



ИНЖЕНЕРЫ
БУДУЩЕГО



ФИЗИКА

8

Часть 2

УГЛУБЛЁННЫЙ
УРОВЕНЬ





ФИЗИКА

ИНЖЕНЕРЫ БУДУЩЕГО

8

КЛАСС

Углублённый уровень

Учебник

В двух частях

Часть 2

Под редакцией Ю. А. Панебратцева

Допущено Министерством просвещения
Российской Федерации

МОСКВА
«ПРОСВЕЩЕНИЕ»
2024

УДК 373.167.1:53+53(075.3)
ББК 22.3я721.6
Ф50



Учебник и разработанные в комплекте с ним учебные пособия допущены к использованию при реализации основных образовательных программ начального общего, основного общего, среднего общего образования в соответствии с Приказом Министерства просвещения Российской Федерации № 858 от 21.09.2022 г. (в ред. Приказа Минпросвещения России № 119 от 21.02.2024 г.)

Авторы: В. В. Белага, Н. И. Воронцова, И. А. Ломаченков, Ю. А. Панебратцев

**Физика : инженеры будущего : 8-й класс : углублённый
Ф50 уровень : учебник : в 2 частях / В. В. Белага, Н. И. Воронцова, И. А. Ломаченков, Ю. А. Панебратцев ; под ред. Ю. А. Панебратцева. — Москва : Просвещение, 2024.**

ISBN 978-5-09-112669-3.

Ч. 2. — 160 с. : ил.

ISBN 978-5-09-112671-6.

Общая концепция учебно-методического комплекса, который включает печатные издания и электронные ресурсы, в том числе сайт поддержки УМК, разработана научными сотрудниками Объединённого института ядерных исследований (ОИЯИ), преподавателями Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» и специалистами Госкорпорации «Росатом».

Учебники и пособия написаны коллективом авторов под руководством доктора физико-математических наук, профессора Ю. А. Панебратцева в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования, утверждённого Приказом Министерства просвещения Российской Федерации № 287 от 31.05.2021 г., и Федеральной рабочей программой по физике углублённого уровня от 18.05.2023 г.

Данный учебник продолжает предметную линию «Инженеры будущего» по физике, предназначенную для организации предпрофильной подготовки учащихся. Материал выстроен в логике деятельностного подхода. Система заданий направлена на формирование важных компетенций, которые позволяют: научно объяснять природные и технологические явления; применять методы естественно-научного исследования и предлагать научные способы решения проблем; интерпретировать данные и использовать научные доказательства, представленные в различных формах. Помимо предметного содержания, в курсе предполагается развитие представлений о сферах профессиональной деятельности, связанных с современным естественнонаучением.

УДК 373.167.1:53+53(075.3)
ББК 22.3я721.6

ISBN 978-5-09-112671-6 (ч. 2)
ISBN 978-5-09-112669-3

© АО «Издательство «Просвещение», 2024
© Художественное оформление.
АО «Издательство «Просвещение», 2024
Все права защищены

ВВЕДЕНИЕ

Слово «инженер» берёт своё начало от латинского *ingenium*, что означает «врождённая способность, дарование, ум, изобретательность». Во все эпохи развития человечества инженерная деятельность была чрезвычайно важна, именно она обеспечивала соответствующее состояние техники и технологии, уклад жизни и способствовала техническому прогрессу. Сегодня профессия инженера является одной из наиболее востребованных, ведь с увеличением скорости изменений, происходящих практически во всех областях техники и технологий, растёт потребность в высококвалифицированных специалистах, способных не только производить и совершенствовать существующие технические устройства, но и создавать новые.

Курс физики является одним из ключевых курсов при подготовке специалистов, планирующих заниматься инженерной деятельностью. Физика изучает общие закономерности явлений природы, её понятия и законы лежат в основе всего естествознания.

Физика — это экспериментальная наука. Её законы основываются на фактах, установленных при помощи опытов. Открывая физические законы, человек смог применять их для своих целей: создал мощнейшие машины и механизмы, научился управлять внутриядерной энергией, вышел в космическое пространство. Работа технических устройств, с которыми человек сталкивается дома, на работе и на улице, без которых сегодня немыслима жизнь человечества, основана на правильном применении законов природы, изучаемых физикой.

Физика — точная наука и изучает количественные закономерности явлений, которые записываются в виде формул, поэтому физика «говорит» на языке математики.

Современная физика — это бурно развивающаяся наука, охватывающая многие области знаний человечества.

Материал учебника разделён на тематические главы, которые состоят из параграфов. В начале каждой главы приводится высказывание одного из великих учёных, которое отражает суть содержания темы.

В тексте каждого параграфа важные для осмысления и запоминания термины и понятия выделены **жирным шрифтом** или *курсивом*.

Каждый параграф начинается с вводных рубрик «Новое в уроке» и «Повторим изученное». Рубрика «Новое в уроке» познакомит вас с основными вопросами, которые изучаются в параграфе. Рубрика «Повторим изученное» подскажет, что необходимо вспомнить из ранее изученного материала, для того чтобы усвоить новый.

Текст, содержащийся в рубрике «Важно!», отражает ключевые аспекты изучаемого материала, а также наиболее важные формулы, термины и физические законы.

Информация о традиционном эксперименте, на основе которого строится объяснение материала параграфа, выделена в рубрике «Исследование».

В рубрике «Это интересно» изучаемый материал иллюстрируется интересными историческими фактами и сведениями, примерами технических устройств и явлениями повседневной жизни.



В рубрике «**Применяем в профессии**» изучаемый материал дополняется примерами, которые могут быть использованы в инженерных профессиях.



Рубрика «**Сделай сам!**» поможет вам самостоятельно провести эксперименты по тематике изучаемого материала.



Увидеть взаимосвязь физики с другими учебными дисциплинами, которые вы изучаете в школе, поможет рубрика «**Межпредметные связи**».

Эта рубрика является подсказкой, которая нацелит вас на выполнение следующих заданий:

- приведите дополнительные примеры использования понятий, моделей и законов физики в других областях знаний;
- подготовьте сообщение для своих одноклассников о связях между науками.

Рубрика «**Физика в жизни**» рассказывает о применении знаний, полученных в параграфе, в окружающем нас мире.

В конце каждого параграфа приведены «**Выводы**» к параграфу и «**Ключевые слова**» — основные понятия, новые термины, которые нужно запомнить и по которым можно осуществить поиск дополнительной информации в Интернете.

Завершают параграф «**Вопросы и задания**», ответы на которые помогут вам закрепить изученный материал и проверить свои знания.

В каждой главе содержатся разделы: «Решение задач», «Лабораторные и исследовательские работы», «Кейс». В параграфе «Решение задач» рассматриваются примеры решения физических задач и приводятся «Задачи для самостоятельного решения», которые помогают закрепить и лучше понять изученный материал. Параграф «Лабораторные и исследовательские работы» содержит обязательные лабораторные работы, которые выполняются в классе, и практические работы-исследования, предназначенные для самостоятельного выполнения в классе или дома. «Кейс» включает проектно-исследовательское задание, в ходе выполнения которого решаются интересные, полезные и связанные с реальной жизнью задачи.

Завершает главу раздел «Подведём итоги», в котором приводятся основные выводы и идеи, содержащиеся в главе. Вопросы, содержащиеся в рубрике «Вопросы для обсуждения», носят проблемный характер и могут стать интересной темой для дискуссии. Возможные темы для сообщений приведены в рубрике «Темы исследовательских и проектных работ».

Желаем вам успехов на пути получения новых знаний!



математика



геометрия



география



биология/экология



технология




физкультура



химия

Глава 5

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК



...Я уже давно убедился, что всё действие исходит из металлов, от соприкосновения которых электрическая жидкость входит во влажное или водянистое тело, причём из одного металла оно истекает сильнее, чем из другого... На этом основании я считаю себя вправе приписать все новые электрические явления металлам и заменить название «животное электричество» выражением «металлическое электричество».

А. Вольта

§ 48 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое электрический ток.
- Каковы условия существования электрического тока.
- Что такое источники тока.
- Какие преобразования энергии происходят в источниках тока.

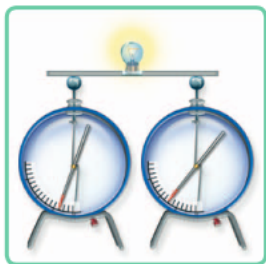
ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое электрическое поле?
- Чем объясняется электризация тел?

Наибольший практический интерес представляют явления, связанные с упорядоченным движением носителей электрических зарядов — *электронов и ионов*.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. Как известно, благодаря электрическому току в наших домах зажигаются электрические лампочки, работает телевизор, холодильник и другие электроприборы. Что означает термин «электрический ток» в физике?

ИССЛЕДОВАНИЕ



Зарядим один из двух одинаковых электрометров и соединим их металлическим стержнем, в который впаивая лампочка. При соединении можно заметить кратковременную вспышку лампочки. Отклонение стрелки первого электрометра уменьшится, и стрелка второго электрометра отклонится на тот же угол, т. е. часть заряда с первого электрометра перейдёт на второй электрометр. Это означает, что по металлическому стержню прошёл электрический заряд. Говорят, что в металлическом стержне возник электрический ток.

Слово «ток» обозначает течение, а электрический ток — это течение (движение) зарядов. Вы уже знаете, какие частицы обладают зарядом. В металлах имеются свободные электроны, а в растворах солей, кислот или щелочей — положительно и отрицательно заряженные ионы. Все эти частицы могут участвовать в создании электрического тока. Но сами по себе заряженные частицы не создают электрический ток. Если металлическим стержнем соединить два одинаково заряженных электрометра, то электрический ток в проводнике не возникнет и лампочка не загорится.

УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА. Чтобы в проводнике возник электрический ток, движение заряженных частиц должно быть *упорядоченным*. Направленное движение заряженных частиц возникает при соединении заряженного электроскопа с незаряженным.

Что же заставляет частицы двигаться упорядоченно вдоль проводника?

Ответ на этот вопрос однозначен: в соединительном проводнике свободные электроны перемещаются под действием электрического поля. Такое направленное перемещение электронов и создаёт электрический ток в проводнике.

Итак, для существования электрического тока в веществе необходимо выполнение следующих условий:

1) вещество должно содержать свободные заряженные частицы (носители тока), которые могут перемещаться по всему объёму вещества;

2) на эти частицы должна действовать некоторая сила (сила воздействия со стороны электрического поля), заставляющая их двигаться в определённом направлении.



ВАЖНО

Электрическим током называется упорядоченное движение заряженных частиц под действием электрического поля.

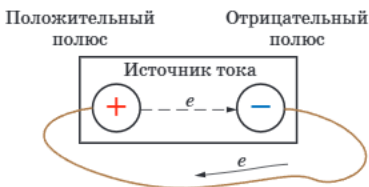
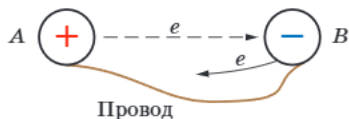
ЭТО ИНТЕРЕСНО

Скорость упорядоченного движения электронов в проводнике под действием электрического поля мала — доли миллиметра в секунду. Она в сотни миллионов раз меньше средней скорости теплового движения электронов. При такой скорости для перемещения электрона всего на 5 м понадобилось бы примерно 2 ч. Если мы повернём выключатель, лампа, находящаяся в нескольких десятках метров от него, сразу загорится. Отсюда следует, что скорость распространения электрического поля и скорость упорядоченного движения электронов — это не одно и то же.

ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА. Чтобы получить электрический ток в проводнике, необходимо привести заряженные частицы в направленное движение. Но как получить ток, который существовал бы длительное время?

Возьмём два заряженных тела *A* и *B*, заряды которых равны по модулю, но противоположны по знаку, и соединим их проводником. На отрицательно заряженном теле находится избыток электронов, на положительно заряженном теле — недостаток электронов. Электроны с отрицательно заряженного тела будут двигаться по проводнику, притягиваясь к положительно заряженному телу. В проводнике на короткое время возникнет электрический ток. Он будет существовать до тех пор, пока не исчезнет электрическое поле в проводнике, т. е. пока не исчезнет заряд на телах *A* и *B*.

Для поддержания тока в проводнике необходимо, чтобы на одном конце проводника был недостаток электронов, а на другом — их избыток. Процесс разделения зарядов осуществляют источники электрического тока.



В источнике тока благодаря химическим или иным процессам (в зависимости от принципа его действия) происходит разделение положительно и отрицательно заряженных частиц. Эти разделённые частицы накапливаются на так называемых полюсах источника тока. При этом один из полюсов заряжается положительно, а другой — отрицательно.

Если полюсы источника тока соединить проводником, то свободные электроны будут перемещаться от отрицательного полюса к положительному. В проводнике возникнет электрический ток.

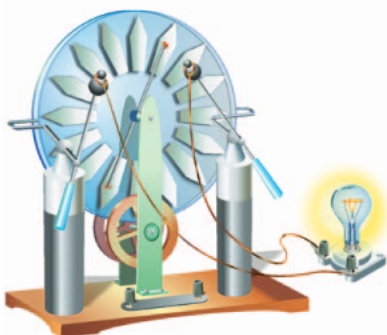


В гальванических батарейках и аккумуляторах, которыми мы пользуемся в повседневной жизни, разделение зарядов происходит за счёт энергии химических реакций. Такие источники тока называются *химическими*.

Существуют источники тока, которые преобразуют световую, тепловую, механическую и другие виды энергии в электрическую. Например, при освещении некоторых материалов с их поверхности вылетают электроны, которые участвуют в создании электрического тока. Устройства, в которых используется это явление, называют *фотоэлементами*, а несколько фотоэлементов образуют *солнечные батареи*. Работа *термоэлементов* основана на явлении возникновения электрического тока при нагревании места соединения разнородных проводников (например, железа и меди). При изменении формы некоторых веществ (например, кристаллов) вокруг них возникает электрическое поле, и проскакивает искра. Такие вещества называются *пьезоэлементами*.



Уместно провести аналогию между действием источника тока и кровеносной системой нашего организма. Наше сердце не создаёт кровь, а лишь заставляет её двигаться по артериям и венам. Оно действует так же, как и источник тока. Источники тока не создают электрические заряды, а лишь приводят уже имеющиеся свободные заряды в направленное движение.



ЭЛЕКТРОФОРНАЯ МАШИНА. Электрофорную машину создали в 1865 г. немецкий физик Август Тёпpler и независимо от него другой немецкий физик Вильгельм Гольц. Машина Гольца позволяла накапливать большой заряд и могла использоваться в качестве источника тока.

Работа электрофорной машины основана на явлении электризации, позволяющей накапливать большой электрический заряд на её полюсах. При вращении рукоятки электрофорной машины приходят в движение её пластмассовые диски, находящиеся на небольшом расстоянии друг

от друга. Вращаясь в противоположные стороны, диски электризуют друг друга. Пластинки из фольги, нанесённые на диски, соприкасаются с металлическими щётками электрофорной машины и передают заряд на шары. В электрофорной машине происходит непрерывное разделение зарядов, в результате которого один из шаров заряжается положительно, а другой — отрицательно. При накоплении больших зарядов между шарами происходит разряд (проскакивает искра).



Говоря об электрическом токе, обычно подразумевают движение заряженных частиц по проводам. Однако электрический ток может существовать и вне проводника. Например, поток электронов, протонов или ионов также представляет собой электрический ток. Такие потоки частиц формируются на физических установках, называемых *ускорителями заряженных частиц*.

Для ускорения заряженных частиц в ускорителях используются сильные электрические и магнитные поля. В результате частицы ускоряются до высоких скоростей, близких к скорости света. Ускорение заряженных частиц обычно происходит в вакууме, так как при наличии воздуха ускоряемые частицы сталкивались бы с молекулами газов и непрерывно теряли бы почти всю приобретённую энергию.

О принципах работы ускорителей вы узнаете в старших классах.

Ускоренные частицы применяются для фундаментальных научных исследований в ядерной физике, а также для прикладных исследований в химии, медицине, биофизике, экологии и др.

Самый большой ускоритель заряженных частиц — Большой адронный коллайдер (БАК) — является самой крупной экспериментальной установкой в мире. С помощью подобных установок учёные ищут ответы на ключевые вопросы, связанные с возникновением Вселенной и законами её существования.

! Электрическим током называется упорядоченное движение заряженных частиц под действием электрического поля.

! В источнике тока благодаря химическим или иным процессам происходит разделение положительно и отрицательно заряженных частиц. При этом один из полюсов источника тока заряжается положительно, а другой — отрицательно.

ВЫВОДЫ

Электрический ток; источник электрического тока; электрофорная машина

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. Что такое электрический ток?
2. Какие условия необходимы для существования электрического тока?
3. Как вы думаете, можно ли считать электрическим током молнию, возникающую между облаком и Землёй? между облаками?
4. Что такое источники тока?
5. Какие преобразования энергии происходят в источниках тока?

§ 49 ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ. АККУМУЛЯТОРЫ

НОВОЕ В УРОКЕ

- Что представляет собой гальванический элемент.
- Как устроен аккумулятор.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое электрический ток?
- Что такое источник электрического тока?

Для поддержания тока в проводнике необходимо электрическое поле: на концах проводника нужно постоянно создавать заряды противоположных знаков. На практике такое разделение зарядов обычно осуществляется за счёт химических реакций.

ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ. В конце XVIII в. итальянский физик Алессандро Вольта обнаружил, что при взаимодействии металла с кислотой происходит разделение зарядов. При этом металлическая пластинка, опущенная в раствор кислоты, электризуется отрицательно, а раствор — положительно.

Вольта построил первый химический источник тока, получивший название **гальванический элемент** (в честь другого итальянского учёного — Л. Гальвани).

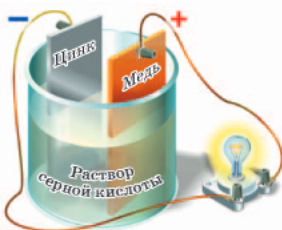
▶ ЭТО ИНТЕРЕСНО



Луиджи Гальвани
(1737—1798)

В 1773 г. итальянский врач Луиджи Гальвани обнаружил, что мышцы препарированной лягушки начинают сокращаться при контакте с разнородными металлами (железом и медью). Он также заметил, что сокращение мышц происходит и при одновременном прикосновении к ним двух разных металлов. Гальвани объяснил это явление существованием особого «животного электричества». Результаты наблюдений и свою теорию он изложил в работе «Трактат о силах электричества при мышечном движении».

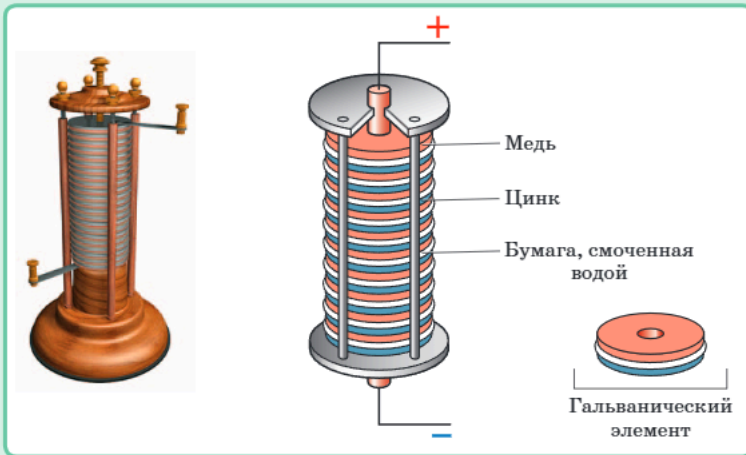
Исследования Гальвани положили начало новой науке — *электрофизиологии*, которая занимается изучением электрических явлений в живых тканях организмов.



Элемент Вольты состоит из цинковой и медной пластинок, опущенных в водный раствор серной кислоты. В результате химических реакций цинковая пластинка заряжается отрицательно, а медная пластинка — положительно. Внутри элемента образуется электрическое поле. Если выводы пластины соединить проводником, то электроны под действием электрического поля начнут двигаться по проводнику, создавая в нём электрический ток.

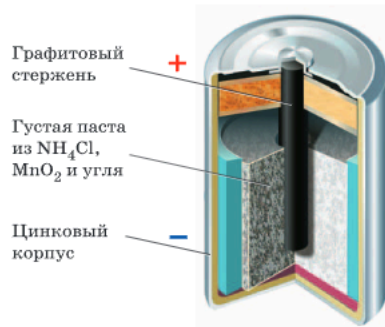
ЭТО ИНТЕРЕСНО

В 1800 г. А. Вольта поставил друг на друга несколько пар цинковых и медных пластин, проложив между ними смоченную солёной водой бумагу. Такое устройство получило название *вольтов столб*. Если верхнюю и нижнюю часть этого устройства соединить проводом, то по нему будет идти электрический ток. Таким образом была создана первая в мире электрическая батарейка.



Элемент Вольта как источник электричества является несовершенным — ток в цепи быстро ослабевает. Поэтому на практике большое распространение получили так называемые *сухие гальванические элементы*.

Элемент состоит из цинкового сосуда, в который помещён мешочек с двуокисью марганца (MnO_2), смешанного с углём. В этот мешочек вставлен графитовый стержень, который является положительным полюсом элемента. Отрицательным полюсом является вывод от цинкового сосуда. Вместо раствора элемент содержит густую пасту, состоящую из муки, замешанной на нашатыре (NH_4Cl).



Обычная плоская батарейка для карманного фонаря состоит из трёх гальванических элементов. При этом угольный стерженёк первого элемента соединён с цинковым сосудом второго, а угольный стерженёк второго соединён соответственно с цинковым сосудом третьего элемента. Все три элемента помещены в картонную коробку, которая сверху залита слоем изолятора (смолой). Две полоски жести, выведенные через слой изолятора, являются полюсами батареи.

ЭТО ИНТЕРЕСНО



Василий Владимирович Петров (1761—1834)

Весомый вклад в создание химических источников тока внёс русский физик-экспериментатор, электротехник-самоучка Василий Владимирович Петров. В 1802 г. он сконструировал огромную батарею, состоящую из 2100 пар медных и цинковых кружков, которые были разделены бумажными прокладками, смоченными нашатырём. В то время это была самая большая и мощная гальваническая батарея в мире, а её суммарная длина составляла 12 м. Соединив полюсы батареи угольными электродами, Петров впервые наблюдал образование между ними электрического разряда (электрической дуги). Он подробно описал результаты своих экспериментов и указал на возможности практического применения получаемого электрического разряда в искусственном освещении.

