б		

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *P. Habibullayev, A. Boydedayev, A. Bahromov, M. Yuldasheva.* Fizika, 8-sinf darsligi. Toshkent. G‘.G‘ulom nomidagi nashriyot-matbaa ijodiy uyi. 2014.
2. *N. Sh. Turdiyev.* Fizika, 8-sinf darsligi. Toshkent. G‘.G‘ulom nomidagi nashriyot-matbaa ijodiy uyi. 2016.
3. *L. Xudoyberdiyev, A. Husanov, J. Usarov.* Fizika. Elektrodinamika. Elektromagnit tebranishlar, 2-kitob. – T.: «O‘qituvchi», 2004.
4. *Е.В. Громыко, В.И. Зенкович, А.А. Луцевич, И.Э. Слесарь.* Физика, 8 класс. Минск. «Аудакцыя і выхаванне», – 2013.
5. *A.I. Ergashev, K.T. Suyarov, N.B. G‘afurov, R.Q. Choriyev.* «Umumta’lim maktablarida fizika fanidan laboratoriya ishlarini o‘tkazish» bo‘yicha uslubiy qo‘llanma. – T.: «Talqin». 2003.
6 *K.A. Tursunmetov* va boshq. Fizikani takrorlang. – T.: «O‘qituvchi» NMIU. 2007.
7. *В.И. Лукащик.* Qiziqarli fizika. Savol va masalalar to‘plami. G‘.G‘ulom nomidagi nashriyot-matbaa ijodiy uyi, 2016.
8. Oliy o‘quv yurtlariga kiruvchilar uchun test savollari. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Davlat test markazi. «Axborotnoma». Toshkent. 1996–2003-yillar.

скачано с сайта www.idum.uz

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3

ГЛАВА I.
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

§ 1. Заряжение тел 4
§ 2. Электрический заряд 9
§ 3. Взаимодействие зарядов. Закон Кулона 12
§ 4. Решение задач 15
§ 5. Электрическое поле 18
§ 6. Распределение электрических зарядов в проводниках 22
§ 7. Решение задач 25
§ 8. Электрические явления в природе 27
Тестовые задания для повторения главы I 30
Важные выводы по главе I 31

ГЛАВА II.
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

§ 9. Понятие об электрическом токе 32
§ 10. Источники тока 34
§ 11. Электрическое напряжение и его измерение 39
§ 12. Сила тока и ее измерение 42
§ 13. Решение задач 45
§ 14. Лабораторная работа. Сборка электрической цепи, измерение силы и напряжения тока на различных участках цепи 46
§ 15. Электрическое сопротивление 47
§ 16. Резисторы. Реостаты. Потенциометры 52
§ 17. Закон Ома для участка цепи 56
§ 18. Решение задач 60
§ 19. Лабораторная работа. Изучение закона Ома 61
§ 20. Практическое занятие. Регулирование силы тока с помощью реостата 63
§ 21. Последовательное соединение потребителей 64

скачано с сайта www.idum.uz

§ 22. Параллельное соединение потребителей 67
§ 23. Практическое занятие. Соединение источников тока 71
§ 24. Лабораторная работа. Изучение последовательного и параллельного соединения проводников 72
§ 25. Смешанное соединение потребителей (Для самостоятельного чтения) 75
§ 26. Решение задач 76
§ 27. Электроемкость. Конденсаторы 78
§ 28. Параллельное и последовательное соединение конденсаторов 82
§ 29. Решение задач 84
Тестовые задания для повторения главы II 86
Важные выводы по главе II 87

ГЛАВА III.
РАБОТА И МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

§ 30. Работа электрического тока 88
§ 31.Мощность электрического тока 90
§ 32. Решение задач 94
§ 33. Лабораторная работа. Определение электрической мощности потребителя (лампочки) 96
§ 34. Нагревание проводников под влиянием электрического тока 97
§ 35. Решение задач 100
§ 36. Практическое применение закона Джоуля–Ленца 102
§ 37. Электрические цепи и соединения в жилищах 104
§ 38. Меры электрической безопасности 108
§ 39. Решение задач 111
Тестовые задание для повторения главы III 112
Важные выводы по главе III 114