ЭТО ИНТЕРЕСНО



Вероятно, первыми гальваническими элементами были найденные при раскопках вблизи Багдада керамические сосуды, закрытые смоляной пробкой, через которую внутрь сосуда пропущены железные и медные стержни. Этот тип устройств называется «багдадская батарея». По оценкам археологов, изготовление этих устройств датируется вторым-третьим тысячелетием до нашей эры. Поразительно и то, что эти устройства заработали после того, как в сосуды залили морскую воду.

АККУМУЛЯТОРЫ. Срок службы всех гальванических элементов зависит от состояния их электродов (цинка и угля) и качества раствора. С течением времени электроды разрушаются, а качество раствора ухудшается.

Значительно более удобными источниками тока являются **аккумуляторы** — устройства, у которых электроды практически не разрушаются.

Простейший аккумулятор состоит из прочного сосуда (корпуса), в который залит раствор серной кислоты, и двух свинцовых пластин, опущенных в раствор. Однако в таком состоянии аккумулятор ещё не будет являться источником тока, и в нём необходимо накопить заряд. Для зарядки через аккумулятор пропускают ток от другого источника (зарядного устройства). После зарядки аккумулятор становится источником тока.

ЭТО ИНТЕРЕСНО 

Первый аккумулятор, который можно было многократно перезаряжать, изобрёл немецкий химик и физик И. В. Риттер в 1803 г. (в возрасте 26 лет). Он собрал вольтов столб, но из одинаковых медных пластин с прослойками из ткани, пропитанной соляным раствором. Получившийся «риттеров столб» соединялся с вольтовым столбом, после чего сам становился источником тока.

Первый свинцовый аккумулятор изобрёл французский инженер Г. Планте в 1859 г.


Кроме свинцовых (кислотных) аккумуляторов, широкое применение получили железно-никелевые (щелочные) аккумуляторы. Каждая из пластин в таком аккумуляторе (одна железная, а другая из окиси никеля) опущена в раствор едкой щёлочи.


В последние десятилетия наряду с традиционными источниками тока стали широко применяться источники, изготовленные на основе химического элемента лития. Эти источники устойчиво работают в широком диапазоне температур и обладают великолепным — порядка 10 лет и более — сроком службы.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ТОКА. Химические источники тока широко применяются в разных областях. Например, аккумуляторы служат для освещения многих транспортных средств, в частности автомобилей, для запуска различных силовых установок, для питания научной аппаратуры и средств связи, устанавливаемых на искусственных спутниках Земли и межпланетных станциях, и т. п.

Широко используемые в настоящее время аккумуляторы для мобильных телефонов — ещё один пример устройств такого типа.

Впечатляет также разнообразие габаритов источников электричества: от миниатюрных батареек для питания ручных часов, лазерных указок, электронных секундомеров и т. д. до мощных аккумуляторных батарей, устанавливаемых на подводных лодках.

 Гальванический элемент — это химический источник тока, в котором разделение зарядов осуществляется за счёт химических реакций.

 В отличие от гальванического элемента, аккумулятор после разрядки можно перезаряжать.

ВЫВОДЫ

Гальванический элемент; животное электричество; элемент Вольты; вольтов столб; аккумулятор

КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВАИ ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ

1. Как устроен сухой гальванический элемент?
2. Как устроен аккумулятор?
3. Какие можно привести примеры использования аккумуляторов?
4. Какие превращения энергии происходят в гальваническом элементе? Обязательно ли электроды в нём должны быть из разных веществ?
5. Изменяются ли свойства элемента Вольты, если его медный электрод заменить цинковым или цинковый заменить медным?

§ 50 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

НОВОЕ В УРОКЕ

- Что представляет собой электрический ток в металлах, электролитах и газах.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое электрический ток?
- Каковы условия существования электрического тока?

Электрический ток может проходить через различные вещества: металлы, растворы и расплавы некоторых веществ и при определённых условиях через газы. Для возникновения электрического тока в какой-либо среде необходимо, чтобы в ней имелись заряженные частицы, которые будут перемещаться под действием электрического поля. Этими частицами могут быть как электроны, так и ионы.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В МЕТАЛЛАХ. Металлы в твёрдом состоянии имеют кристаллическое строение. Частицы в металлах располагаются в определённом порядке, образуя кристаллическую решётку. В узлах кристаллической решётки металла расположены положительные ионы, а в пространстве между ними хаотично движутся свободные электроны.

Если в металле создать электрическое поле, то свободные электроны начнут двигаться упорядоченно в направлении действия электрических сил. Возникнет *электрический ток*.

ВАЖНО

Электрический ток в металлах представляет собой упорядоченное движение свободных электронов.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Электроны в электрическом поле движутся не прямолинейно. Траектория их движения является сложной из-за взаимодействия с другими частицами. Движение электронов в этом случае напоминает дрейф льдин во время ледохода, когда они, двигаясь беспорядочно и сталкиваясь друг с другом, дрейфуют по течению реки.

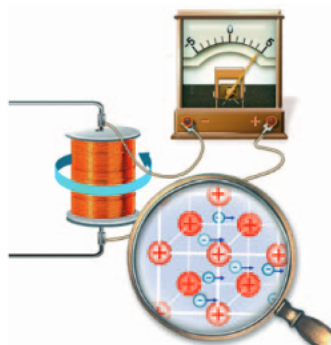
Доказательство того, что ток в металлах создают именно свободные электроны, было получено в опытах, поставленных в 1913 г. российскими физиками Л. И. Мандельштамом и Н. Д. Папалекси и в 1916 г. английскими физиками Р. Толменом и Т. Стюартом.

Основная идея этих опытов заключалась в том, что если металлический проводник привести в движение и резко затормозить, то свободные электроны должны по инерции продолжать движение относительно ионной решётки, подобно тому как отклоняются вперёд пассажиры при резком торможении автобуса. Следовательно, в проводнике должен возникнуть кратковременный электрический ток.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

В медной проволоке на каждый атом меди приходится в среднем один свободный электрон. В куске проволоки массой $m = 64$ г находится примерно $6 \cdot 10^{23}$ свободных электронов, суммарный заряд которых составляет около 10^5 Кл.

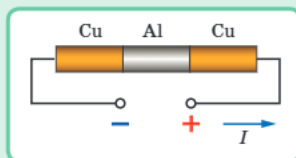
Для проведения подобного опыта на катушку наматывают проволоку, концы которой припаивают к двум металлическим дискам. Диски соединяют с чувствительным прибором, называемым гальванометром, который позволяет фиксировать возникновение тока. Катушку приводят в быстрое вращение, а затем резко останавливают. Как показал опыт, стрелка гальванометра при торможении катушки делала отброс, что свидетельствовало о возникновении кратковременного тока. По направлению отклонения стрелки и было установлено, что ток в металлах создаётся движением именно отрицательно заряженных частиц.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

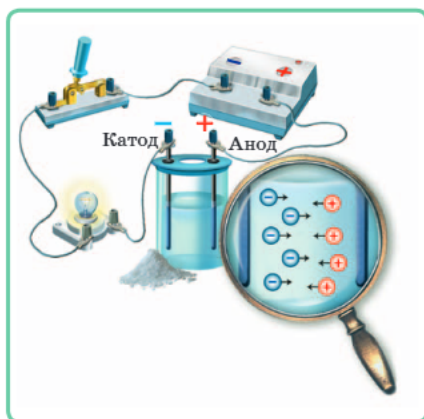
В 1900 г., за несколько лет до опытов Мандельштама, Папалекси, Толмена и Стюарта, немецкий физик Пауль Друде создал электронную теорию проводимости металлов, согласно которой электрический ток в металлах создаётся движением свободных электронов. Его теорию необходимо было экспериментально проверить.

В 1901 г. ещё один немецкий физик Эдуард Рикке для выяснения природы электрического тока в металлах провёл следующий опыт. Два медных и один алюминиевый цилиндры тщательно взвешивались, плотно соединялись боковыми сторонами и подключались к источнику тока, как показано на рисунке. Ток в цилиндрах поддерживался более года, и при этом через них прошёл заряд порядка $0,5 \cdot 10^6$ Кл. После этого цилиндры снова взвешивались. Оказалось, что пропускание тока не оказало на массу цилиндров никакого влияния. Рикке тщательно изучил поверхности соприкосновения металлов и не обнаружил следов атомов алюминия в медном цилиндре и атомов меди в алюминиевом цилиндре. Это свидетельствовало о том, что перенос заряда в металлах осуществляется не атомами, а другими частицами, входящими в состав всех металлов, вероятно электронами.



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ЭЛЕКТРОЛИТАХ. Растворы солей, кислот и щелочей также могут проводить электрический ток. Такие растворы называются растворами электролитов.

ИССЛЕДОВАНИЕ



В сосуд с дистиллированной водой опустим два угольных *электрода* (стержня) и соединим их с источником тока, лампочкой и ключом. Между электродами возникает электрическое поле, но лампочка не горит. Это означает, что дистиллированная вода *не проводит* электрический ток. Но если растворить в воде какую-либо соль, например поваренную, то лампочка загорится. Это означает, что в растворе поваренной соли присутствуют *свободные заряженные частицы*, которые образуют электрический ток.

Что это за частицы? При растворении в воде солей, кислот и щелочей нейтральные молекулы этих веществ распадаются на положительные и отрицательные ионы. Это явление называется *электролитической диссоциацией*. Например, каждая молекула поваренной соли распадается на положительно заряженный ион натрия и отрицательно заряженный ион хлора.

Пока электрическое поле отсутствует, ионы совершают беспорядочное тепловое движение. При включении электрического поля ионы, подобно электронам в металлах, начинают двигаться.

Положительно заряженные ионы натрия в электрическом поле будут двигаться к электроду, соединённому с отрицательным полюсом источника тока. Такой электрод называют *катодом*.

Отрицательно заряженные ионы хлора будут двигаться к электроду, соединённому с положительным полюсом источника тока. Такой электрод называют *анодом*.

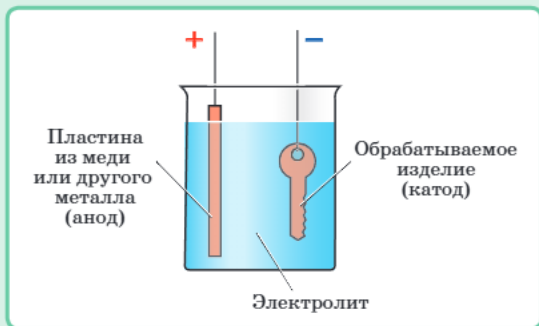
ВАЖНО

Электрический ток в растворах (или расплавах) электролитов представляет собой перемещение ионов обоих знаков в противоположных направлениях.

При пропускании электрического тока через растворы или расплавы электролитов на электродах выделяется чистое вещество. Этот процесс называется *электролизом*. Электролиз широко используется в современной электрометаллургии — получении металлов путём электролиза. Например, весь алюминий в настоящее время получают электролитически. Хорошим примером также является электролитическое очищение (*рафинирование*) меди.

Посредством электролиза можно покрыть металлические предметы слоем другого металла. Например, стальные детали покрывают слоем хрома или никеля (*хромирование, никелирование*). Этот процесс называется *гальваностегией*.

Методы гальваностегии можно использовать для нанесения дополнительного металлического покрытия не только на изделия из металла, но и на предметы из дерева, листья и цветки растений, насекомых, кружева и т. д. Изделие после предварительной подготовки опускают в раствор электролита в качестве электрода. При пропускании электрического тока на нём выделяется металл, содержащийся в растворе, который равномерно покрывает предмет.



Ещё один метод, использующий явление электролиза, — это гальванопластика — получение точных металлических копий изделий. В процессе электролиза толстый слой металла осаждается на заранее подготовленной форме изделия. После этого форма отделяется от металла и получается идеальная копия исходного предмета.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Метод гальванопластики был впервые разработан в 1838 г. русским физиком-изобретателем Борисом Семёновичем Якоби. Вскоре это открытие получило признание во всём мире. В Петербурге был построен завод, который методами гальванопластики изготавливал барельефы и статуи для украшения Исаакиевского собора, Зимнего дворца, Большого театра в Москве, золотил листы кровли для куполов, производил медные копии с форм для печатания денег и т. п.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ГАЗАХ. Укрепим две металлические пластины параллельно друг другу. Соединим одну со стержнем, а другую с корпусом электроскопа. Сообщим им разноимённые заряды.

Опыт показывает, что электроскоп при обычных условиях не разряжается. Это означает, что воздух между пластинами не проводит электрический ток.

В обычных условиях газы являются хорошими изоляторами, так как они состоят из нейтральных атомов или молекул. В них практически нет свободных электрических зарядов, которые могут создавать электрический ток.



Если внести в пространство между пластинами пламя спички или спиртовки, то электроскоп быстро разрядится.

Этот опыт показывает, что под действием пламени газ может стать проводником электрического тока, потому что часть нейтральных атомов и молекул газа превращается в ионы. Электроны могут отрываться от атомов также под действием света.



Принцип действия выключателей и рубильников основан на том, что, размыкая их металлические контакты, мы создаём между ними прослойку воздуха, не проводящую ток.

ПЛАЗМА. Частично или полностью ионизированный газ называется **плазмой**. Ионизация газа может происходить при нагреве до очень высоких температур, поэтому плазму называют четвёртым агрегатным состоянием вещества.

Плазма содержит положительно и отрицательно заряженные частицы. При этом плотности положительных и отрицательных зарядов практически совпадают, т. е. плазма в целом оказывается электрически нейтральной. Поскольку заряженные частицы в плазме могут свободно двигаться, плазма обладает способностью проводить электрический ток.

Примерами плазмы, разогретой до очень высокой температуры, являются наше Солнце и все звёзды Вселенной. Кроме того, основная часть вещества во Вселенной находится именно в плазменном состоянии.

ВЫВОДЫ

- ❗ Электрический ток в металлах представляет собой упорядоченное движение свободных электронов.
- ❗ Электрический ток в растворах (или расплавах) электролитов представляет собой перемещение ионов обоих знаков в противоположных направлениях.
- ❗ В обычных условиях газы являются хорошими изоляторами. При внешнем воздействии атомы газа могут превращаться в ионы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Электрический ток в металлах; электролит; электролитическая диссоциация; электрический ток в электролите; электролиз; гальваностегия; гальванопластика; электрический ток в газах

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что представляет собой электрический ток в металлах, электролитах и газах?
2. Приведите примеры практического использования электрического тока в электролитах.
3. Присутствуют ли свободные электроны в электролитах?
4. Как известно, в электролитах, например в растворе медного купороса, имеются положительно и отрицательно заряженные ионы. Существует ли при этом электрическое поле вокруг электролита? Обоснуйте свой ответ.

ПРИМЕРЫ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА § 51



НОВОЕ В УРОКЕ

Увидеть движущиеся заряды (электроны, ионы) мы не можем, так как они очень малы. Но как тогда можно обнаружить электрический ток?

- Какие примеры иллюстрируют различные действия электрического тока.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое электрический ток?

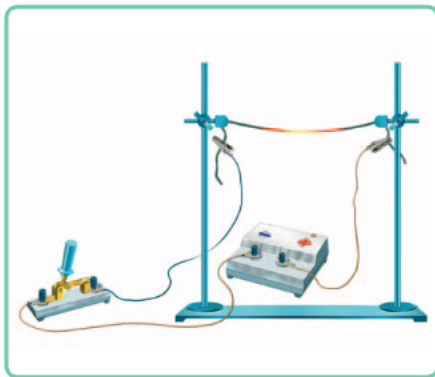
ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА. При прохождении электрического тока могут происходить различные явления, которые объясняются действиями электрического тока. Основные из них — это тепловое, химическое, магнитное и механическое действия.



ТЕПЛОВОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА. Электрический ток вызывает *нагревание* проводов.

ИССЛЕДОВАНИЕ

Присоединим к полюсам источника тока железную или никелевую проволоку. Замкнув ключ, будем наблюдать, как проволока провиснет, т. е. она нагреется и удлинится. Таким образом её можно даже раскалить докрасна.



Именно на тепловом действии тока основана работа различных бытовых нагревательных приборов, таких, как электрические чайники, электрические плитки, утюги и др. Нить лампы накаливания раскаляется и начинает светиться.

ХИМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА. Как показывает опыт, на электродах, опущенных в раствор электролитов, происходит выделение чистого вещества. Этот процесс называется электролизом. Например, пропуская ток через раствор медного купороса, можно выделить чистую медь.

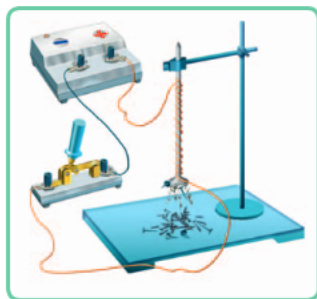


Электрический ток в металлах не вызывает никаких химических изменений. Химическое действие тока происходит только в растворах и расплавах электролитов.

Химическое действие тока широко используется в промышленности. Примерами являются получение чистых веществ методом электролиза, а также методы гальваностегии и гальванопластики, о которых шла речь ранее.

МАГНИТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА

ИССЛЕДОВАНИЕ

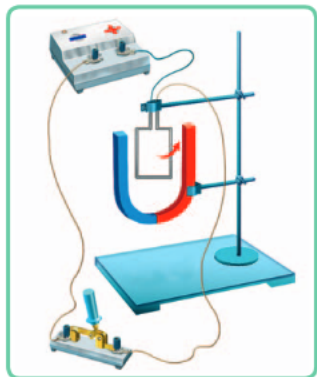


На большой железный гвоздь намотаем тонкий изолированный провод. Концы провода через ключ соединим с источником тока. Если замкнуть ключ, то гвоздь намагнитится и будет притягивать к себе гвоздики, железные стружки, опилки. С прекращением тока в проводнике магнитные свойства гвоздя исчезнут.

Магнитное действие тока нашло применение в быту и технике. На нём основана работа телефонов, микрофонов, трансформаторов, электростанций и других устройств.

МЕХАНИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА

ИССЛЕДОВАНИЕ



Металлическую рамку соединим с источником тока. При пропускании электрического тока через рамку она остаётся висеть неподвижно. Но если эту рамку поместить между полюсами подковообразного магнита, то она начнёт поворачиваться.

В этом опыте проявляется *механическое действие* электрического тока. Это означает, что в случае наличия электрического тока в рамке, помещённой между полюсами магнита, на рамку начинает действовать сила, вызывающая её вращение.

Явление взаимодействия катушки с током и магнита лежит в основе работы прибора, называе-

мого *гальванометром*. С помощью гальванометра можно судить о наличии тока и его направлении. Стрелка прибора связана с подвижной катушкой. Когда в катушке появляется электрический ток, стрелка отклоняется.

Механическое действие тока применяется в работе различных электроизмерительных приборов, а также при работе электродвигателей — устройств, в которых электрическая энергия преобразуется в механическую.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА. Тело человека является проводником электрического тока, который может производить тепловое, химическое, механическое, биологическое и другое воздействие.

При тепловом действии происходит перегрев и функциональное расстройство органов на пути прохождения тока, возникают ожоги.

Химическое действие тока выражается в электролизе жидкости в тканях организма, в том числе крови, и нарушении её физико-химического состава.

Механическое действие связано с сильным сокращением мышц, вплоть до их разрыва.

Биологическое действие тока выражается в раздражении и перевозбуждении нервной системы.

Действия электрического тока на организм человека используют в медицине.

Дефибрилляторы используют для восстановления ритма сердечной деятельности путём воздействия на организм кратковременных высоковольтных электрических разрядов. При радикулите, невралгии и некоторых других заболеваниях применяют *гальванизацию*: через тело человека пропускают слабый электрический ток, который оказывает болеутоляющее действие и улучшает кровообращение.



ВЫВОД

- ! При прохождении электрического тока могут происходить различные явления, которые называются действиями электрического тока:
- тепловое действие — нагревание проводника с током;
 - химическое действие — электролиз в растворах и расплавах электролитов;
 - магнитное действие — действие электрического тока на магнитную стрелку;
 - механическое действие — вращение рамки с током, помещённой между полюсами магнита.

Действия электрического тока; тепловое действие тока, магнитное действие тока, механическое действие тока, физиологическое действие тока, химическое действие тока; электролиз

КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВАИ ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ

1. Какие действия электрического тока вы знаете?
2. Какое действие на организм человека оказывает электрический ток?
3. Ограничен ли процесс электролиза медного купороса во времени? Если да, то какие факторы оказывают влияние на продолжительность процесса электролиза?
4. Возможно ли в одном опыте одновременно наблюдать несколько действий тока? Если да, то приведите примеры.

§ 52 ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ. НАПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

НОВОЕ В УРОКЕ

- Из каких элементов состоит электрическая цепь.
- Какое направление принимают за направление электрического тока в цепи.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое электрический ток?
- Каковы условия существования электрического тока?
- Что такое источники тока?

В отсутствие электрического поля свободные электроны в проводниках движутся беспорядочно. Если же концы проводника (или провода) подсоединить к полюсам источника тока, то в проводнике возникнет электрический ток.

ПРОСТЕЙШИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ. Чтобы заставить работать различные электрические приборы — электродвигатели, лампы, плитки и т. д., необходимо подвести к ним электрический ток. Электрические приборы называют **приёмниками** или **потребителями энергии**.

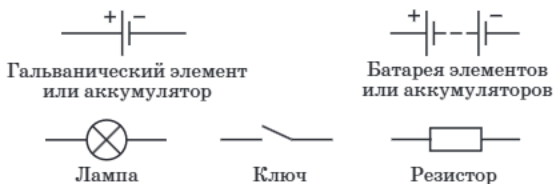
Для того чтобы электрическую энергию доставить от источника тока к приёмнику, используют **соединительные провода**.

Чтобы регулировать процессы прохождения электрического тока, включать и выключать устройства, потребляющие электрическую энергию, применяются различные **приборы управления током**: ключи, рубильники, выключатели и другие замыкающие и размыкающие устройства.

Источник тока (источник электрической энергии), потребители электрической энергии и приборы управления током, соединённые между собой проводами, составляют **электрическую цепь**. Для того чтобы в цепи существовал ток, она должна быть **замкнута**. Обрыв цепи или замена проводящего участка цепи изолятором приводит к прекращению прохождения тока.



Чертежи, на которых изображают электрические цепи, называются **схемами**. Каждый элемент цепи изображают отдельным общепринятым символом.



Инженеры-электрики работают над различными проектами — от создания бытовой техники до конструирования сложнейших электростанций или систем спутниковой связи. Для своей работы они должны знать, для чего нужны, как используются и как обозначаются на схемах различные элементы цепи. Умение хорошо разбираться в электрических схемах помогает выявить и устранить неисправности в электрических цепях или решить возможные проблемы на этапе проектирования.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

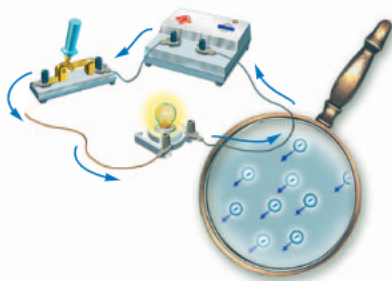
Немецкий профессор Г. К. Лихтенберг ещё в XVIII в. предложил ввести символы, обозначающие отдельные элементы электрических цепей. Он обосновал их практическое применение и использовал в своих работах. Благодаря ему математические знаки «+» и «-» стали использовать для обозначения электрических зарядов.

НАПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА. До открытия электрона учёные предполагали, что по цепи движутся только положительные заряды. Поэтому общепринятым направлением электрического тока в цепи считается направление, в котором движутся (или могли бы двигаться) в проводнике положительные заряды, т. е. направление от положительного полюса источника тока к отрицательному.

Но это не означает, что во всех проводниках движутся положительные заряды. В одних случаях в проводнике движутся только отрицательные заряды, в других случаях происходит движение зарядов обоих знаков в противоположных направлениях. Но определение направления тока было сделано в те времена, когда природа электрического тока не была до конца изучена.

В металлических проводниках ток осуществляется отрицательно заряженными частицами — электронами, которые движутся по цепи от отрицательного полюса источника тока к положительному. Направление тока и направление движения носителей заряда в этом случае противоположны.

При направленном движении заряженные частицы могут участвовать и в тепловом хаотическом движении. Характер движения частиц при прохождении электрического тока можно сравнить с явлением конвекции в жидкостях и газах, при котором в направленных конвекционных потоках происходит беспорядочное движение молекул.



 ЭТО ИНТЕРЕСНО




Андре-Мари Ампер
(1775—1836)

Понятия «электрический ток» и «направление электрического тока» ввёл французский физик Андре-Мари Ампер. Именно он предложил принять за направление электрического тока то, в котором перемещается «положительное электричество».

Благодаря работам Ампера шаг за шагом выросла новая наука — *электродинамика*, основанная на экспериментальных методах и наблюдениях. В 1826 г. Ампер опубликовал труд, который назывался «Теория электродинамических явлений, выведенная исключительно из опыта».

Ампер также ввёл в науку такие термины, как «электростатика», «электродинамика», «соленоид», «электродвижущая сила», «напряжение», «гальванометр» и даже «кибернетика». Он высказал предположение о том, что, вероятно, возникнет новая наука об общих закономерностях процессов управления, и предложил назвать её кибернетикой.

ВЫВОДЫ

-  Источник тока, потребители электрической энергии и приборы управления током, соединённые между собой проводами, составляют электрическую цепь.
-  Общепринятым направлением электрического тока в цепи считается направление, в котором движутся (или могли бы двигаться) в проводнике положительные заряды, т. е. направление от положительного полюса источника тока к отрицательному.

КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА

Электрическая цепь; схема электрической цепи; направление электрического тока

И ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ

1. Из каких элементов состоит электрическая цепь?
2. Какое направление принимают за направление электрического тока в цепи?
3. Совпадает ли направление электрического тока в замкнутой цепи с направлением переноса положительного заряда? отрицательного заряда?
4. Как известно, за направление электрического тока в металлических проводниках принято направление от положительного полюса источника тока к отрицательному. А как при этом движутся заряды внутри самого источника?

СИЛА ТОКА § 53



НОВОЕ В УРОКЕ

О наличии электрического тока в цепи можно судить по одному из оказываемых им действий. Если лампочку подсоединить к источнику тока, то её нить раскалится и она начнёт светиться. Но почему разные лампочки, подключённые к одному и тому же источнику тока, светят по-разному — одни более ярко, другие менее? От чего зависит действие электрического тока?

- Что такое сила тока.
- Каковы единицы силы тока.
- Какой прибор используют для измерения силы тока в цепи.

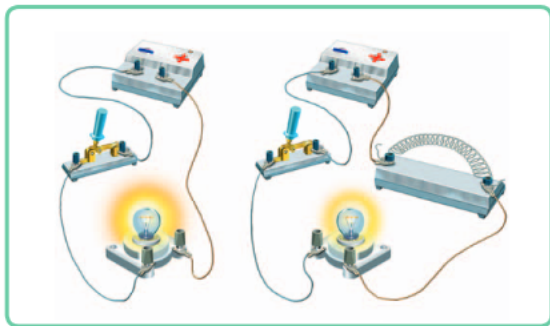
ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое электрический ток?
- Какие основные элементы входят в электрическую цепь?

СВЯЗЬ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА С ЕГО ЗНАЧЕНИЕМ

ИССЛЕДОВАНИЕ

Соберём цепь, состоящую из источника тока, лампочки и ключа. При замыкании ключа лампочка загорится. Если включить в цепь кусок стальной проволоки, лампочка будет гореть менее ярко. Если заменить стальную проволоку нихромовой, то свечение лампочки будет ещё более тусклым.



Опыт показывает, что включение в цепь дополнительного проводника приводит к ослаблению теплового действия тока. Выясним, от чего зависит действие электрического тока.

Электрический ток — это упорядоченное движение заряженных частиц. Когда заряженная частица движется по электрической цепи, то вместе с ней происходит и перемещение заряда.

Чем больше электрический заряд, перенесённый частицами через поперечное сечение проводника за определённое время, тем интенсивнее действие тока.

СИЛА ТОКА. Для количественной характеристики электрического тока в цепи вводится понятие *силы тока*. Силу тока обозначают буквой I .

ВАЖНО

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

Если за время t через поперечное сечение проводника проходит заряд q , то силу тока можно вычислить по формуле

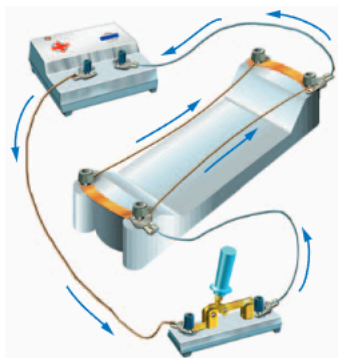
$$I = \frac{q}{t}. \quad (1)$$

Заряд, прошедший через поперечное сечение проводника,

$$q = It. \quad (2)$$

Следует иметь в виду, что понятие «сила тока» не имеет ничего общего с понятием силы в механике. Когда мы говорим, что по данному участку цепи идёт ток с большой силой тока, это означает лишь то, что в цепи через поперечное сечение проводника проходит большой заряд.

Сила тока во всех участках однородного проводника, по которому идёт ток, одинакова. Это следует из того, что заряд, проходящий через поперечное сечение проводников цепи, одинаков, т. е. он нигде не накапливается.



ЕДИНИЦЫ СИЛЫ ТОКА. В 1948 г. на Международной конференции по мерам и весам было принято решение о том, что единица силы тока должна определяться через силу взаимодействия двух длинных линейных проводников с током. Это можно наблюдать на опыте.

Два параллельных проводника подсоединили к источнику тока. Оказалось, что между проводниками действуют силы притяжения или отталкивания в зависимости от того, в каком направлении идёт ток по проводникам. Чем больше сила тока, тем сильнее взаимодействуют проводники.

Эту силу взаимодействия можно измерить. Кроме силы тока, она зависит ещё от длины

проводников, расстояния между ними и среды, в которой они находятся. Проводники должны быть тонкими, очень длинными и находиться в вакууме на расстоянии 1 м друг от друга.

Тогда за единицу силы тока принимают силу тока, при которой два параллельных проводника длиной 1 м, находящиеся в вакууме на расстоянии 1 м друг от друга, взаимодействуют с силой $2 \cdot 10^{-7}$ Н (0,0000002 Н) (см. опыт на с. 115).

Единицу силы тока называют *ампером* (А) в честь французского учёного А.-М. Ампера.

На практике также используют и другие единицы силы тока: *миллиампер*, *микроампер*, *килоампер* и др.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Насколько велико значение силы тока, равное 1 А?

Для человека безопасной считается сила тока до 1 мА. В бытовой электрической сети обычной является сила тока порядка 6 А (такой ток идёт по спирали лампы накаливания).

Через единицу силы тока можно определить единицу электрического заряда — **кулон (Кл)**, которую мы ввели ранее. В соответствии с формулой (2):

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

1 Кл — это электрический заряд, который проходит через поперечное сечение проводника за время 1 с при силе тока 1 А.

На практике широко используются внесистемные единицы электрического заряда — **ампер-час (1 А·ч)**, **миллиампер-час (1 мА·ч)** или **миллиампер-секунда (1 мА·с)**. 1 А·ч — это электрический заряд, который проходит за 1 ч через поперечное сечение проводника при силе тока 1 А. Чаще всего в этих единицах измеряется количество электричества, которое может запасти аккумулятор или гальванический элемент; эта величина называется **ёмкостью**. Например, полностью заряженный аккумулятор ёмкостью 5 А·ч может обеспечивать силу тока 1 А в течение 5 ч или силу тока 0,2 А в течение 25 ч.

ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА. Прибор, с помощью которого измеряют силу тока в цепи, называется **амперметром**.

Работа амперметра основана на магнитном действии тока. Чем больше сила тока в цепи, тем сильнее катушка с током взаимодействует с магнитом внутри прибора и тем больше угол поворота стрелки амперметра.

При измерении силы тока амперметр включается в цепь последовательно с тем прибором, силу тока в котором нужно измерить. У каждой клеммы прибора стоит свой знак: «+» или «-». Клемму со знаком «+» нужно соединить с проводом, идущим от положительного полюса источника тока, а клемму со знаком «-» — с проводом, идущим от отрицательного полюса источника тока.

На электрических схемах амперметр изображают в виде кружка с буквой А.



ФИЗИКА В ЖИЗНИ

Мы рассматриваем *постоянный электрический ток*, направление и значение силы тока которого не меняются с течением времени. Если направление тока и сила тока изменяются, то такой ток называется *переменным*. Его вы будете изучать в старших классах. Переменный электрический ток используется в бытовых и промышленных электросетях.



Амперметр может быть включён в цепь до потребителя энергии (например, до лампочки) или после него. Если все элементы цепи включены в цепь последовательно один за другим, то сила тока во всех участках цепи одинакова, т. е. заряды от источника последовательно проходят через все элементы цепи, нигде не накапливаясь.

При измерении силы тока важно выбирать амперметр с подходящей шкалой, чтобы измеряемая сила тока не превышала максимально допустимое значение прибора.

ВЫВОДЫ

- ! Сила тока — это физическая величина, которая показывает, какой электрический заряд проходит через поперечное сечение проводника за единицу времени.
- ! Единица силы тока называется ампером.
- ! Прибор для измерения силы тока в цепи называется амперметром.

КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА

Сила тока; единицы силы тока; амперметр

И ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ

1. Что называют силой тока в цепи?
2. Какая единица принята за единицу силы тока?
3. Как называется прибор для измерения силы тока и как его необходимо подключать в цепь?
4. Какой примерно заряд проходит в нашей бытовой сети в течение 1 ч?
5. При измерении силы тока в цепи возникло подозрение, что используемый амперметр не является точным. Как можно проверить работу этого прибора, имея в распоряжении другой амперметр, точность показаний которого известна? Можно ли при этом проверяемый амперметр оставлять включённым в цепь?

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ § 54



НОВОЕ В УРОКЕ

При подключении лампочки (или какого-либо другого потребителя) к источнику тока в цепи возникает электрическое поле. Оно действует на заряженные частицы с некоторой электрической силой, под действием которой начинается их упорядоченное движение. Возникает электрический ток. При движении зарядов в электрическом поле совершается определённая работа.

- Что такое напряжение.
- Каковы единицы напряжения.
- Какой прибор используют для измерения напряжения в цепи.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое электрическое поле?
- Что такое электрическая сила?
- Что такое электрический ток?

РАБОТА ТОКА. Пусть под действием электрической силы $\vec{F}_{эл}$ частица с зарядом q переместилась по проводнику из одной точки в другую. Говорят, что в этом случае электрическая сила $\vec{F}_{эл}$ совершила *работу* $A_{эл}$.

В механике мы говорили о том, что механическая работа совершается тогда, когда тело под действием силы совершает перемещение. При рассмотрении электрических явлений речь идёт о перемещении электрического заряда, а электрическая сила, действующая на заряд, возникает только при наличии электрического поля.

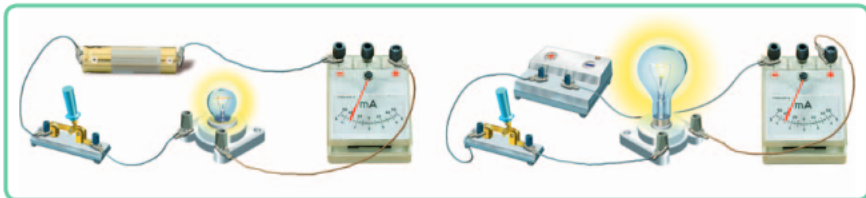
Работа сил электрического поля при направленном движении заряженных частиц по проводнику называется **работой тока**.

Понятие работы в физике неразрывно связано с понятием *энергии*. При совершении работы всегда происходят изменения и превращения энергии. Изученные ранее действия электрического тока на самом деле обусловлены работой тока. При этом происходит превращение энергии движущихся зарядов в другие виды энергии.

Поскольку действие тока зависит от силы тока в цепи, значит, его работа также должна зависеть от силы тока или от значения перемещённого заряда.

ИССЛЕДОВАНИЕ

Соберём две электрические цепи, содержащие одинаковые по назначению элементы. В первой цепи потребителем электрической энергии является лампочка от карманного фонаря, а в качестве источника тока используется обычная батарейка. Во второй цепи потребитель — бытовая осветительная лампа, подключённая к аккумулятору. Амперметры, включённые в эти цепи, показывают одинаковую силу тока. Но одинаковым ли будет при этом действие тока в каждой цепи? Опыт показывает: лампа, включённая



в цепь, источником тока которой является аккумулятор, даёт гораздо больше тепла и света, чем лампочка от карманного фонаря.

Поскольку при одной и той же силе тока его тепловое действие было различным, значит, и работа тока в этих цепях различна. Следовательно, работа тока зависит также от другой его характеристики.

Эту новую физическую величину, являющуюся важной характеристикой электрического поля, называют **электрическим напряжением**. Напряжение, которое создаёт батарейка, значительно меньше напряжения, которое даёт аккумулятор. Именно поэтому при одной и той же силе тока лампа, соединённая с батарейкой, даёт меньше света и тепла.

НАПРЯЖЕНИЕ. Напряжение показывает, какую работу совершает электрическое поле при перемещении единичного электрического заряда из одной точки в другую. Напряжение обычно обозначают буквой U .

ВАЖНО ⚠

Напряжение равно отношению работы электрических сил $A_{эл}$ к заряду q , который перемещается из одной точки в другую:

$$U = \frac{A_{эл}}{q}.$$



Алессандро Вольт
(1745—1827)

ЕДИНИЦЫ НАПРЯЖЕНИЯ. Единица электрического напряжения называется *вольт* (В) в честь итальянского учёного Алессандро Вольты, создавшего первый гальванический элемент.

За единицу напряжения (1 В) принимают такое электрическое напряжение на концах проводника, при котором работа по перемещению электрического заряда в 1 Кл по этому проводнику равна 1 Дж:

$$1 \text{ В} = 1 \text{ Дж/Кл}.$$

Например, если напряжение на концах проводника равно 5 В, это означает, что при перемещении по нему заряда 1 Кл совершается работа 5 Дж.

На практике применяются дольные и кратные единицы напряжения: *милливольт* (1 мВ = 0,001 В), *киловольт* (1 кВ = 1000 В), *мегавольт* (1 МВ = 1 000 000 В) и др.

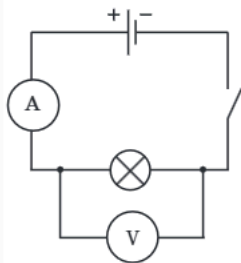
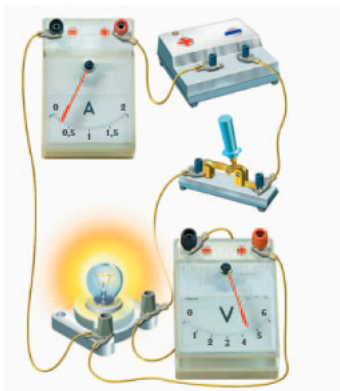


Для человеческого организма напряжение 1 В не опасно. Безопасным для человека считается напряжение до 12 В. Однако надо иметь в виду, что значение напряжения, опасного для человека, зависит ещё и от внешних условий. Например, в сырых помещениях степень опасности существенно возрастает. Происходит это потому, что многие вещества, являющиеся в сухом состоянии изоляторами, во влажном состоянии становятся проводниками электричества. Дело в том, что обычная (недистиллированная) вода является проводником.

ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ. Прибор, с помощью которого измеряют напряжение на полюсах источника тока или на каком-либо участке цепи, называют **вольтметром**. По внешнему виду и устройству вольтметр очень похож на гальванометр и амперметр. На шкале вольтметра ставят букву **V**.

В отличие от амперметра, который включают всегда *последовательно* с нагрузкой, вольтметр включают в цепь по-другому. При измерении напряжения зажимы вольтметра подключают к тем точкам цепи, между которыми надо измерить напряжение. Такое включение прибора называется *параллельным*. Как и у амперметра, у одного зажима вольтметра ставят знак «+», у другого — «-». Клемму со знаком «+» нужно соединить с проводом, идущим от положительного полюса источника тока, а клемму со знаком «-» — с проводом, идущим от отрицательного полюса источника тока.

На электрических схемах вольтметр изображают в виде кружка с буквой **V**.



- ! Напряжение показывает, какую работу совершает электрическое поле при перемещении единичного электрического заряда из одной точки поля в другую.
- ! Единица электрического напряжения называется вольт. Прибор для измерения напряжения называется вольтметром.

ВЫВОДЫ

Напряжение; единицы напряжения; вольтметр

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. Что показывает напряжение?
2. Какая единица принята за единицу напряжения?
3. Как называют прибор для измерения напряжения и как его необходимо подключать в цепь?
4. Как можно проверить правильность работы используемого вольтметра, если в нашем распоряжении имеется вольтметр с заранее известной точностью? Можно ли при этом проверяемый вольтметр оставлять подключённым к участку цепи?

§ 55 ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое сопротивление.
- Каковы единицы сопротивления.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое электрический ток?

Если включать в цепь различные проводники, то сила тока будет различной. Выясним, почему так происходит.

ЗАВИСИМОСТЬ СИЛЫ ТОКА ОТ ВИДА ПРОВОДНИКА, ВКЛЮЧЁННОГО В ЦЕПЬ

ИССЛЕДОВАНИЕ



Соберём цепь, состоящую из источника тока, ключа, лампочки и амперметра. Будем последовательно подсоединять проводники одинакового размера, но сделанные из различных материалов (например, железа, меди и никеля). При этом видно, что показания амперметра и свечение лампочки при включении различных проводников изменяются. Так, свечение лампочки и сила тока при подключении железного проводника больше, чем при подключении никелевого, но меньше, чем при подключении медного.

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОВОДНИКОВ.

Опыт показал, что при включении в цепь одного и того же источника тока сила тока зависит от свойств проводников, включённых в эту цепь. Это означает, что разные проводники оказывают различное противодействие, или сопротивление, току. Это сопротивление возникает из-за взаимодействия движущихся электронов с положительно заряженными ионами кристаллической решётки металла.

Соответственно уменьшается и переносимый электронами за 1 с заряд, т. е. уменьшается сила тока. Вместе с тем в результате взаимодействия с электронами усиливается беспорядочное колебательное движение ионов. Это приводит к повышению температуры проводника. Следовательно, энергия движущихся зарядов превращается во внутреннюю энергию проводника.

Разные проводники обладают различным сопротивлением электрическому току из-за особенностей в строении их кристаллической решётки.

ВАЖНО

Сопротивление металлических проводников электрическому току обусловлено взаимодействием движущихся электронов и ионов кристаллической решётки.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТОВ.

Рассмотренные выше опыты по зависимости силы тока в цепи от свойств проводников касались только металлов. Однако зависимость сопротивления от свойств вещества остаётся справедливой и для проводников другой природы, например электролитов.

Чтобы убедиться в этом, воспользуемся приведённой выше цепью. Только теперь вместо проводника в цепь включим сосуд для электролиза, который будем поочерёдно заполнять слабым водным раствором обычной соли, 10-процентным раствором медного купороса и 20-процентным раствором медного купороса.

В случае заполнения сосуда 20-процентным раствором медного купороса в начале наблюдения мы видим более яркое свечение лампочки, чем в случае заполнения 10-процентным раствором медного купороса или слабым соляным раствором. При этом более яркому свечению лампочки соответствуют большие показания амперметра.

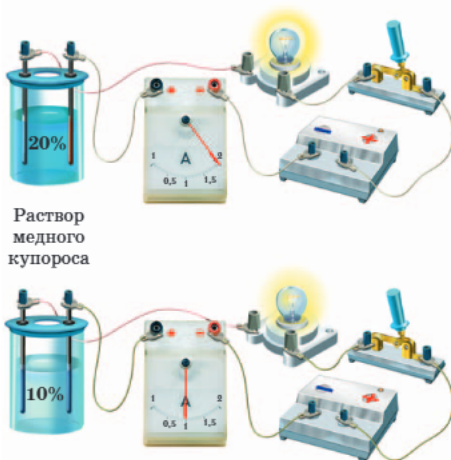
Таким образом, сопротивление электролитов существенно зависит от концентрации свободных носителей заряда, т. е. положительно и отрицательно заряженных ионов. Чем выше их концентрация, тем меньше сопротивление электролита при прочих равных условиях.

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ. Физическая величина, характеризующая способность проводника препятствовать прохождению электрического тока в этом проводнике, называется **электрическим сопротивлением**. Сопротивление обозначают буквой R .