ГЛАВА IV.
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

§ 40. Электрический ток в металлах 115
§ 41. Электрический ток в жидкостях 117
§ 42. Электролиз. Первый закон Фарадея 120
§ 43. Второй закон Фарадея 123

скачано с сайта www.idum.uz

§ 44. Решение задач 125
§ 45. Применение электролиза в быту и технике 127
§ 46. Электрический ток в вакууме 129
§ 47. Электрический ток в газах 131
§ 48. Виды электроразрядов и их использование 133
Тестовые задания для повторения главы IV 137
Важные выводы по главе IV 138

ГЛАВА V.
МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

§ 49. Магнитное поле. Постоянный магнит и его полюса 139
§ 50. Параметры, характеризующие магнитное поле 143
§ 51. Магнитное поле Земли 145
§ 52. Магнитное поле тока 146
§ 53. Действие магнитного поля на проводник с током 149
§ 54. Решение задач 151
§ 55. Круговое движение рамки с током в однородном магнитном поле 153
§ 56. Движение заряженной частицы в магнитном поле 155
§ 57. Электромагниты. Электромагнитное реле 157
§ 58. Лабораторная работа. Сборка простейшего электромагнита и испытание его действия 161
§ 59. Электродвигатель постоянного тока 162
§ 60. Решение задач 165
Тестовые задания для повторения главы V 166
Важные выводы по главе V 168

Ответы к упражнениям 169
Ответы к тестовым заданиям для повторения 171
Использованная литература 171

скачано с сайта www.idum.uz

O‘quv nashri

Po‘lat Qirgizboyevich Habibullayev, Ahmadjon Boydedayev,
Akbar Dalaboyevich Bahromov,
Jabbor Eshbekovich Usarov, Kusharbay Tashbayevich Suyarov,
Moxidilxan Kamaldojonovna Yuldasheva

FIZIKA

(Rus tilida)

Umumiy o‘rta ta’lim maktablarining
8-sinfi uchun darslik

Qayta ishlangan va to‘ldirilgan 3-nashri

«O‘QITUVCHI» nashriyot-matbaa ijodiy uyi
Toshkent – 2019

Original-maket «DAVR NASHRIYOTI» MChJ da tayyorlandi.

Переводчик *Д. Сагдуллаева*
Редактор *Ф. Хамидова*
Дизайнер-оформитель *Р. Запаров*
Корректор *Ф. Хамидова*
Компьютерная верстка *Е. Беляцкая*
Набор *С. Ниязова*

Издательская лицензия AI № 012. 20.07.2018. Подписано в печать с оригинал-макета 06.08.2019. Формат 70×100 1/16. Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Бумага офсетная. Усл п. л. 14,19. Учетно-издательские л. 13,9. Тираж 69 086 экз. Заказ № 173-19.

Агентство информации и массовых коммуникаций при Администрации Президента Республики Узбекистан. Издательско-полиграфический творческий дом «O‘qituvchi» Ташкент – 206, массив Юнусабад, ул. Янгишахар, дом 1. Договор № 79-19.

Агентство информации и массовых коммуникаций при Администрации Президента Республики Узбекистан. Отпечатано в типографии издательско-полиграфического творческого дома им. Г. Гуляма. Ташкент – 100128, ул. Лабзак, 86.

скачано с сайта www.idum.uz

Сведения о состоянии учебника, выданного в аренду

№	Имя, фамилия ученика	Учебный год	Состояние учебника при получении	Подпись классного руководителя	Состояние учебника при сдаче	Подпись классного руководителя
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						

Таблица заполняется классным руководителем при передаче учебника в пользование и возвращении назад в конце учебного года.

При заполнении таблицы используются следующие оценочные критерии:

Новый учебник	Состояние учебника при первой передаче.
Хорошо	Обложка цела, не оторвана от основной части книги. Все страницы в наличии, не порваны, на страницах нет записей и помарок.
Удовлетворительно	Обложка не смята, слегка испачкана, края стёрты. Удовлетворительно восстановлен пользователем. Вырванные страницы восстановлены, но некоторые страницы исчерчены.
Неудовлетворительно	Обложка испачкана, порвана, корешок оторван от основной части книги или совсем отсутствует. Страницы порваны, некоторых вообще не хватает, имеющиеся исчерчены. Учебник к дальнейшему пользованию не пригоден, восстановить нельзя.