Единица сопротивления называется **ом** (1 Ом) в честь немецкого учёного Георга Ома, который впервые ввёл это понятие. 1 Ом — это сопротивление такого проводника, в котором при напряжении на концах 1 В сила тока равна 1 А:

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

На практике применяются дольные и кратные единицы сопротивления: *микроом* (1 мкОм = 0,000001 Ом), *миллиом* (1 мОм = 0,001 Ом), *килоом* (1 кОм = 1000 Ом), *мегаом* (1 МОм = 1 000 000 Ом) и др.



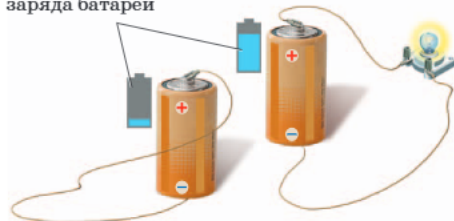
ЭТО ИНТЕРЕСНО

По-английски и по-французски слово «сопротивление» пишется как *resistance*. Поэтому элемент электрической схемы, обладающий каким-либо сопротивлением, стали называть резистором, а буква *R* используется как обозначение резистора на схемах.



Лампочка обладает более высоким сопротивлением электрическому току, чем проволока. Поэтому электрический ток в проводнике без лампочки больше, чем с лампочкой. Если к батарейке подсоединить лампочку, то батарейка разрядится не так быстро, как если бы к ней подсоединили обычный проводник.

Индикатор
заряда батареи



ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ. Для измерения сопротивления проводников используется специальный измерительный прибор — *омметр*. В зависимости от диапазона измеряемых сопротивлений используются миллиомметры и микроомметры — для измерения малых сопротивлений (менее 1 Ом), а также мегаомметры, гигаомметры и тераомметры — для измерений больших и очень больших сопротивлений (более 10^{12} Ом).



Мультиметр — электронный измерительный прибор, который объединяет в себе сразу несколько функций. Мультиметр может измерять силу тока, напряжение, сопротивление и другие величины. Поэтому этот прибор также называют *авометр* (по первым буквам единиц: ампер, вольт, ом). Другое распространённое название мультиметра — *тестер*.

Существуют мультиметры двух типов: цифровые, имеющие электронное табло, и аналоговые, имеющие шкалу со стрелкой.



Знание о сопротивлении участка цепи необходимо для проверки работоспособности приборов и качества изоляции проводов. Например, измерив сопротивление изоляции кабеля, можно определить наличие механических повреждений и степень износа. Изоляционные материалы обладают высоким сопротивлением. Если сопротивление изоляции ниже нормы, то это означает, что в цепи есть утечка и кабель необходимо заменить.

СВЕРХПРОВОДНИКИ. Сопротивление существенно зависит от материала, из которого изготовлен проводник. Металлические проводники обычно имеют низкое сопротивление, а тела, сделанные из диэлектриков (например, резина, пластика, керамика), — высокое сопротивление.

Существует также класс веществ, сопротивление которых уменьшается до нуля, когда их температура понижается ниже некоторого критического уровня. При этом электроны практически не испытывают сопротивления со стороны атомов кристаллической решётки. Такие материалы называют *сверхпроводниками*. Если в сверхпроводнике возбудить электрический ток, то для его поддержания не нужен источник тока.

Явление *сверхпроводимости* было открыто в 1911 г. голландским физиком Х. Камерлинг-Оннесом. Он обнаружил, что при охлаждении ртути до крайне низких температур ($-269\text{ }^{\circ}\text{C}$) её сопротивление уменьшается до нуля. Позднее было обнаружено, что этим свойством обладает не только ртуть, но и некоторые другие металлы и сплавы. В настоящее время ведутся работы по созданию новых материалов, которые могут быть сверхпроводниками даже при положительных температурах (это так называемая *высокотемпературная сверхпроводимость*).



Физическая величина, характеризующая способность проводника препятствовать прохождению электрического тока в этом проводнике, называется электрическим сопротивлением.



Единица сопротивления называется **ом**.

ВЫВОДЫ

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Сопротивление; единица сопротивления; сверхпроводимость

1. Что такое электрическое сопротивление?
2. В чём причина сопротивления проводников электрическому току?
3. Что принимают за единицу сопротивления?
4. Может ли сопротивление проводника зависеть от его агрегатного состояния (например, если сравнивать сопротивление электролита в жидком и твёрдом состояниях)?

§ 56 ЗАКОН ОМА

НОВОЕ В УРОКЕ

- Как сила тока зависит от напряжения.
- Как сила тока зависит от сопротивления.
- Как формулируется закон Ома.

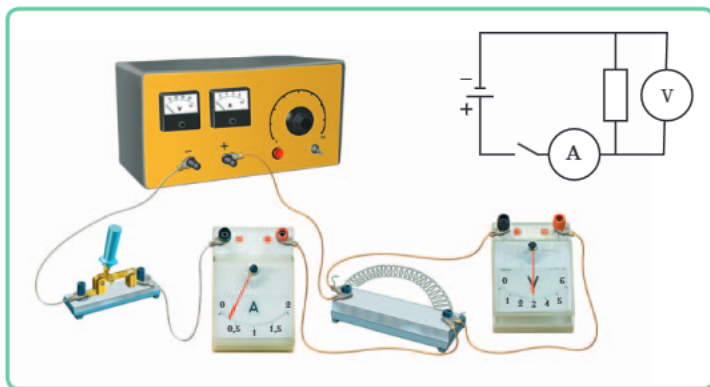
ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое сила тока?
- Что такое напряжение?
- Что такое сопротивление?

Мы изучили три физические величины, характеризующие прохождение электрического тока в цепи: силу тока, напряжение и сопротивление. Возникает вопрос, как эти три величины связаны между собой. На этот вопрос ответил немецкий учёный Георг Ом, сформулировав в 1827 г. свой знаменитый закон, который носит его имя.

ЗАВИСИМОСТЬ СИЛЫ ТОКА ОТ НАПРЯЖЕНИЯ. Экспериментально установим, каково соотношение между силой тока и напряжением при неизменном сопротивлении цепи.

ИССЛЕДОВАНИЕ



Соберём электрическую цепь, состоящую из источника тока, резистора, ключа, амперметра и вольтметра. В качестве источника тока будем использовать устройство, которое позволяет изменять выходное напряжение от 0 до 15 В. После каждого изменения напряжения будем снимать показания приборов и записывать их в таблицу.

При проведении опыта необходимо иметь в виду, что внутреннее сопротивление амперметра должно быть много меньше сопротивления участка цепи, на котором измеряется сила тока, а внутреннее сопротивление вольтметра — много больше сопротивления этого участка.

U , В	I , А
1,5	0,15
3	0,3
4,5	0,45
6	0,6

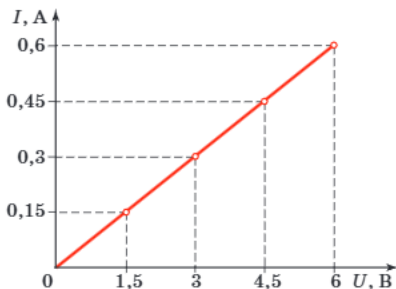
Опыт показывает, что во сколько раз увеличивается напряжение на участке цепи, во столько же раз увеличивается и сила тока на этом участке, т. е.

сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на концах этого проводника:

$$I \sim U.$$

Построим график зависимости силы тока от напряжения, используя в качестве значений данные из таблицы. Этот график представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат.

График зависимости силы тока от напряжения называется **вольт-амперной характеристикой** цепи.



Вольт-амперные характеристики строятся для множества устройств в электронике, таких как диоды, транзисторы и др. Эти графики помогают инженерам определять основные электрические характеристики устройств и предсказывать, как они будут изменяться при изменении других параметров цепи.



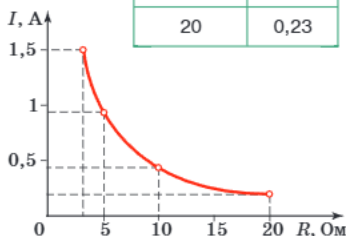
ЗАВИСИМОСТЬ СИЛЫ ТОКА ОТ СОПРОТИВЛЕНИЯ. Проверим, как зависит сила тока в цепи от сопротивления при постоянном напряжении в цепи.

ИССЛЕДОВАНИЕ

В той же электрической цепи будем поддерживать постоянное напряжение, например 4,5 В. Но вместо одного сопротивления используем магазин сопротивлений.

Для каждого сопротивления измерим силу тока в цепи и данные запишем в таблицу.

R, Ом	I, А
3	1,5
5	0,9
10	0,45
20	0,23



Если по результатам этих измерений построить график зависимости силы тока от сопротивления, то он уже не будет прямой линией. Кривая, проведенная по экспериментальным точкам, представляет собой *гиперболу*.

Итак, опыт показывает, что, чем больше сопротивление проводника, тем меньше сила тока при одном и том же напряжении между концами проводника.



Георг Симон Ом
(1787—1854)

Сила тока в проводнике обратно пропорциональна сопротивлению проводника:

$$I \sim \frac{1}{R}.$$

ЗАКОН ОМА. Обобщая результаты обоих опытов, можно утверждать, что

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

Это утверждение называется законом Ома для участка цепи и записывается следующим образом:

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

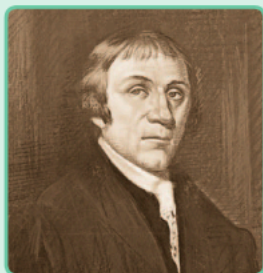
ВАЖНО ⚠

Закон Ома: сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка и обратно пропорциональна сопротивлению:

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

Закон Ома справедлив только для проводников, у которых сопротивление не зависит от приложенного напряжения и силы тока. К таким проводникам относят металлические проводники, уголь и электролиты. Сопротивление газов зависит от приложенного напряжения, и потому для газов закон Ома не выполняется.

ЭТО ИНТЕРЕСНО



Генри Кавендиш
(1731—1810)

Любопытно, что открытие закона Ома предвосхитил богатый английский лорд Генри Кавендиш, который занимался физикой и химией в качестве хобби. Из множества своих исследований Кавендиш опубликовал всего 18 научных работ, однако гораздо большее их число так и остались неизвестными современникам. Блестящие эксперименты Кавендиша с электричеством, проведённые в домашней лаборатории, стали известны только после публикации в 1879 г. Дж. Максвеллом его избранных работ. Среди них было исследование зависимости силы взаимодействия электрических зарядов от расстояния, предвосхитившее открытие закона Ш. Кулоном.

Кавендиш также ввёл понятие ёмкости.

Из закона Ома можно получить важные следствия.

1. Зная напряжение U на участке цепи и силу тока I , можно найти сопротивление R проводника:

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

2. Зная силу тока I и сопротивление R проводника, можно найти напряжение U на этом проводнике:

$$U = IR.$$

Кроме способа измерения сопротивления с помощью омметра или мультиметра, существует более универсальный способ, основанный на законе Ома. Измерив силу тока и напряжение, можно вычислить сопротивление элемента цепи: $R = \frac{U}{I}$.

Однако важно понимать, что сопротивление проводника не зависит от напряжения и силы тока. Если уменьшать напряжение на участке цепи, то будет уменьшаться и сила тока, а сопротивление участка цепи останется неизменным.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Сегодня закон Ома кажется простым, но во времена его открытия проведение измерений было достаточно сложной задачей. Несовершенство измерительных приборов снижало точность измерений. Но основным источником ошибок были используемые гальванические батареи. Постоянные (химические) элементы ещё не были известны в то время, а напряжение используемых батарей быстро уменьшалось за время проведения опыта. За два года до открытия закона Г. Ом опубликовал свою первую работу, в которой выражение зависимости между силой тока в проводнике и напряжением на его концах оказалось неверным. Из-за этой ошибки все последующие работы Ома считались недостоверными и не принимались всерьёз. Лишь 10 лет спустя другие учёные подтвердили закон, установленный Г. Омом в 1827 г. Осознание научным сообществом заслуг Ома выразилось в том, что на Международном конгрессе электриков в 1881 г. его именем была названа единица электрического сопротивления.



Закон Ома: сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка и обратно пропорциональна сопротивлению.

ВЫВОД

Закон Ома; вольт-амперная характеристика

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. Как сила тока зависит от напряжения?
2. Как сила тока зависит от сопротивления?
3. Как формулируется закон Ома?
4. Каким минимальным числом приборов нужно располагать, чтобы опытным путём проверить закон Ома? Назовите эти приборы.

§ 57 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

- ЗАДАЧА 1. Через нить накаливания лампочки от карманного фонарика за 2 мин проходит электрический заряд 30 Кл. Чему равна сила тока в этой лампочке?

Дано: $q = 30 \text{ Кл}$ $t = 2 \text{ мин}$	СИ 120 с	Решение. $I = \frac{q}{t},$ $I = \frac{30 \text{ Кл}}{120 \text{ с}} = 0,25 \text{ А} = 250 \text{ мА}.$
$I - ?$		

Ответ: 250 мА.

- ЗАДАЧА 2. При подключении электроплитки к источнику тока с напряжением 120 В сила тока в спирали составляет 10 А. Определите работу тока за 5 мин.

Дано: $U = 120 \text{ В}$ $I = 10 \text{ А}$ $t = 5 \text{ мин}$	СИ 300 с	Решение. Напряжение определяется по формуле $U = \frac{A}{q}$, следовательно, $A = Uq$. Из формулы $I = \frac{q}{t}$ выразим $q = It$. Получим $A = UIt$. $A = 120 \text{ В} \cdot 10 \text{ А} \cdot 300 \text{ с} = 360\,000 \text{ Дж} = 360 \text{ кДж}$
$A - ?$		

Ответ: 360 кДж.

- ЗАДАЧА 3. Определите силу тока в кипятильнике, включённом в сеть с напряжением 220 В, если сопротивление спирали кипятильника составляет 55 Ом.

Дано: $U = 220 \text{ В}$ $R = 55 \text{ Ом}$	Решение. Силу тока в кипятильнике можно определить, воспользовавшись законом Ома: $I = \frac{U}{R}, I = \frac{220 \text{ В}}{55 \text{ Ом}} = 4 \text{ А}.$
$I - ?$	

Ответ: 4 А.

- ЗАДАЧА 4. На рисунке приведена вольт-амперная характеристика проводника. Определите сопротивление проводника.

Дано: $I(U)$	
$R - ?$	



Решение.

Сила тока связана с напряжением законом Ома: $I = \frac{U}{R}$.

Поэтому сопротивление проводника можно найти по формуле $R = \frac{U}{I}$.

Значение U и I определим по графику.

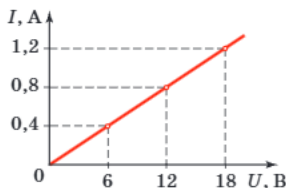
Например, при напряжении $U = 5$ В сила тока $I = 250$ мА = 0,25 А.

Подставим их в формулу и найдём сопротивление: $R = \frac{5 \text{ В}}{0,25 \text{ А}} = 20 \text{ Ом}$.

Ответ: 20 Ом.

Задачи для самостоятельного решения

- 1 Для работы карманного калькулятора на солнечных батареях необходима сила тока 0,3 мА. Сколько электронов проходит через поперечное сечение проводов калькулятора за 1,5 мин?
- 2 При пуске двигателя грузового автомобиля электрический заряд 720 Кл проходит от аккумулятора по цепи за 4 с. Чему равна при этом сила тока в цепи («пусковой ток двигателя»)?
- 3 Определите время прохождения электрического тока в цепи, если при силе тока 25 мА и напряжении 6 В силами электрического поля была совершена работа 150 Дж.
- 4 Вычислите напряжение на участке цепи, если за время 20 с при силе тока 30 мА силами электрического поля на этом участке была совершена работа 5,4 Дж.
- 5 Резистор подключён к источнику тока с напряжением 220 В. При этом амперметр, соединённый последовательно с резистором, показывает силу тока 2 А. Какими будут показания амперметра, если резистор подключить к источнику с напряжением 150 В?
- 6 Можно ли в проводнике сопротивлением 50 Ом получить силу тока 300 мА от источника, напряжение на зажимах которого равно 12 В?
- 7 Можно ли измерить силу тока амперметром, имеющим шкалу до 2 А, на участке цепи сопротивлением 3,5 Ом, если напряжение на этом участке 9 В?
- 8 На рисунке приведена вольт-амперная характеристика проводника. Определите сопротивление проводника.
- 9 В цепь с напряжением 6 В поочерёдно включают резисторы, имеющие различные сопротивления, и с помощью амперметра измеряют силу тока. Для первого резистора показания амперметра составили 0,6 А, для второго — 0,3 А, для третьего — 0,2 А, для четвёртого — 0,15 А. Постройте график зависимости силы тока от сопротивления.



§ 58 ЛАБОРАТОРНЫЕ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

Лабораторная работа № 5

Сборка электрической цепи и измерение силы тока в различных её участках

Цель работы

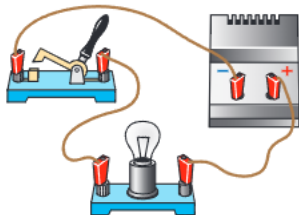
Научиться собирать простейшую электрическую цепь и измерять силу тока на различных участках цепи.

Оборудование и материалы

Источник электрического тока (батарейка), электрическая лампочка, ключ, амперметр, соединительные провода.

Ход работы

- Соберите электрическую цепь, состоящую из источника электрического тока, лампочки и ключа.
- Вспомните правила подключения амперметра в цепь. Подключите амперметр между лампочкой и положительным полюсом источника электрического тока. Измерьте силу тока I_1 на этом участке цепи. Начертите схему электрической цепи.
- Подключите амперметр между лампочкой и ключом. Измерьте силу тока I_2 на этом участке цепи. Начертите схему электрической цепи.
- Подключите амперметр между ключом и отрицательным полюсом источника электрического тока. Измерьте силу тока I_3 на этом участке цепи. Начертите схему электрической цепи.
- Запишите результаты измерений силы тока в таблицу в своей тетради.



I_1, A	I_2, A	I_3, A

- Сравните полученные значения силы тока и сделайте вывод.

Лабораторная работа № 6

Измерение напряжения на различных участках электрической цепи

Цель работы

Научиться измерять напряжение на различных участках электрической цепи.

Оборудование и материалы

Источник электрического тока (батарея), электрическая лампочка, два резистора в виде спиралей, ключ, вольтметр, соединительные провода.

Ход работы

- Соберите электрическую цепь, состоящую из источника электрического тока, лампочки, двух последовательно соединённых резисторов и ключа.
- Вспомните правила подключения вольтметра в цепь. Подключите вольтметр к зажимам одного из проводников. Измерьте напряжение U_1 на этом участке цепи. Начертите схему электрической цепи.
- Подключите вольтметр к зажимам другого проводника. Измерьте напряжение U_2 на этом участке цепи. Начертите схему электрической цепи.
- Подключите вольтметр к зажимам обоих проводников. Измерьте напряжение U_3 на этом участке цепи. Начертите схему электрической цепи.
- Запишите результаты измерений напряжения в таблицу в своей тетради.

U_1, A	U_2, B	U_3, B

- Сравните полученные значения напряжения и сделайте вывод.

Лабораторная работа № 7

Измерение сопротивления проводника при помощи амперметра и вольтметра

Цель работы

Научиться измерять сопротивление проводника при помощи амперметра и вольтметра.

Оборудование и материалы

Источник электрического тока (батарея), реостат, ключ, амперметр, вольтметр, соединительные провода, набор исследуемых сопротивлений.

Ход работы

- Соберите электрическую цепь, состоящую из источника электрического тока, одного из исследуемых проводников, амперметра, вольтметра, реостата и ключа.
- Измерьте силу тока и напряжение на исследуемом проводнике.
- Начертите схему электрической цепи.
- Замените исследуемый проводник другим и повторите измерения силы тока и напряжения на нём.
- Повторите измерения с третьим проводником.
- Результаты измерений занесите в таблицу в своей тетради.

Номер опыта	I, A	U, B	$R, Ом$

- Используя закон Ома, вычислите сопротивление исследуемого проводника в каждом опыте.
- Постройте график зависимости силы тока от сопротивления.
- Сделайте вывод.

Практические работы-исследования

Изучаем электрический ток

«ОВОЩНЫЕ» ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

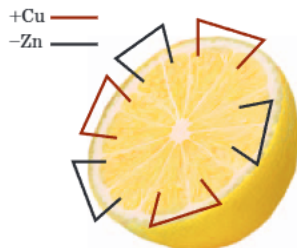
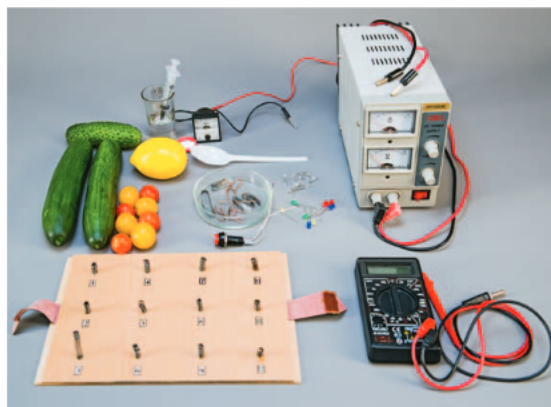
Одной из основных частей всех гальванических элементов являются электролиты, т. е. растворы солей, кислот и щелочей. Поэтому в качестве природных («овощных») гальванических элементов можно использовать, например, солёные овощи или лимоны.

Цель работы

Изучить особенности протекания электрического тока в проводниках из овощей, проверить возможность использования «овощных» источников тока.

Ход работы

- В качестве оборудования можно использовать следующие приборы и материалы: источник постоянного тока (батарейка), наборы для изготовления «овощных» источников тока и «овощных» проводников (солёные и свежие огурцы, лимоны), медные и цинковые проволочки, миллиамперметр (цифровой мультиметр), микроамперметр (стрелочный прибор, снабжённый шкалой, позволяющий фиксировать изменение направления силы тока в цепи), коммутационная плата, набор медных проволочек с зачищенными концами для соединения «овощных» проводников, раствор поваренной соли, шприц, часы.



Опыт № 1

- Составьте цепь из последовательно соединённых 2—3 свежих огурцов и миллиамперметра. Соединение осуществите с помощью коммутационной платы и медных проволочек.

- Подключите цепь к источнику постоянного тока и наблюдайте характер изменения силы тока в цепи с течением времени.
- С помощью шприца введите в объём каждого из огурцов по несколько миллилитров раствора поваренной соли.
- Результаты измерений зависимости силы тока от времени занесите в таблицу 1, начертив её в своей тетради.

Таблица 1

t , мин									
I , мА									

- На миллиметровой бумаге постройте график зависимости силы тока от времени $I(t)$.
- Объясните полученные результаты.

Опыт № 2

- С помощью шприца введите в свежий огурец 2—3 мл солевого раствора.
- Подключите овощ к источнику постоянного тока на время порядка 3—5 минут. Зафиксируйте направление тока в огурце с учётом полярности подключения к источнику.
- Отключите «овощной» проводник от источника и замкните его концы на микроамперметр.
- Обратите особое внимание на тот факт, что направление силы тока в огурце изменилось на противоположное.
- Результаты измерений зависимости силы «обратного тока» от времени занесите в таблицу 2 (в тетради).

Таблица 2

t , мин									
I , мкА									

- По данным таблицы 2 на миллиметровой бумаге постройте график зависимости силы «обратного тока» от времени.
- Принимая во внимание, что электрический ток в «овощном» проводнике создаётся направленным движением ионов Na^+ и Cl^- , оцените скорость диффузии ионов в огурце, зная его длину L и время t уменьшения «обратного тока» до нуля.
- Объясните результаты опыта № 2.

Опыт № 3

- Составьте электрическую цепь, источником в которой являются два солёных огурца, соединённых параллельно, а проводниками — свежий огурец и несколько помидоров, соединённых последовательно.
- Результаты измерений зависимости силы тока в этой цепи от времени занесите в таблицу 3 (в тетради).

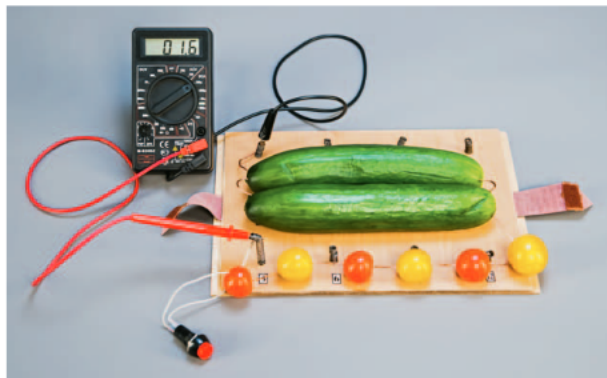


Таблица 3

t , мин									
I , мкА									

- По данным таблицы 3 на миллиметровой бумаге постройте график зависимости силы тока от времени $I(t)$.
- По результатам измерений сделайте выводы.

КЕЙС

НЕОДНОРОДНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ

Неоднородными являются электрические цепи, содержащие проводники, обладающие разными типами носителей заряда, например, электроны в металлах и ионы в электролитах.

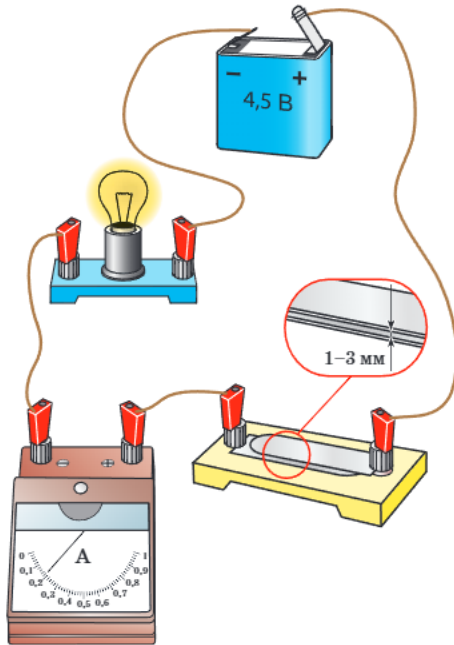
Цель работы

Изучить особенности прохождения электрического тока в цепи, составленной из металлических и неметаллических проводников.

Этапы выполнения задания

- В качестве оборудования можно использовать батарейку, лампочку для карманного фонаря, амперметр, две полоски жести, два куска медной проволоки с зачищенными концами, раствор поваренной соли, коммутационную плату, прищепку, спиртовку.





- Соберите электрическую цепь, состоящую из батарейки, лампочки, амперметра и двух полосок жести, разделённых воздушным промежутком шириной 1—3 мм.
- С помощью пипетки введите в этот промежуток (на одну из полосок) небольшое количество раствора соли.
- Наблюдайте за изменениями силы тока в цепи и характера свечения лампочки, если полоски жести осторожно смещать относительно друг друга.
- Придерживая верхнюю полоску жести прищепкой, нагрейте её с помощью горячей спиртовки.
- Объясните наблюдаемые явления.

ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Электрическим током называется упорядоченное движение заряженных частиц под действием электрического поля.
- В источнике тока благодаря химическим или иным процессам происходит разделение положительно и отрицательно заряженных частиц. При этом один из полюсов источника тока заряжается положительно, а другой — отрицательно.
- Электрический ток в металлах представляет собой упорядоченное движение свободных электронов.
- Электрический ток в растворах (или расплавах) электролитов представляет собой перемещение ионов обоих знаков в противоположных направлениях.
- В обычных условиях газы являются хорошими изоляторами. При внешнем воздействии атомы газа могут превращаться в ионы.
- При прохождении электрического тока могут происходить различные явления, которые называются действиями электрического тока.
- Источник тока, потребители электрической энергии и приборы управления током, соединённые между собой проводами, составляют электрическую цепь.
- Общепринятым направлением электрического тока в цепи считается направление, в котором движутся (или могли бы двигаться) положительные заряды, т. е. направление от положительного полюса источника тока к отрицательному.
- Сила тока — это физическая величина, которая показывает, какой электрический заряд проходит через поперечное сечение проводника за единицу времени. Единица силы тока — ампер.
- Напряжение показывает, какую работу совершает электрическое поле при перемещении единичного электрического заряда из одной точки поля в другую. Единица напряжения — вольт.
- Физическую величину, характеризующую способность проводника препятствовать прохождению электрического тока в этом проводнике, называют электрическим сопротивлением. Единица сопротивления — ом.
- Закон Ома: сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка и обратно пропорциональна сопротивлению.

Вопросы для обсуждения

- ❓ В чём состоит принципиальное различие между гальваническим элементом и аккумулятором?
- ❓ Изменится ли форма записи закона Ома, если за направление тока в цепи принять направление движения отрицательно заряженных частиц?
- ❓ Почему возникает опасность поражения током при использовании неисправными электроприборами?

Темы исследовательских и проектных работ

- Как был открыт электрический ток.
- Прошлое и будущее гальванических элементов.
- Использование электролиза в промышленности.
- Электрический ток и медицина.
- Какой ток опасен для человека. Методы защиты от поражения электрическим током.
- Электрический ток в природе.

Глава 6

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

...Подобно тому как посредством теплоты может быть произведена механическая работа, электрический ток способен вызвать частично механическое действие, частично теплоту.

Р. Клаузиус



§ 59 РАСЧЁТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА

НОВОЕ В УРОКЕ

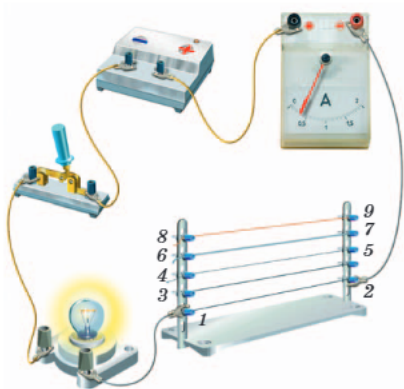
- От каких параметров зависит сопротивление проводника.
- Что такое удельное сопротивление проводника.
- Для чего используют реостаты.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое электрическое сопротивление и каковы его единицы?
- В чём состоит закон Ома?

Опыты показывают, что разные проводники обладают разным сопротивлением. С какими свойствами нужно выбрать проводник, чтобы при заданном значении напряжения обеспечить необходимую силу тока в цепи?

ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА ОТ ЕГО ДЛИНЫ. В цепь, состоящую из источника тока, лампочки, амперметра и ключа, включён проводник в виде нихромовой проволоки длиной 1 м и площадью поперечного сечения 0,4 мм² (зажимы 1 и 2). Если замкнуть цепь, то лампочка загорится, а показания амперметра составят 1 А.



Что произойдёт, если увеличить длину нихромовой проволоки в 2 раза, добавив в цепь проволоку такой же длины и сечения (зажимы 1 и 3)? При замыкании цепи показания амперметра уменьшились в 2 раза. При этом яркость лампочки также уменьшилась. Если длину проводника увеличить в 3 раза, то сила тока уменьшится в 3 раза.

Итак, увеличение длины проводника, включённого в цепь, приводит к уменьшению силы тока в цепи. По закону Ома сила тока обратно пропорциональна сопротивлению проводника: $I = \frac{U}{R}$.

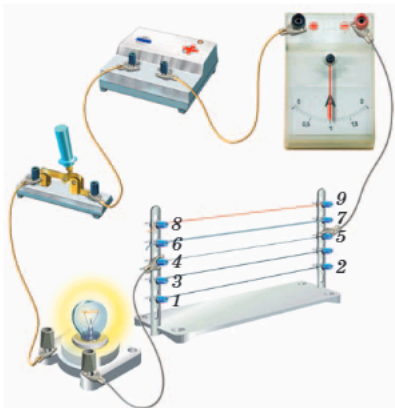
Таким образом, чем больше длина проводника, тем больше его сопротивление.

Сопротивление проводника прямо пропорционально его длине: $R \sim l$.

ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА ОТ ПЛОЩАДИ ЕГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ.

Продолжим исследование. Включим в цепь два нихромовых проводника длиной по 1 м с площадями поперечного сечения $0,4 \text{ мм}^2$ и $0,1 \text{ мм}^2$ (зажимы 1—2 и 4—5 соответственно). Поочерёдно включая их в цепь, заметим, что показания амперметра больше для проводника с большей площадью поперечного сечения.

Таким образом, чем больше площадь поперечного сечения проводника (при условии, что их длина и материал, из которого они изготовлены, одинаковы), тем больше сила тока в цепи. Это означает, что



сопротивление проводника обратно пропорционально площади его поперечного сечения:

$$R \sim \frac{1}{S}.$$

ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА ОТ МАТЕРИАЛА, ИЗ КОТОРОГО ОН ИЗГОТОВЛЕН.

До сих пор мы проводили опыты с проводниками из одного материала, различающимися лишь размерами. Как вы думаете, будет ли зависеть сопротивление от материала, из которого изготовлен проводник?

Вспользуемся той же приведённой цепью. Подключим в неё два проводника длиной по 1 м с площадью поперечного сечения $0,4 \text{ мм}^2$, один из которых изготовлен из меди, а другой — из нихрома (зажимы 1—2 и 8—9 соответственно). Поочерёдно включая их в цепь, мы заметим, что показания амперметра больше, когда в цепь включён медный проводник, чем когда в цепь включён проводник из нихрома. Это означает, что сопротивления проводников, изготовленных из разных материалов, различны. Следовательно, **сопротивление зависит от материала, из которого изготовлен проводник.**

УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДНИКА. Итак, сопротивление проводника прямо пропорционально его длине и обратно пропорционально его сечению. Коэффициент пропорциональности, отражающий зависимость сопротивления от свойств материала, обозначается буквой ρ и называется *удельным сопротивлением проводника*.

ВАЖНО

Сопротивление проводника не зависит от значений тока и напряжения, а определяется его геометрическими размерами и зависит от материала, из которого он изготовлен.

Если обозначить величины: удельное сопротивление материала проводника — ρ , длина проводника — l , площадь поперечного сечения проводника — S , то его сопротивление

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

Удельное сопротивление проводника — это физическая величина, которая показывает, каким сопротивлением обладает изготовленный из данного вещества проводник длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 мм^2 .

Единицей сопротивления в СИ является *Ом*. Поэтому единицей удельного сопротивления считается *Ом · м* (*ом-метр*). На практике часто используется внесистемная единица $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$.

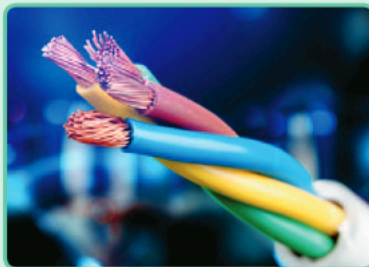
Значения удельного сопротивления для разных проводников получают опытным путём. Результаты измерений занесены в справочные таблицы. Из всех металлов наименьшим удельным сопротивлением обладают серебро и медь. Это лучшие проводники электричества.

Фарфор и эбонит имеют такое большое удельное сопротивление, что практически не проводят электрический ток; их используют в качестве изоляторов.

Для изготовления проводов чаще всего используют алюминий, железо или медь.



В электротехнике и электронике, а также в нашей повседневной жизни для передачи электроэнергии между различными элементами цепи или для энергоснабжения дома используются *провода* и *кабели*. **Провод** представляет собой отдельный проводник электрического тока.



Он может состоять из одной (одножильный провод) или нескольких (многожильный провод) скрученных между собой проволок, поверх которых находится оболочка из диэлектрика. **Кабель** состоит из нескольких изолированных между собой проводов, покрытых общей оболочкой. В отличие от проводов, кабели, благодаря сложной системе изоляции, можно прокладывать под землёй и под водой.

По аналогии с удельным сопротивлением обычных проводников, например металлов, вводится понятие *удельного сопротивления электролитов*. **Удельное сопротивление электролита** численно равно сопротивлению жидкого токопроводящего образца длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 мм^2 . Как и в случае металлических проводников, единицей удельного сопротивления электролита (в СИ) является *ом-метр* ($\text{Ом} \cdot \text{м}$).

Удельное сопротивление вещества зависит от его температуры. Например, для металлов с ростом температуры растёт и удельное сопротивление. Этот факт приходится учитывать на практике при точных расчётах спиралей электронагревательных приборов. У электролитов, наоборот, при повышении температуры удельное сопротивление уменьшается.

РЕЗИСТОР. Для решения ряда практических задач часто требуется либо увеличивать, либо уменьшать силу тока в цепи. Изменение силы тока в цепи происходит при изменении сопротивления.

Резистор — элемент электрической цепи, обладающий определённым сопротивлением. В соответствии с законом Ома, чем больше сопротивление проводника при заданном напряжении, тем меньше сила тока. Поэтому, заменяя один резистор другим, можно изменять силу тока в цепи при заданном напряжении источника тока.

Различные приборы и компоненты электрической цепи рассчитаны на определённые диапазоны значений напряжения и силы тока, в которых они могут работать. Например, если подключить светодиод напрямую к источнику тока, то светодиод перегорит. Дело в том, что светодиод обладает очень малым сопротивлением, поэтому сила тока в цепи будет велика. Чтобы уменьшить силу тока и избежать повреждений светодиода, в цепь включают дополнительный резистор.



Резисторы изготавливают из различных материалов, они могут иметь разные формы и размеры. Для указания сопротивления резистора используют специальную маркировку в виде числового кода или цветных полос.

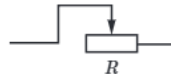


РЕОСТАТ. Прибор, позволяющий регулировать силу тока в цепи, называют реостатом. Действие реостата основано на зависимости сопротивления проводника от его длины. Поскольку изменение силы тока в цепи может осуществляться в широких пределах, а длина проводника, из которого изготовлена обмотка реостата, ограничена, то в реостатах используются проводники с большим удельным сопротивлением.



В *ползунковом реостате* проволока намотана на керамический цилиндр. Над обмоткой расположен металлический стержень, по которому может перемещаться ползунок. Перемещая ползунок по стержню, можно плавно увеличить или уменьшить сопротивление реостата, включённого в цепь.

На электрической схеме реостат изображается символом, показанным на рисунке.

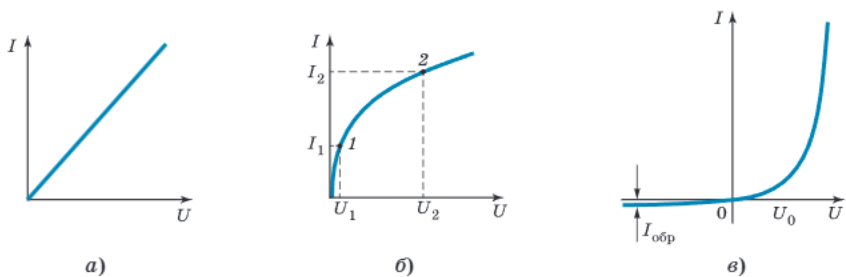


Реостаты широко применяются в различных электронных устройствах. Например, когда мы поворачиваем ручку громкости радиоприёмника, звук становится тише или громче благодаря изменению сопротивления. Если увеличить сопротивление реостата, ток в цепи, связанной с динамиком, уменьшается, что приводит к уменьшению громкости. И наоборот, с уменьшением сопротивления реостата громкость звука увеличивается. Эти же процессы используются для управления яркостью света в осветительных приборах или для регулирования скорости вращения, например при работе миксера, вентилятора или дрели.



ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ. Элементы цепи, для которых зависимость силы тока от напряжения (*вольт-амперная характеристика*) является линейной и представляет собой прямую линию, называются **линейными элементами цепи**. Для них сопротивление является постоянным и закон Ома строго выполняется (см. рисунок *a* на с. 54).

Существуют также проводники, для которых вольт-амперная характеристика не является прямой линией, а сопротивление изменяется в зависимости от силы



тока и приложенного напряжения. Такие проводники называются **нелинейными**. Для нелинейных проводников закон Ома не выполняется.

Одним из примеров нелинейного элемента является спираль лампы накаливания. При прохождении электрического тока через лампу её температура увеличивается, спираль накаляется. С ростом температуры удельное сопротивление проводника увеличивается, и, следовательно, увеличивается сопротивление самой спирали. Поэтому вольт-амперная характеристика становится нелинейной (см. рисунок б).

Поскольку сопротивление нелинейного элемента зависит от силы тока в нём, то для двух разных напряжений на элементе имеем:

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} \quad \text{и} \quad R_2 = \frac{U_2}{I_2}.$$

Ещё один пример нелинейного элемента — **полупроводниковый диод**, основное свойство которого — пропускать ток только в одном направлении. Если к диоду приложено положительное напряжение, то через диод проходит электрический ток. Если изменить полярность подключения диода, то ток через него (обратный ток $I_{\text{обр}}$) будет очень малым (см. рисунок в).

Вывод

⚠ Сопротивление проводника не зависит от значений тока и напряжения, а определяется его геометрическими размерами и зависит от материала, из которого он изготовлен.

Ключевые слова

Электрическое сопротивление; удельное сопротивление; реостат

Вопросы и задания

1. Как сопротивление проводника зависит от его длины, площади поперечного сечения и вещества, из которого он изготовлен?
2. Что такое удельное сопротивление проводника?
3. Почему при изготовлении реостатов используют материалы с большим удельным сопротивлением? Назовите недостатки реостата, которые возникают, если его обмотку сделать из медной проволоки.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ И ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ § 60

НОВОЕ В УРОКЕ

До сих пор мы рассматривали простейшие электрические цепи, состоящие из источника тока, одного потребителя (сопротивления) и измерительных приборов — амперметра и вольтметра. Однако на практике использование таких простых цепей ограничено. Обычно несколько различных потребителей энергии, соединённых между собой, подключаются к одному источнику тока.

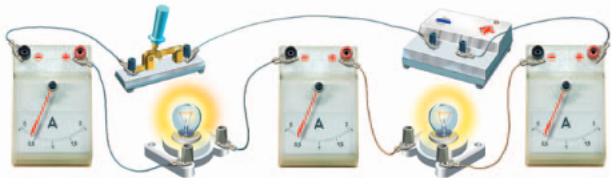
- Основные способы соединения проводников в электрической цепи.
- Как определяется сила тока и напряжение в цепи, состоящей из последовательно соединённых проводников.
- Как определяется сила тока и напряжение в цепи, состоящей из параллельно соединённых проводников.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Как измерить силу тока и напряжение на участке цепи?

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ. При *последовательном соединении* проводники включаются в цепь поочерёдно друг за другом без разветвлений проводов между ними. В таких цепях электрический ток последовательно проходит через все элементы цепи.

Соберём цепь, состоящую из двух потребителей, например лампочек, источника тока, ключа и амперметров.



Независимо от положения в цепи амперметры показывают одинаковое значение силы тока. Следовательно,

при последовательном соединении сила тока в любых участках цепи одна и та же:

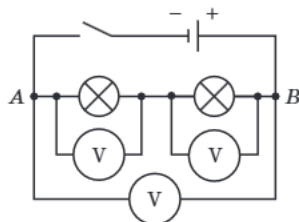
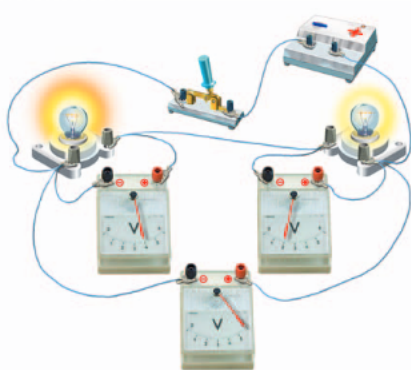
$$I = I_1 = I_2.$$

При последовательном соединении один проводник следует за другим, и все заряды, проходящие через первый из них, непременно проходят и через второй (в месте соединения проводников накопления зарядов не происходит). По закону сохранения заряда сила тока в каждом проводнике одинакова и равна силе тока I на любом участке цепи.

Сравним напряжения U_1 и U_2 на каждом из проводников и общее напряжение цепи U . Для этого подключим к каждой из лампочек по отдельному вольтметру, а также один вольтметр подсоединим ко всему участку цепи. Показания вольтметров на каждом из проводников могут быть различны. Однако, если сложить напряжения U_1 и U_2 , получим, что их сумма равна напряжению U в цепи. Таким образом,

при последовательном соединении полное напряжение в цепи равно сумме напряжений на отдельных участках цепи:

$$U = U_1 + U_2.$$



Это равенство следует из закона сохранения энергии. Вспомним, что напряжение показывает, какую работу совершает электрическое поле при перемещении электрического заряда 1 Кл. Эта работа совершается за счёт энергии движущихся зарядов. Поэтому энергия, израсходованная на всём участке цепи, равна сумме энергий, которые расходуются на отдельных проводниках, составляющих этот участок.

ВАЖНО

При последовательном соединении проводников сила тока в любых участках цепи одинакова:

$$I = I_1 = I_2.$$

Общее напряжение в цепи равно сумме напряжений на отдельных участках цепи:

$$U = U_1 + U_2.$$



Последовательное соединение часто используется в электронном оборудовании.

Блоки охранной сигнализации соединяются последовательно друг с другом.

Охранная система постоянно контролирует, чтобы вся цепь была замкнутой. При срабатывании контакты размыкаются и передаётся сигнал тревоги.

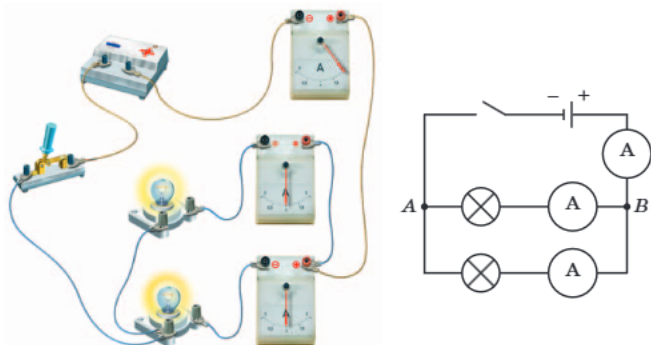
Приборы управления током, такие как выключатели, соединяются последовательно с тем устройством, работу которого надо регулировать. Например, в нашей квартире выключатели соединяются последовательно с осветительными приборами. При включении цепь замыкается и лампа начинает светиться.

Последовательное соединение нескольких лампочек используется в ёлочной гирлянде. Каждая из лампочек гирлянды рассчитана на небольшое напряжение, но при соединении в общую цепь они не перегорают при включении в бытовую сеть с напряжением 220 В.

Главным недостатком последовательного соединения является то, что выход из строя одного из элементов цепи, подключённых последовательно, ведёт к выключению всей цепи.

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ. На практике, помимо последовательного соединения, часто используется другой тип соединения проводников — *параллельное*.

При параллельном соединении все проводники, входящие в него, имеют общее начало и общий конец. Точку *A* можно считать началом этого соединения, а точку *B* — концом.



Сравним ток в общей части цепи с токами в каждом из параллельно соединённых участков (ветвей) цепи.

Соединим две лампочки параллельно и подключим их к источнику тока. Для определения силы тока в отдельной ветви цепи каждую лампочку последовательно соединим с амперметром. Третий амперметр подключим в неразветвлённой части цепи.

Согласно закону сохранения заряда, при параллельном соединении проводников общий заряд в неразветвлённой части цепи равен суммарному заряду в параллельно соединённых участках цепи.

Поскольку сила тока — это заряд, проходящий через поперечное сечение проводника в единицу времени, то

сила тока в неразветвлённой части цепи равна сумме сил токов в отдельных проводниках:

$$I = I_1 + I_2.$$

При параллельном соединении все проводники подключаются к одному и тому же источнику тока. Поэтому

напряжение на параллельных участках цепи одно и то же:

$$U = U_1 = U_2.$$



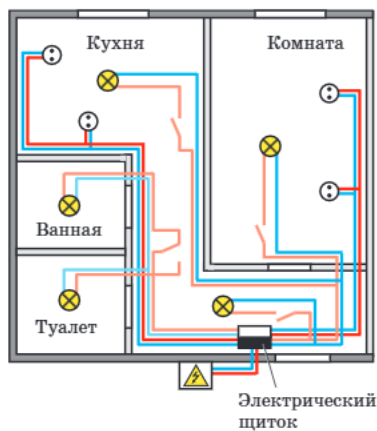
При параллельном соединении проводников сила тока в неразветвлённой части цепи равна сумме сил токов в параллельно соединённых проводниках:

$$I = I_1 + I_2.$$

Напряжение на всех параллельно соединённых проводниках одинаково:

$$U = U_1 = U_2.$$

На практике параллельное соединение проводников используется чаще, чем последовательное. Это связано с тем, что все потребители энергии при параллельном соединении работают даже в том случае, если один из них отключается. Например, если лампочки люстры соединены параллельно, то перегоревшая лампочка не разрывает сеть, и оставшиеся лампочки продолжают гореть.



Все лампы и электроприборы в наших домах подключены параллельно, поэтому они могут работать независимо друг от друга. На рисунке приведена упрощённая электрическая схема квартиры. Энергоснабжение квартиры или дома начинается с электрического щитка, который предназначен для подключения к общей электрической сети и имеет систему защиты от перегрузки и короткого замыкания. Из рисунка видно, что все лампы и розетки в квартире подключены к электрическому щитку параллельно. Таким образом, чтобы работала лампа в одной комнате, не обязательно включать лампу в другой комнате.

Вывод

Различают последовательное и параллельное соединения элементов электрической цепи.

Ключевые слова

Последовательное соединение проводников; параллельное соединение проводников

Вопросы и задания

1. Как определяется сила тока и напряжение в цепи, состоящей из последовательно соединённых проводников?
2. Как определяется сила тока и напряжение в цепи, состоящей из параллельно соединённых проводников?
3. Как включаются в электросеть бытовые приборы в вашей квартире: осветительные приборы, телевизор, холодильник и т. д.? Как вы думаете, почему был выбран именно этот тип подключения?
4. Известно, что сопротивление вольтметра существенно превышает сопротивление амперметра. По ошибке правила включения этих приборов в цепь были нарушены: амперметр был подключён к нагрузке параллельно, а вольтметр — последовательно. Опасно ли такое подключение для самих электроизмерительных приборов?

СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ И ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ ПРОВОДНИКОВ § 61

НОВОЕ В УРОКЕ

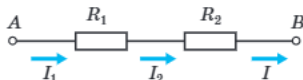
На предыдущем уроке мы выяснили, как определяется сила тока и напряжение в цепи, состоящей из последовательно и параллельно соединённых участков. Но для применения закона Ома, как правило, необходимо знать общее сопротивление такой сложной цепи.

- Как найти общее сопротивление цепи, состоящей из последовательно соединённых проводников.
- Как найти общее сопротивление цепи, состоящей из параллельно соединённых проводников.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Как формулируется закон Ома?
- Как определяется сила тока и напряжение в цепи, состоящей из последовательно соединённых проводников?
- Как определяется сила тока и напряжение в цепи, состоящей из параллельно соединённых проводников?

СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ ПРОВОДНИКОВ. Рассмотрим участок AB цепи, представляющий собой последовательное соединение двух резисторов с сопротивлениями R_1 и R_2 .



В соответствии с законом Ома полное сопротивление R рассматриваемого участка связано с напряжением и силой тока на этом участке равенством

$$U = IR,$$

где U — общее напряжение на участке AB цепи, равное сумме напряжений на каждом из резисторов ($U = U_1 + U_2$);

I — сила тока на участке цепи AB , она одинакова на всём участке и равна силе токов I_1 и I_2 в каждом из резисторов ($I = I_1 = I_2$).

Поэтому можно записать:

$$IR = IR_1 + IR_2,$$

$$IR = I(R_1 + R_2).$$

Следовательно,

$$R = R_1 + R_2.$$



При *последовательном соединении* нескольких проводников **общее сопротивление** цепи равно сумме сопротивлений отдельных проводников:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n.$$

§ 61 Сопротивление при последовательном и параллельном соединении проводников

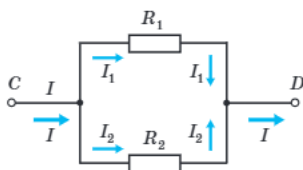
При последовательном соединении проводников их общая длина увеличивается. Поэтому сопротивление цепи становится больше сопротивления любого из проводников.



Способ последовательного подключения всё новых участков цепи реализован в работе реостата, о котором говорилось на предыдущих уроках. Передвигая ползунок реостата, мы увеличиваем или уменьшаем число витков проволоки, включённых последовательно в цепь. При этом сопротивление цепи соответственно увеличивается или уменьшается.



Яркость свечения лампочки зависит от силы тока, проходящего через неё (при условии, что напряжение не изменяется). Если в цепь с последовательно соединёнными лампами подключать дополнительные лампы, то общее сопротивление цепи увеличится. В соответствии с законом Ома, это приведёт к уменьшению силы тока, и, следовательно, все лампы в этом соединении будут светить туслее.



СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ ПРОВОДНИКОВ. Рассмотрим в цепи участок CD , представляющий собой параллельное соединение двух резисторов с сопротивлениями R_1 и R_2 .

В соответствии с законом Ома $I = \frac{U}{R}$,

где R — общее сопротивление рассматриваемого участка цепи;

U — общее напряжение на участке CD цепи, равное напряжениям U_1 и U_2 на каждом из резисторов ($U = U_1 = U_2$);

I — сила тока на участке CD цепи, она равна сумме сил токов в каждом из резисторов ($I = I_1 + I_2$).

Поэтому можно записать:

$$\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2},$$

где R_1 и R_2 — сопротивления первого и второго резисторов соответственно.

Учитывая, что $U = U_1 = U_2$, получаем

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

Следовательно,

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

Для рассмотренного случая двух резисторов, соединённых параллельно, общее сопротивление цепи можно вычислить по формуле

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



При *параллельном соединении* нескольких проводников **общее сопротивление** цепи можно получить из формулы

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

Уменьшение общего сопротивления проводников при их параллельном соединении объясняется тем, что общая площадь поперечного сечения проводников на данном участке цепи увеличивается.

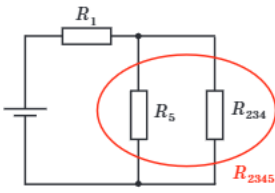
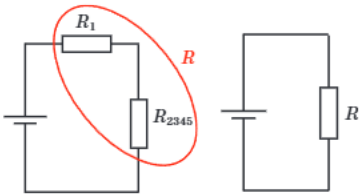
Если в цепь с параллельно соединёнными лампами параллельно подключить дополнительные источники света, то яркость свечения ламп не уменьшится. Это связано с тем, что напряжение во всех ветвях цепи остаётся одинаковым.



СМЕШАННОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ. В используемых на практике электрических цепях часто встречается смешанное соединение проводников, включающее в себя как последовательные, так и параллельные участки. При расчёте таких цепей сначала определяют необходимые величины на каждом из участков цепи, а затем находят её общие параметры.

Рассмотрим пример того, как сложную цепь преобразовать в эквивалентную цепь с одним общим сопротивлением.

	<p>Пусть имеется цепь, состоящая из пяти резисторов, имеющая участки с последовательным и параллельным соединениями.</p>
	<p>Участок, состоящий из параллельно соединённых резисторов R_2 и R_3, можно заменить на эквивалентное сопротивление R_{23}:</p> $\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$
	<p>В получившейся схеме сопротивления R_{23} и R_4 соединены последовательно. Их можно заменить эквивалентным сопротивлением R_{234}:</p> $R_{234} = R_{23} + R_4.$

	<p>Сопротивления R_5 и R_{234} соединены параллельно. Получим эквивалентное сопротивление R_{2345}:</p> $\frac{1}{R_{2345}} = \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_{234}}.$
	<p>Наконец, последовательно соединённые сопротивления R_1 и R_{2345} можно заменить эквивалентным сопротивлением R:</p> $R = R_1 + R_{2345}$

Замена сложной электрической цепи на более простую по структуре схему называется **методом эквивалентных преобразований**. При этом сила тока и напряжение во всей цепи остаются неизменными.

ВЫВОДЫ

- ⚠ При последовательном соединении нескольких проводников общее сопротивление цепи равно сумме сопротивлений отдельных проводников.
- ⚠ При параллельном соединении нескольких проводников величина, обратная общему сопротивлению цепи, равна сумме величин, обратных сопротивлениям отдельных проводников.

КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА

Последовательное соединение проводников; параллельное соединение проводников

И ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ

1. Как найти общее сопротивление цепи, состоящей из последовательно соединённых проводников?
2. Как найти общее сопротивление цепи, состоящей из параллельно соединённых проводников?
3. Как найти общее сопротивление цепи, состоящей из n одинаковых последовательно соединённых проводников? Сопротивление каждого проводника равно R .
4. Как найти общее сопротивление цепи, состоящей из n одинаковых параллельно соединённых проводников? Сопротивление каждого проводника равно R .
5. К участку цепи сопротивлением 1 МОм параллельно подключили резистор с сопротивлением 1 Ом. Как и во сколько раз изменилось при этом сопротивление данного участка цепи?
6. К источнику тока подключены два параллельно соединённых резистора. Возможно ли, что при увеличении сопротивлений резисторов сила тока в каком-либо из них также увеличится?

РАБОТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА. § 62

ЗАКОН ДЖОУЛЯ—ЛЕНЦА

НОВОЕ В УРОКЕ

- Как можно объяснить нагревание проводников электрическим током.
- Как вычислить работу электрического тока.
- В чём заключается закон Джоуля—Ленца.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Как вычислить силу тока на участке цепи?
- Что такое напряжение?
- В чём заключается закон Ома?

Каждый день мы пользуемся электрическими бытовыми приборами и не раз замечали, что во время работы они нагреваются независимо от того, включены ли они в сеть или питаются от аккумулятора. С чем это связано?

ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА. Электрический ток в проводнике вызывает его нагревание. Причина нагревания проводника при наличии в нём электрического тока состоит в том, что свободные электроны в металлах, двигаясь под действием электрических сил, взаимодействуют с ионами (атомами) вещества проводника. В результате этого взаимодействия в металлических проводниках часть кинетической энергии движущихся электронов передаётся ионам кристаллической решётки.

При прохождении электрического тока через электролиты также происходит взаимодействие движущихся ионов с другими ионами и атомами вещества. Это приводит к увеличению внутренней энергии проводника, т. е. увеличению его температуры.

Энергию движущихся электрических зарядов принято называть **энергией электрического тока** или **электрической энергией**.

РАБОТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА. Электрические силы в проводнике совершают работу по переносу заряда. Напряжение на участке цепи есть не что иное, как отношение работы A электрических сил по переносу положительного заряда q к значению этого заряда:

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

Зная напряжение между концами проводника и перемещённый заряд, можно записать эту работу как

$$A = qU.$$

Значение перемещённого заряда q за время t можно получить, зная силу тока в цепи I :

$$q = It.$$

Следовательно, работа

$$A = UIt.$$

ВАЖНО

Работа сил электрического поля по перемещению заряда называется **работой тока**.

Работа электрического тока на участке цепи равна произведению напряжения на концах этого участка на силу тока и на время, в течение которого шёл ток:

$$A = UIt.$$

Работа электрического тока показывает, сколько электрической энергии превратилось в другие виды энергии.

Например, нагревание металлического проводника, поворот рамки с током — это примеры работы электрического тока, когда электрическая энергия превращается в другой вид энергии (внутреннюю, механическую и т. д.).

Единицей работы является *джоуль* (Дж).

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}.$$



Потребляемая электрическая энергия определяется работой тока в устройствах. Для учёта совершённой работы служат *счётчики* — специальные устройства, сочетающие в себе три прибора: амперметр, вольтметр и часы. Внутри счётчика имеется небольшой электродвигатель, диск которого начинает вращаться, если через счётчик проходит ток. При этом скорость вращения диска пропорциональна силе тока и напряжению. Количество оборотов диска подсчитывается счётным механизмом. По числу оборотов диска определяются затраты электроэнергии.

ЗАКОН ДЖОУЛЯ—ЛЕНЦА. Если на участке цепи, по которому проходит электрический ток, не совершается механическая работа и не происходят химические превращения вещества, то работа электрического тока приводит только к нагреванию проводника, т. е. при прохождении тока по проводнику происходит превращение электрической энергии в тепловую. При этом по закону сохранения энергии количество теплоты Q , выделяемое проводником с током, будет равно работе A электрического тока:

$$Q = A.$$

Известно, что $A = UIt$, тогда и $Q = UIt$.

Учитывая закон Ома $U = IR$, получаем

$$Q = IRIt, \text{ или } Q = I^2Rt.$$

Этот закон примерно в одно время экспериментально установили английский учёный Джеймс Джоуль и независимо от него российский учёный Эмилий Христианович Ленц, поэтому он носит название закон Джоуля—Ленца.

ВАЖНО

Закон Джоуля—Ленца

Количество теплоты, выделяющееся в проводнике с током, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления и времени прохождения тока:

$$Q = I^2Rt.$$



Нагревание проводников электрическим током широко используется в различных электронагревательных приборах. Так как количество теплоты, выделяемое проводником с током, зависит от сопротивления проводника, нагревательные элементы изготавливают из материалов с высоким удельным сопротивлением, например из сплава нихрома или константана.

Однако тепловое действие тока оказывает и отрицательное воздействие на проводник. При прохождении электрического тока по линиям электропередач вследствие нагревания проводов происходят потери электрической энергии. Для уменьшения потерь электрический ток по проводам передаётся под высоким напряжением. Кроме этого, нагревание проводов при эксплуатации сокращает срок их службы.

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНА ДЖОУЛЯ—ЛЕНЦА ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ И ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ ПРОВОДНИКОВ. При *последовательном соединении* сила тока во всех проводниках одинакова, поэтому для вычисления количества теплоты, выделяющейся в отдельных проводниках, удобнее пользоваться формулой

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

Она показывает, что при последовательном соединении нескольких проводников в каждом из них выделяется количество теплоты, пропорциональное сопротивлению проводника.

При *параллельном соединении* нескольких проводников напряжение на концах проводников одинаково, поэтому удобнее пользоваться формулой

$$Q = \frac{U^2}{R} t.$$

Она показывает, что при параллельном соединении в каждом проводнике выделяется количество теплоты, обратно пропорциональное сопротивлению проводника.

! Работа электрического поля по перемещению заряда называется работой тока. Работа электрического тока на участке цепи равна произведению напряжения на концах этого участка, силы тока и времени, в течение которого шёл ток.

! Закон Джоуля—Ленца: количество теплоты, выделяемое проводником с током, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления и времени его прохождения.

Энергия электрического тока; работа тока; закон Джоуля—Ленца

КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА

И ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ

1. Как можно объяснить нагревание проводников электрическим током?
2. Как вычислить работу электрического тока?
3. Как формулируется закон Джоуля—Ленца?
4. Как изменилось количество теплоты, выделяемое электрической плиткой за единицу времени, если спираль плитки была немного укорочена после ремонта?

§ 63

МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

НОВОЕ В УРОКЕ

- Как вычислить мощность электрического тока.
- Как зависит мощность электроприборов от способа их включения в цепь.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое механическая мощность?
- Как вычислить работу электрического тока?

В обыденной жизни нередко нам приходится менять электрические лампочки в люстрах или настольных лампах. При этом возникает вопрос: какую лампочку выбрать? Как известно, лампочки различаются не только по своему внешнему виду и устройству, но и по такому важному параметру, как мощность.

МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА. Действие тока характеризуется не только работой, но и мощностью. Из курса физики 7 класса вы знаете, что мощность равна отношению совершенной работы ко времени, в течение которого эта работа была совершена. Мощность в механике принято обозначать буквой N , электрическая мощность обозначается буквой P . По аналогии с механикой **электрическая мощность** — это физическая величина, характеризующая быстроту совершения работы электрическим током:

$$P = \frac{A}{t}.$$

Но работа тока равна произведению напряжения на силу тока и на время его прохождения:

$$A = UIt.$$

Поэтому мощность тока

$$P = \frac{UIt}{t} = UI.$$

ВАЖНО

Мощность электрического тока равна произведению напряжения на силу тока в цепи:

$$P = UI. \quad (1)$$

ЕДИНИЦЫ РАБОТЫ И МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА. За единицу мощности принят **ватт** (Вт):

$$1 \text{ Вт} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А}.$$

Зная мощность электрического тока, легко определить работу тока за заданный промежуток времени:

$$A = Pt.$$

Единицей работы электрического тока является **джоуль** (Дж):

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

Эту единицу работы неудобно использовать на практике, так как работа тока совершается, как правило, в течение длительного времени (несколько часов и

более). Поэтому часто используется внесистемная единица работы и энергии — *ватт-час* (Вт · ч) или *киловатт-час* (кВт · ч):

$$1 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ Дж};$$

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1000 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с} = 3\,600\,000 \text{ Дж}.$$

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Атмосферные электрические заряды (молнии) могут иметь напряжение до миллиарда вольт, а сила тока молнии может достигать порядка 200 тысяч ампер. Время существования молнии оценивается от 0,1 до 1 с. Температура в канале разряда молнии достигает 6—10 тысяч градусов Цельсия. Мощность молнии при таких условиях равна 200 ГВт, а выделяемая энергия составляет порядка 200 ГДж.

Практически на всех электрических приборах указана мощность, на которую они рассчитаны и при которой могут работать в течение длительного времени без перегрузок. В электротехнике эта мощность называется *номинальной мощностью*. При расчётах предполагается, что прибор будет работать при определённых силе тока и напряжении, которые также называются номинальными. Например, если для электрического чайника указана его номинальная мощность 1,5 кВт и номинальное напряжение 220 В, то это означает, что если чайник включить в сеть с напряжением 220 В, то он будет потреблять мощность 1500 Вт. Чайник сможет работать и при большем или немного меньшем напряжении. Тогда потребляемая (её также называют *фактическая*) мощность будет отличаться от номинальной.



РАСХОД И СТОИМОСТЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ. Чем больше электроприборов мы используем и чем дольше они включены в сеть, тем больше электрической энергии мы расходует. Расход электроэнергии равен работе тока и вычисляется по формуле

$$E = A = Pt,$$

где P — суммарная мощность всех включённых электроприборов, t — время их работы.

В наших домах расход электроэнергии учитывается с помощью **счётчиков**, которые измеряют использованную электроэнергию в киловатт-часах. Чтобы определить расход энергии за определённый промежуток времени, нужно из текущего показания счётчика вычесть предыдущее. Например, если в конце текущего месяца

ца счётчик показывает $3600,9 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$, а по записи, сделанной месяц назад, он показывал $3400,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$, то за месяц потребление электроэнергии составило $3600,9 - 3400,5 = 200,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

Чтобы определить стоимость потреблённой электроэнергии, нужно значение работы в киловатт-часах умножить на *тарифную стоимость* одного киловатт-часа, которая устанавливается для каждого региона.



Расход потребляемой электроэнергии можно уменьшить либо за счёт уменьшения времени использования, либо за счёт уменьшения мощности приборов. Примерно 20—30 % потребляемой электроэнергии используется на освещение дома. Современные энергосберегающие или светодиодные лампы при том же уровне яркости потребляют меньше энергии, чем обычные лампы накаливания. Например, лампу накаливания мощностью 60 Вт можно заменить на светодиодную, мощность которой будет всего 8 Вт.

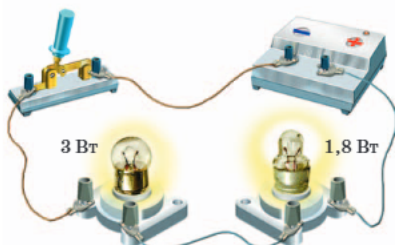


ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ. Для определения мощности электрического тока можно использовать специальный измерительный прибор, называемый **ваттметром**. Этот прибор измеряет силу тока в данной части цепи и напряжение. Мощность электрического тока пропорциональна произведению силы тока на напряжение, поэтому шкала ваттметра проградуирована в значениях мощности — ваттах.

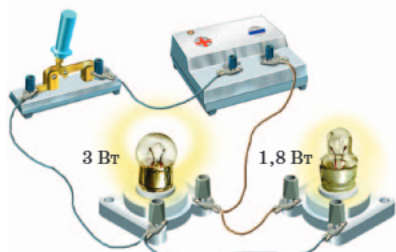
Наряду с ваттметрами применяются также *киловаттметры* — для измерения больших значений мощности, *милливаттметры* — для измерения малых значений мощности и др.

ЗАВИСИМОСТЬ МОЩНОСТИ ОТ СПОСОБА ПОДКЛЮЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ТОКА. Мы знаем, что настольная лампа потребляет меньше мощности (например, могут использоваться лампочки накаливания мощностью 25—60 Вт, поскольку они дают достаточно света при включении в сеть), а для освещения больших пространств, подъездов, улиц используют лампы большей мощности.

Однако всегда ли лампочка большей мощности будет гореть ярче лампы, имеющей меньшую мощность? Для ответа на поставленный вопрос решим следующую задачу. Пусть имеются две лампочки, рассчитанные на напряжение не более 6 В, но различающиеся по мощности (одна лампочка имеет номинальную мощность 3 Вт, а другая — 1,8 Вт). Какая из ламп будет гореть ярче при их включении в цепь



При последовательном соединении



При параллельном соединении

двумя способами — параллельно и последовательно? Напряжение источника тока в цепи в обоих случаях равно 6 В.

Обозначим напряжение $U = 6$ В, мощность (номинальную мощность) первой лампочки $P_{1\text{ном}} = 3$ Вт, а мощность второй лампочки $P_{2\text{ном}} = 1,8$ Вт.

Как показывает опыт, лампочка в 1,8 Вт при последовательном соединении горит ярче лампы в 3 Вт. Почему это происходит?

Из формулы (1) с учётом закона Ома нетрудно получить другое выражение для мощности:

$$P = \frac{U^2}{R}. \quad (2)$$

Из формулы (2), используя значения мощности $P_{\text{ном}}$, определим сопротивление каждой лампочки: $R_1 = \frac{36}{3} = 12$ Ом, $R_2 = \frac{36}{1,8} = 20$ Ом.

При *последовательном соединении* ламп сила тока, идущего через них, одинакова: $I_1 = I_2 = I$. Поэтому тепловая мощность каждой лампы будет отличаться от номинальной:

$$P_1 = I^2 R_1, \quad P_2 = I^2 R_2.$$

Поскольку $R_2 > R_1$, то $P_2 > P_1$, т. е. вторая лампа, рассчитанная на мощность 1,8 Вт, будет гореть ярче, чем первая лампа, рассчитанная на мощность 3 Вт.

При *параллельном соединении* ламп наблюдается другая картина. В этом случае напряжение на каждой из ламп одинаково: $U_1 = U_2 = U$. При этом расчёт мощности нужно проводить по формуле (2): $P_1 = 3$ Вт, $P_2 = 1,8$ Вт. Таким образом, на каждой из ламп выделяется номинальная мощность и более ярко горит первая лампа.

ВАЖНО

При последовательном соединении проводников сила тока в них одинакова.

$$P = I^2 R.$$

При параллельном соединении напряжение на концах проводников одинаково.

$$P = \frac{U^2}{R}.$$

Таким образом, при работе с различными бытовыми приборами необходимо учитывать не только их паспортную (номинальную) мощность, но и способ подключения к сети.

! Мощность электрического тока равна произведению напряжения на силу тока в цепи.

ВЫВОД

КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА

И ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ

Мощность электрического тока; номинальная мощность; электрический счётчик

1. Как вычислить мощность электрического тока?
2. Как зависит мощность электроприборов от способа их включения в цепь?
3. Как рассчитать стоимость потреблённой за месяц электроэнергии?
4. Выпишите номинальные мощности приборов в вашем доме. Оцените расход и стоимость потребляемой ими электроэнергии за 1 день. Стоимость одного киловатт-часа уточните у родителей.

§ 64 ЭДС В ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА. ЗАКОН ОМА ДЛЯ ПОЛНОЙ ЦЕПИ

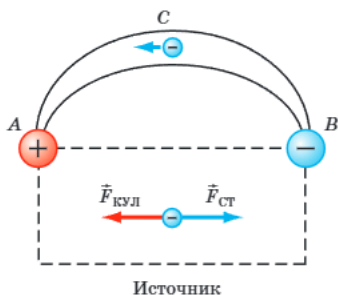
НОВОЕ В УРОКЕ

- Что такое электродвижущая сила источника.
- Что такое сторонние силы.
- Закон Ома для полной цепи.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Каковы условия существования электрического тока?
- Что такое источники тока?
- Как формулируется закон Ома для участка цепи?

Как вы знаете, для создания и поддержания электрического тока в цепи существуют специальные устройства — **источники тока**. В источнике за счёт разного рода неэлектростатических сил происходит процесс разделения разноимённых зарядов, в результате чего на полюсах источника накапливаются заряды противоположных знаков.



Электродвижущая сила. Если полюсы A и B источника тока соединить проводником C, то свободные электроны внутри источника тока должны двигаться в направлении полюса B и накапливаться там. Очевидно, что осуществить это электростатические силы не могут. Поэтому на заряды, кроме электростатических сил, должны действовать другие силы, направленные противоположно кулоновским силам. Такие силы неэлектростатического происхождения получили название **сторонних сил**. Под действием сторонних сил заряды внутри источника движутся против кулоновских сил (отрицательные заряды — к отрицательному полюсу), тогда как по внешнему участку цепи (проводник C) они движутся под действием электрического поля, порождаемого зарядами, которые накапливаются на полюсах источника тока.

Природа сторонних сил может быть различной. Например, в гальванических элементах и аккумуляторах это химические силы. При перемещении электрических зарядов внутри источников тока сторонние силы совершают работу.

Основной характеристикой источника тока является важная физическая величина, называемая **электродвижущей силой** (сокращённо — ЭДС, обозначается \mathcal{E}).

ВАЖНО

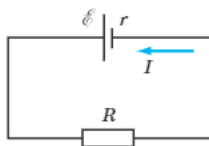
Электродвижущая сила определяется отношением работы сторонних сил по перемещению заряженных частиц внутри источника тока к заряду этих частиц:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ст}}}{q}.$$

ЭДС источника тока, как и напряжение, в СИ измеряется в *вольтах* (В):

$$1 \text{ В} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}}.$$

ЗАКОН ОМА ДЛЯ ПОЛНОЙ ЦЕПИ. Рассмотрим электрическую цепь, состоящую из источника тока (гальванического элемента или аккумулятора) и резистора сопротивлением R . В реальной электрической цепи, кроме внешнего сопротивления отдельных резисторов, необходимо учитывать *внутреннее сопротивление* источника тока r . При рассмотрении процессов, происходящих в замкнутой цепи, используем закон Джоуля—Ленца и закон сохранения энергии.



Если за время Δt через поперечное сечение проводника прошёл заряд Δq , то такой же заряд переместился и внутри источника. При этом сторонние силы совершили работу $A_{\text{ст}} = \mathcal{E}\Delta q$.

Заряд Δq зависит от силы тока I и времени Δt : $\Delta q = I\Delta t$. Следовательно,

$$A_{\text{ст}} = \mathcal{E}I\Delta t. \quad (1)$$

Результатом работы сторонних сил является выделение некоторого количества теплоты внутри источника и на внешнем участке цепи. Согласно закону Джоуля—Ленца это количество теплоты равно

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

По закону сохранения энергии $A_{\text{ст}} = Q$.

С учётом формул (1) и (2) получим

$$\mathcal{E}I\Delta t = I^2R\Delta t + I^2r\Delta t, \quad \text{или} \quad \mathcal{E} = IR + Ir. \quad (3)$$

При расчётах характеристик электрических цепей напряжение на участке цепи часто называют падением напряжения на данном участке. Поэтому формула (3) показывает, что ЭДС источника равна сумме падений напряжений на внешнем и внутреннем участках замкнутой цепи: $\mathcal{E} = U_R + U_r$.

Формулу (3) также можно записать в виде

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}. \quad (4)$$

Сила тока в полной цепи равна отношению ЭДС источника к полному сопротивлению цепи.



Закон Ома для полной цепи

Сила тока в полной цепи прямо пропорциональна ЭДС источника и обратно пропорциональна полному сопротивлению цепи:

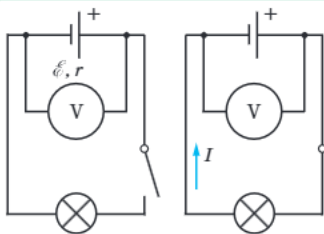
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}.$$

Если рассматривается участок цепи, не содержащий источника тока, то формула (4) принимает вид уравнения закона Ома для участка цепи:

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



Соберём электрическую цепь, состоящую из источника тока (например, батарейки), ключа и лампочки. Если вольтметр подключить к полюсам источника тока, то



при разомкнутой цепи вольтметр покажет значение ЭДС источника тока. В этом случае ток по цепи не идёт, а в источнике тока совершается работа сторонних сил по разделению заряда.

При замыкании ключа по цепи пойдёт ток, и вольтметр будет показывать напряжение на зажимах источника тока. Это напряжение всегда меньше ЭДС источника тока, поскольку $U = \mathcal{E} - Ir$.

КПД ИСТОЧНИКА ТОКА. Для того чтобы оценить, насколько эффективно работает источник тока, вычисляют его КПД. Вспомним, что коэффициентом полезного действия называется отношение полезной работы $A_{\text{п}}$ к полной (затраченной) работе $A_{\text{з}}$:

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{з}}} \cdot 100 \%.$$

Полезная работа связана с перемещением заряда в цепи: $A_{\text{п}} = UI\Delta t = I^2 R\Delta t$.

Полная работа — это работа сторонних сил источника тока по перемещению заряда: $A_{\text{з}} = A_{\text{ст}} = \mathcal{E}I\Delta t = I^2 R\Delta t + I^2 r\Delta t$.

Таким образом, получим формулу для определения КПД источника тока:

$$\eta = \frac{U}{\mathcal{E}} \cdot 100 \% = \frac{R}{R + r} \cdot 100 \%.$$

В соответствии с законом сохранения энергии КПД источника тока всегда меньше 100 %, так часть энергии идёт на нагревание проводов и превращается в тепловую энергию.

Выводы

Основной характеристикой источника тока является физическая величина, которая называется электродвижущей силой и определяется отношением работы сторонних сил по перемещению заряженных частиц внутри источника тока к заряду этих частиц.

Закон Ома для полной цепи: сила тока в полной цепи прямо пропорциональна ЭДС источника и обратно пропорциональна полному сопротивлению цепи.

Ключевые слова

Сторонние силы; электродвижущая сила; закон Ома для полной цепи

и вопросы задания

1. Какие силы называют сторонними? Какую роль они выполняют в источнике тока?
2. Что такое электродвижущая сила?
3. Как можно записать закон Ома для полной цепи?
4. Чем отличается ЭДС источника тока от напряжения?

ПРАВИЛА КИРХГОФА § 65

НОВОЕ В УРОКЕ

- В чём заключаются правила Кирхгофа.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Как записывается закон Ома для полной цепи?
- Что такое электродвижущая сила источника тока?

При расчёте сложных разветвлённых электрических цепей не всегда удаётся найти решение с помощью метода эквивалентных преобразований (см. § 61). В этом случае используются правила, названные в честь немецкого физика Густава Кирхгофа.

ПЕРВОЕ ПРАВИЛО КИРХГОФА. Рассмотрим схему электрической цепи, изображённую на рисунке. Как видно, эту цепь нельзя преобразовать в эквивалентную схему, используя комбинации последовательного и/или параллельного соединения проводников.

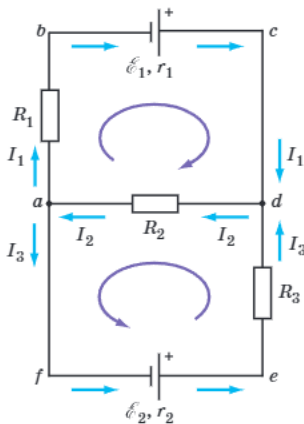
Введём определение. **Узел**, или **узловая точка** цепи, — точка электрической цепи, в которой соединяются три или более провода. На рассматриваемой схеме узлами являются точки a и d . Точки b , c , e и f не являются узловыми.

Согласно закону сохранения электрического заряда, заряд, приходящий в узловую точку цепи, равен заряду, выходящему из неё за то же время, т. е. в узлах цепи не может происходить накопления заряда.

Вспомним, что заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за единицу времени, — это сила тока. Тогда можно сказать, что сумма сил токов, входящих в узел, равна сумме сил токов, выходящих из него. Например, в узел a схемы входит ток I_2 , выходят токи I_1 и I_3 :

$$I_2 = I_1 + I_3.$$

Считается, что токи, входящие в узел, являются *положительными*, а выходящие из него — *отрицательными*.



ВАЖНО

Первое правило Кирхгофа

Алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю:

$$I_1 + I_2 + \dots + I_n = 0.$$

Для узла a ток $I_2 > 0$, токи $I_1, I_3 < 0$. Таким образом, первое правило Кирхгофа для узла a записывается так:

$$I_2 - I_1 - I_3 = 0.$$

В узле d сходятся те же токи I_1, I_2 и I_3 , поэтому его можно не рассматривать.

ВТОРОЕ ПРАВИЛО КИРХГОФА. Введём ещё одно определение. **Контур** — замкнутый участок цепи. Например, в рассматриваемой цепи можно выделить два контура: $abcd$ и $adef$. Ещё один контур — $abcdef$ — не содержит новых участков, поэтому его можно не рассматривать.

Выберем направление обхода контура, оно задаётся произвольно — по часовой стрелке или против часовой стрелки. При этом ЭДС, входящая в контур, считается положительной, если при обходе контура источник проходится внутри от отрицательного полюса к положительному, и отрицательной — в противном случае. Аналогично падение напряжения, т. е. произведение силы тока на сопротивление, на участке контура считается положительным, если направление тока совпадает с направлением обхода контура, и отрицательным — если противоположно.

ВАЖНО**Второе правило Кирхгофа**

В любом замкнутом контуре цепи алгебраическая сумма падений напряжений на всех участках контура равна алгебраической сумме ЭДС, входящих в этот контур.

Рассмотрим контур $abcd$. Пусть направление обхода в контуре $abcd$ происходит по часовой стрелке. Тогда второе правило Кирхгофа запишется в виде

$$I_1 R_1 + I_1 r_1 + I_2 R_2 = \mathcal{E}_1$$

(с выбранным направлением обхода контура ЭДС и падение напряжения являются положительными).

ПРИМЕНЕНИЕ ПРАВИЛ КИРХГОФА. С помощью правил Кирхгофа для любой электрической цепи можно составить систему уравнений и определить неизвестные параметры (силу тока, напряжение, сопротивление или ЭДС). При этом необходимо учитывать, что число уравнений, составленных по первому правилу, не может быть больше, чем число узлов в цепи минус 1. При использовании второго правила необходимо следить, чтобы каждый контур содержал хотя бы один участок цепи, не входящий в другой контур.

ВЫВОДЫ

- ! Первое правило Кирхгофа: алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле, равна нулю.
- ! Второе правило Кирхгофа: в любом замкнутом контуре цепи алгебраическая сумма падений напряжений на всех участках контура равна алгебраической сумме ЭДС, входящих в этот контур.

**КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА**

Правила Кирхгофа; узел электрической цепи; контур электрической цепи

**И ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ**

1. Как формулируются правила Кирхгофа?
2. Какие токи в цепи считаются положительными, а какие — отрицательными? Могут ли все токи, сходящиеся в узле, быть положительными?
3. Как определяется знак ЭДС при составлении уравнений по второму правилу Кирхгофа?

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ § 66

НОВОЕ В УРОКЕ

Тепловое действие тока широко используют в различных электронагревательных приборах и устройствах. Например, такими приборами являются электрические плиты, разного рода обогреватели, фены для сушки волос, утюги, электрочайники и т. д.

- Как работают электронагревательные приборы.
- Как устроена лампа накаливания.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Как можно объяснить нагревание проводников электрическим током?
- В чём заключается закон Джоуля—Ленца?

НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ. Основной частью любого электронагревательного прибора является *нагревательный элемент*. Обычно он представляет собой спираль из материала с большим удельным сопротивлением, который способен выдерживать нагревание до высокой температуры.

Чаще всего для изготовления электронагревательного элемента используется никром — сплав никеля, железа, хрома и марганца.

ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ. Обычные лампы накаливания превращают в световую энергию менее 10 % потребляемой электроэнергии, а остальные 90 % уходят в виде тепла. Поэтому такие лампы тоже можно считать электронагревательным приборами.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Первые искусственные источники света (костёр, лучина, факел) появились в глубокой древности. Вплоть до конца XIX в. применялись в основном источники света, основанные на сжигании горючих веществ (свечи, масляные и керосиновые лампы и т. п.). Только в конце XIX в. появились первые электрические источники света. В их создание большой вклад внесли русские учёные П. Н. Яблочков, В. Н. Чиколев, А. Н. Лодыгин и др. С начала XX в. электрическая лампа начинает быстро и повсеместно вытеснять остальные источники света.

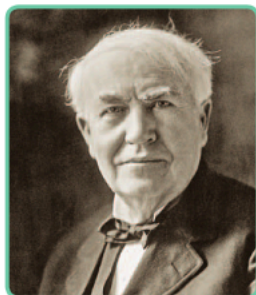
Лампу накаливания изобрёл русский электротехник А. Н. Лодыгин. Основным её элементом был тонкий угольный стержень, который помещался в сосуд с выкачанным воздухом. Срок службы первых ламп был небольшим — всего 30—40 мин.

Американский изобретатель Томас Эдисон продолжил исследования Лодыгина, подбирая более совершенный материал для элемента накаливания. При этом он предложил очень удобную вставку для лампы (эдисоновский патрон), а также сконструировал выключатель, с помощью которого можно было включать и выключать свет.

Позднее Лодыгин предложил вместо угольной нити использовать вольфрамовую, которая и сейчас используется в современных *лампах накаливания*.



**Александр Николаевич
Лодыгин**
(1847—1923)



Томас Альва Эдисон
(1847—1931)



Спираль с помощью специальных держателей укрепляется внутри стеклянного *баллона*, наполненного инертным газом, чтобы вольфрам не испарялся и спираль быстро не перегорала. Концы спирали приварены к двум проволокам, которые прикреплены к металлическим частям *цоколя*. Для включения лампы в сеть её ввинчивают в *патрон*. Он представляет собой пластмассовый корпус, в котором имеется металлическая гильза с резьбой. К ней присоединён один из проводов сети. Патрон контактирует с цоколем. Второй провод от сети присоединён к контакту, который касается основания цоколя лампы. На каждой лампе указывают мощность и напряжение, на которые она рассчитана.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Кроме ламп накаливания, в нашей жизни применяются *галогенные (галогеновые) лампы*. В отличие от лампы накаливания, в баллоне галогенной лампы находятся пары брома или йода. Тем самым уменьшается испарение вольфрама с нити накаливания и увеличивается срок службы лампы. Срок службы галогенных ламп составляет около 1000 ч. Галогенные лампы являются более экономичными, чем лампы накаливания. Другой принцип действия имеют люминесцентные и светодиодные лампы. *Люминесцентная лампа* заполняется парами ртути. Её внутренняя поверхность покрывается специальным веществом — *люминофором*. Проходящий по лампе электрический ток приводит к возникновению невидимого ультрафиолетового излучения. Проходя через люминофорное покрытие, оно преобразуется в обычный свет, который мы видим. *Светодиодная лампа* включает в себя несколько электронных устройств — *светодиодов*. Светодиод представляет собой полупроводниковый прибор, который создаёт свет при прохождении по нему электрического тока. Светодиодные лампы являются наиболее экономичными и имеют большой срок службы. Некоторые модели светодиодных ламп могут работать в течение 100 000 ч!

УТЮГ. Хорошо всем знакомый утюг был изобретён очень давно. С появлением электричества и развитием техники появились электрические утюги.

Первоначально в качестве нагревательного элемента служила нихромовая спираль, вставленная внутрь «гирлянды» фарфоровых изоляторов. Позднее стали использовать узкую нихромовую ленту, намотанную на пластинку из жаропрочного материала — слюды или керамики.

В современных утюгах применяют проволочные спирали, заключённые внутри металлических трубок. Их заполняют специальным электроизоляционным материалом, который препятствует соприкосновению витков спирали друг с другом и, главное, с металлическими стенками трубки.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

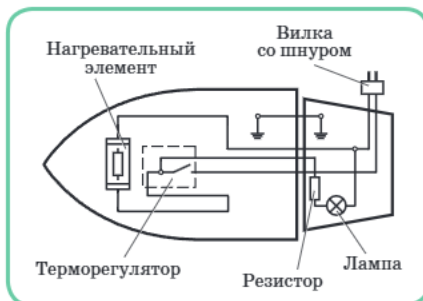
В IV в. до н. э. в Древней Греции были изобретены способы плиссировки одежды из полотна с помощью горячего металлического прута, напоминавшего скалку. Для разглаживания одежды в древности использовались слегка обработанные нагретые булыжники. В XVIII—XIX вв. утюги представляли собой металлические сооружения формы, близкой к современной. Утюги нагревались на газе или печи.

До изобретения утюга в России глажение осуществлялось оригинальным способом: бельё наматывалось на скалку, после чего разглаживалось глашкой с рёбрами и рукоятью. В XIII в. появился утюг с горящими углями внутри. Наиболее распространёнными были чугунные утюги, которые разогревали, поставив на огонь.

Электрический утюг создал в 1882 г. американский изобретатель Генри Сили. В 1903 г. другой американский изобретатель сконструировал облегчённый вариант электрического утюга, который начал пользоваться спросом.

ФИЗИКА В ЖИЗНИ

При включении утюга в сеть нагревательный элемент начинает выделять тепло, которое распределяется по подошве утюга. При этом загорается сигнальная лампа. Современные утюги могут иметь терморегулятор, парувлажнитель и разбрызгиватель. С помощью рычажка терморегулятора устанавливается определённая температура, необходимая для глажки шёлка, шерсти, хлопка, льна или других материалов. Терморегулятор автоматически поддерживает на подошве утюга выставленную температуру. При отпаривании вода, налитая в бачок, каплями поступает на нагретую подошву утюга и испаряется. Образовавшийся пар через отверстия в подошве поступает на ткань.



ПАЯЛЬНИК. Ещё одно устройство, использующее тепловое действие тока, — паяльник, незаменимый прибор инженеров-электронщиков. Паяльник используется для пайки проводов, микросхем, пластиковых или металлических деталей. Он состоит из нагреваемого металлического наконечника и изолированной ручки. При



пайке используются припой — материал, заполняющий пространство между соединяемыми деталями, и флюс — вещество, которое очищает поверхность контакта от окиси. Когда через наконечник проходит электрический ток, он нагревается до температуры 400—450 °С. При пайке раскалённый наконечник с припоем подносят к соединяемым деталям, припой расплавляется, а затем застывает и фиксирует детали.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Пайка как способ соединения металлов известна человеку более 4 тысяч лет. Её применяли для изготовления украшений и предметов быта из золота, серебра и других металлов. До открытия электричества металлы паяли с помощью открытого огня. Первый электрический паяльник появился в 1896 г.



Интересно, что похожее устройство и принцип работы имеет прибор для выжигания по дереву — **пирограф**.

Нагревательный элемент пирографа разогревается до высоких температур, перо из нихромовой проволоки раскаляется и при соприкосновении с деревянной поверхностью выжигает на ней узор. Пирография по дереву является одним из древнейших и популярных видов искусства.

ВЫВОДЫ

- ! Тепловое действие тока широко используют в различных электронагревательных приборах и устройствах.
- ! Основной частью любого электронагревательного прибора является нагревательный элемент.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Электрический нагревательный элемент; электронагревательный прибор; лампа накаливания; галогенная лампа; светодиодная лампа; утюг; паяльник

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как устроена лампа накаливания?
2. Объясните, почему нагревательные элементы утюга или электроплитки не перегорают, несмотря на непрерывное выделение тепла этими устройствами.
3. После лёгкого встряхивания перегоревшая лампа накаливания начала снова светиться. При этом яркость свечения увеличилась. Как это объяснить?

КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ. § 67

ПРЕДОХРАНИТЕЛИ

НОВОЕ В УРОКЕ

Провода, соединяющие потребителей тока с источниками электрической энергии, например квартирная проводка, всегда рассчитаны на определённую максимальную силу тока. По разным причинам сила тока может превысить допустимое значение, что приведёт к перегреву проводов и воспламенению их изоляции.

- Что такое короткое замыкание.
- Для чего применяются предохранители.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Как формулируется закон Ома?
- В чём заключается закон Джоуля—Ленца?

КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ. Одной из причин нарушения нормальной работы электрической цепи может быть так называемое **короткое замыкание** проводов, при котором концы участка цепи соединяются проводником, сопротивление которого мало по сравнению с сопротивлением этого участка цепи. В соответствии с законом Ома (при $R \rightarrow 0$ $I_{к.з.} = \frac{\mathcal{E}}{r}$) это приводит к многократному увеличению силы тока в цепи и, как следствие, значительному нагреванию и возможному расплавлению проводов. Короткое замыкание может возникнуть, в частности, из-за повреждения изоляции проводов или при соприкосновении неизолированных элементов цепи.

Короткое замыкание может быть причиной неисправностей и повреждений электроприборов, вызывать аварии на больших установках и даже приводить к возгораниям и пожарам.

ПРЕДОХРАНИТЕЛИ. Чтобы избежать последствий короткого замыкания, в сеть включают **предохранители**. Их назначение — автоматическое отключение электрической цепи в ситуациях, когда сила тока в ней становится больше максимально допустимой.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Первый предохранитель был запатентован в 1890 г. Томасом Эдисоном. Тот предохранитель представлял собой легкоплавкую проволоку, вставленную в стеклянную колбу. Однако ещё до изобретения Эдисона, в 1864 г. для защиты телеграфных кабелей использовались вставки из легкоплавких металлов.



Электрическая проводка в жилых зданиях рассчитана, как правило, на силу тока 6 А или 10 А. Главной частью предохранителей, используемых для её защиты,

является *проволока* из легкоплавкого материала (например, из свинца). Проволока находится внутри фарфоровой *пробки*, которая имеет *винтовую нарезку* и *центральный контакт*. Нарезка соединена с центральным контактом этой проволокой. Пробку винчивают в патрон, находящийся внутри фарфоровой коробки. Свинцовая проволока представляет, таким образом, часть общей цепи. Толщина свинцовых проволок рассчитана так, что они выдерживают определённую силу тока. Если сила тока превысит допустимое значение, то свинцовая проволока расплавится и цепь окажется разомкнутой. Предохранители с плавящимся проводником называются **плавкими предохранителями**. При включении в цепь предохранители включаются последовательно с потребителем электрического тока.



Одной из важных характеристик плавких предохранителей является время их срабатывания, т. е. время, за которое происходит разрушение проводника при превышении допустимого тока. Известно, что чем выше сила тока, тем проводник быстрее нагревается и, следовательно, быстрее плавится.

Медленные предохранители (с большим временем срабатывания) применяются в потребительских цепях с большим *пусковым током* — током, необходимым для запуска устройства (например, в электродвигателях, аккумуляторах). Поэтому в медленных предохранителях увеличивают длину проволоки и скручивают её в спираль, чтобы её нагрев происходил не так быстро.

Быстросрабатывающие предохранители с уменьшенным временем срабатывания применяются для защиты полупроводниковых приборов и микросхем.

Помимо плавких предохранителей, в последнее время в быту широкое распространение получили **автоматические предохранители**, в основу работы которых положено тепловое и/или магнитное действие тока. Если сила тока превысит допустимое значение, автоматический предохранитель разорвёт цепь.

В отличие от плавкого предохранителя автоматический готов к дальнейшему использованию после устранения неисправностей в сети.

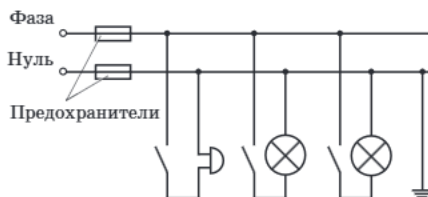
ЭЛЕКТРОПРОВОДКА И ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В БЫТУ.

В двухпроводной линии подачи электричества один из проводов называется *фазным* («фаза»), а другой — *нулевым*. Между ними поддерживается напряжение 220 В. Нулевой провод соединён с землёй, и к нему подключены все потребители. Вместе с тем все выключатели, имеющиеся в цепи, соединены с фазным проводом. Такая схема подключения потребителей и выключателей обеспечивает наибольшую безопасность человека.

Электропроводка в жилых помещениях проектируется с учётом требования, чтобы сила тока в проводах не превышала 10 А. Поэтому совокупная мощность всех одновременно включённых бытовых электроприборов, рассчитанных на 220 В, не должна превышать значения

$$P = 10 \text{ А} \cdot 220 \text{ В} = 2200 \text{ Вт} = 2,2 \text{ кВт}.$$

Чтобы потребители находились под одним и тем же напряжением, они подключаются в сеть параллельно. Только в этом случае при выключении или выходе из строя одного из них остальные продолжают работу в нормальном режиме.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В БЫТУ И ТЕХНИКЕ. Существование и развитие современной цивилизации немыслимы без производства и использования электрической энергии. Свыше 80 % прироста производства (ВВП) в развитых странах достигается за счёт технических решений, основанных на электроэнергетике. Это касается всех сфер жизни общества: промышленного и сельскохозяйственного производства, транспорта, средств коммуникации, медицины, науки, быта и досуга людей и т. п.

Все важнейшие достижения второй половины XX в. — атомные технологии, микроэлектроника и кибернетика, освоение космоса, решение проблем экологии и т. д. — непосредственно связаны с использованием электроэнергии.

Электричество активно используется в быту. Прежде всего это касается вопросов освещения жилых помещений, приготовления пищи, обогрева жилищ, улучшения гигиенических условий жизни. Применение разнообразных электрических приборов и устройств в домашнем быту (холодильники, пылесосы, стиральные машины и т. д.) значительно облегчает и уменьшает трудозатраты человека и высвобождает дополнительное время для досуга.

В настоящее время наблюдается всё более ускоряющийся переход от традиционных форм индустриального общества к новой, так называемой информационно-цифровой цивилизации. Очевидно, такой переход возможен только при дальнейшем развитии и совершенствовании энергосберегающих технологий и электроэнергетики.



Коротким замыканием называется соединение концов участка цепи проводником, сопротивление которого мало по сравнению с сопротивлением этого участка цепи.



Чтобы избежать последствий короткого замыкания, в сеть включают предохранители.

ВЫВОДЫ

Короткое замыкание; предохранитель; электропроводка

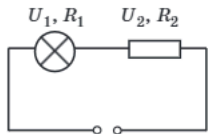
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

И ВОПРОСЫ ЗАДАНИЯ

1. Что такое короткое замыкание?
2. Для чего применяются предохранители?
3. Объясните, почему в предохранителях используется проволока из легкоплавких металлов.
4. В чём отличие фазного провода от нулевого в электропроводке?

§ 68 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

- ЗАДАЧА 1. В сеть последовательно включены электрическая лампочка и резистор. Сопротивление нити накала лампочки равно 12 Ом, а резистора — 240 Ом. Чему равно напряжение на резисторе, если напряжение на лампочке равно 2,5 В?



Дано:
 $R_1 = 12 \text{ Ом}$
 $R_2 = 240 \text{ Ом}$
 $U_1 = 2,5 \text{ В}$
 $U_2 = ?$

Решение.

Проводники соединены последовательно, значит, $I_1 = I_2$.
 Согласно закону Ома

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U_2}{R_2}.$$

Учитывая, что $I_1 = I_2$, получим $\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2}$.

Следовательно, $U_2 = U_1 \frac{R_2}{R_1}$.

$$U_2 = 2,5 \text{ В} \cdot \frac{240 \text{ Ом}}{12 \text{ Ом}} = 50 \text{ В}.$$

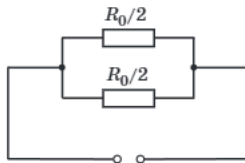
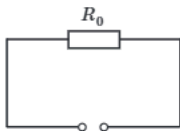
Ответ: 50 В.

- ЗАДАЧА 2. Проволоку сопротивлением 20 Ом разрезали пополам и полученные половины соединили параллельно. Каким стало сопротивление участка цепи, собранного из кусков проволоки?

Дано:
 $R_0 = 20 \text{ Ом}$
 $R = ?$

Решение.

Будем считать, что проволока однородна, т. е. сечение проволоки одинаково по всей её длине.



Тогда сопротивление кусков проволоки будет равно $R_0/2$, так как их длина в 2 раза меньше длины проволоки. Определим сопротивление участка цепи при параллельном соединении проволок (см. рис.):

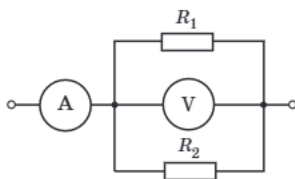
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{(R_0/2)} + \frac{1}{(R_0/2)} \Rightarrow R = \frac{R_0}{4}.$$

Подставим числовые значения:

$$R = \frac{20 \text{ Ом}}{4} = 5 \text{ Ом}.$$

Ответ: 5 Ом.

- ЗАДАЧА 3. Два проводника с сопротивлениями 60 Ом и 20 Ом соединены параллельно (см. рис). Определите показания амперметра и вольтметра, если по проводнику с сопротивлением R_1 идёт ток с силой тока 0,1 А. Сопротивление амперметра и подводящих проводов не учитывайте. Считайте, что сопротивление вольтметра много больше сопротивлений рассматриваемых проводников.



Дано:
 $I_1 = 0,1$ А
 $R_1 = 60$ Ом
 $R_2 = 20$ Ом

I — ?
 U — ?

Решение.

Рассмотрим предложенную схему. Поскольку по условию задачи сопротивлением амперметра и подводящих проводов можно пренебречь, а сопротивление вольтметра много больше сопротивления проводников, то их влияние на характеристики тока (напряжение, силу тока) в цепи можем не учитывать.

Поскольку проводники 1 и 2 соединены параллельно, то показания амперметра $I = I_1 + I_2$, а показания вольтметра $U = U_1 = U_2$.

Тем самым согласно закону Ома

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

Так как $U_2 = U$, то $I_2 = \frac{I_1 R_1}{R_2}$.

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

Наименования полученных величин соответствуют наименованиям единиц напряжения и силы тока.

$$I = 0,1 \cdot \left(1 + \frac{60}{20}\right) \text{ А} = 0,4 \text{ А},$$

$$U = 0,1 \cdot 60 \text{ В} = 6 \text{ В}.$$

Ответ: 0,4 А; 6 В.

- ЗАДАЧА 4. Сколько электроэнергии потребляет электрическая плитка за 2 ч работы, если при напряжении 220 В сила тока в спирали равна 5 А? Чему при этом равна мощность плитки?

Дано:
 $U = 220$ В
 $I = 5$ А
 $t = 2$ ч

U_2 — ?

СИ

7200 с

Решение.

Количество электроэнергии W , потребляемой плиткой из сети, равно работе тока, который идёт через плитку в течение времени t :

$W = A$ (потери в проводке пренебрегаем).

Тогда $W = UI t$,

$$W = 220 \text{ В} \cdot 5 \text{ А} \cdot 7200 \text{ с} \approx 8 \text{ МДж}.$$

Мощность электроплитки $P = UI$,

$$P = 220 \text{ В} \cdot 5 \text{ А} = 1,1 \text{ кВт}.$$

Ответ: 8 МДж; 1,1 кВт.

- ЗАДАЧА 5. При нагревании 2 л воды от 20 °С до кипения электрочайник потребляет 0,3 кВт · ч электроэнергии. Определите КПД электрочайника.

Дано:
 $V = 2$ л
 $t_1 = 20$ °С
 $t_2 = 100$ °С
 $A_3 = 0,3$ кВт · ч
 $c = 4200$ Дж/кг · °С
 $\rho = 1000$ кг/м³

η — ?

СИ
 $2 \cdot 10^{-3}$ м³

Решение.

КПД нагревателя можно найти по формуле

$$\eta = \frac{A_{\text{н}}}{A_3} \cdot 100\%, \text{ где}$$

$A_{\text{н}}$ — энергия, необходимая для нагревания воды,

$A_{\text{н}} = cm(t_2 - t_1)$, $m = \rho V$ — масса воды;

A_3 — затраченная электроэнергия,

$$A_3 = 0,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 0,3 \cdot 10^3 \cdot 3600 \text{ Дж} = 1,08 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

Получим следующую формулу:

$$\eta = \frac{c\rho V(t_2 - t_1)}{A_3} \cdot 100\%.$$

$$\eta = \frac{4200 \cdot 1000 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot (100 - 20)}{1,08 \cdot 10^6} \cdot 100\% \approx 62\%.$$

Ответ: $\approx 62\%$.

- ЗАДАЧА 6. К источнику тока с ЭДС 12 В подключены последовательно три резистора с сопротивлениями 1 Ом, 2 Ом и 2,5 Ом. Сила тока в цепи равна 2 А. Чему равно внутреннее сопротивление источника тока?

Дано:
 $\mathcal{E} = 12$ В
 $R_1 = 1$ Ом
 $R_2 = 2$ Ом
 $R_3 = 2,5$ Ом
 $I = 2$ А

r — ?

Решение.

Изобразим схему электрической цепи. Напишем закон Ома для полной цепи:

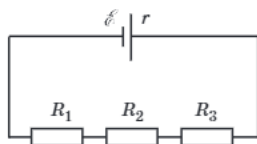
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r},$$

где $R = R_1 + R_2 + R_3$ — общее сопротивление последовательно соединённых резисторов.

Выразим внутреннее сопротивление:

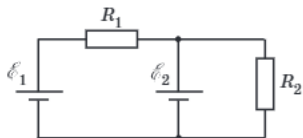
$$r = \frac{\mathcal{E} - I(R_1 + R_2 + R_3)}{I}.$$

$$r = \frac{12 - 2 \cdot (1 + 2 + 2,5)}{2} = 0,5 \text{ Ом}.$$



Ответ: 0,5 Ом.

- ЗАДАЧА 7. В схеме, приведённой на рисунке, ЭДС источников тока равны $\mathcal{E}_1 = 2$ В, $\mathcal{E}_2 = 3$ В, сопротивления резисторов равны $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 20$ Ом. Определите силу тока и направление тока во всех участках цепи.



Дано:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_1 &= 2 \text{ В} \\ \mathcal{E}_2 &= 3 \text{ В} \\ R_1 &= 10 \text{ Ом} \\ R_2 &= 20 \text{ Ом} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_1 &? \\ I_2 &? \\ I_3 &? \end{aligned}$$

Решение.

Выберем произвольное направление токов I_1 , I_2 , I_3 и зададим направления контуров по часовой стрелке.

Для узла b запишем первое правило Кирхгофа:

$$I_1 + I_2 = I_3.$$

Для контуров $abef$ и $bcde$ составим уравнения согласно второму правилу Кирхгофа, учитывая знаки падения напряжений и ЭДС:

$$I_1 R_1 = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2,$$

$$I_3 R_2 = \mathcal{E}_2.$$

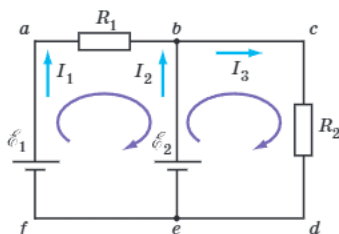
Из полученных уравнений находим I_1 и I_3 .

$$I_1 = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{R_1}; \quad I_1 = \frac{2 \text{ В} - 3 \text{ В}}{10 \text{ Ом}} = -0,1 \text{ А}.$$

$$I_3 = \frac{\mathcal{E}_2}{R_2}; \quad I_3 = \frac{3 \text{ В}}{20 \text{ Ом}} = 0,15 \text{ А}.$$

$$I_2 = I_3 - I_1; \quad I_2 = 0,15 \text{ А} - (-0,1 \text{ А}) = 0,25 \text{ А}.$$

Полученное отрицательное значение тока I_1 говорит о том, что направление тока противоположно выбранному нами.

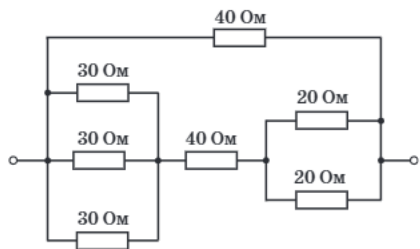


Ответ: 0,1 А; 0,25 А; 0,15 А.

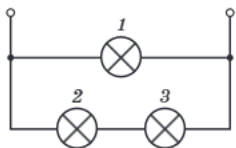
Задачи для самостоятельного решения

- 1 В созданных А. Н. Лодыгиным первых электрических лампах накаливания использовался угольный стержень длиной 6 см и диаметром 2 мм. Чему равно сопротивление этого угольного стержня? Удельное сопротивление угля примите равным $13 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$.
- 2 Масса катушки медной проволоки с площадью поперечного сечения $0,4 \text{ мм}^2$ равна 600 г. Определите сопротивление этой проволоки.
- 3 Технология волочения состоит в протягивании проволоки через отверстие меньшего диаметра. Как и во сколько раз изменилось сопротивление проволоки, если длина проволоки в результате волочения увеличилась в 4 раза?
- 4 В цепь последовательно включены резистор и лампочка. Сопротивление резистора 200 Ом, а сопротивление лампочки 12,5 Ом. Чему равно напряжение на резисторе, если напряжение на лампочке равно 3,5 В? Определите силу тока и напряжение на участке цепи, включающем лампочку и резистор.

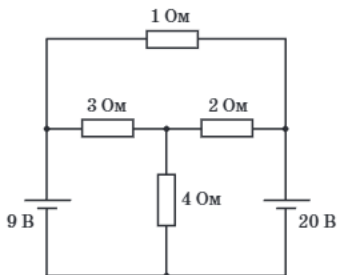
- 5 Определите сопротивление участка цепи, изображённого на рисунке.
- 6 Какое наибольшее и наименьшее сопротивление можно получить, соединив резисторы сопротивлением 30 Ом, 50 Ом и 70 Ом различными способами?
- 7 Два проводника сопротивлением 5 Ом и 10 Ом соединены параллельно и подключены к источнику напряжением 20 В. Определите силу тока в каждом проводнике и в общей цепи. Начертите схему. Какой будет сила тока в цепи, если эти проводники соединить последовательно?



- 8 Для того чтобы автомобильная лампочка не перегорела, проходящий через неё ток следует ограничить до 4 А. Для этого, прежде чем подключить лампочку к батарее напряжением 12 В, последовательно с ней включают сопротивление 1 Ом. Определите сопротивление лампочки.
- 9 При электросварке напряжение на электродах составляет 60 В, а сила тока — 250 А. Какое количество теплоты выделяется за 10 мин сварки?
- 10 Подъёмный кран равномерно поднимает груз массой 1,5 т со скоростью 10 м/мин. Определите силу тока в двигателе крана, если напряжение на его зажимах 380 В, а КПД крана 80 %.
- 11 Сколько воды можно нагреть от 15 °С до 100 °С, затратив 1 кВт · ч электроэнергии, если КПД нагревателя 50 %?
- 12 Два проводника с сопротивлениями 100 Ом и 200 Ом соединили последовательно и включили в сеть с напряжением 24 В. Как и во сколько раз изменится мощность, потребляемая участком цепи, содержащим эти проводники, если их, соединив параллельно, включить в сеть с таким же напряжением?
- 13 Три лампы, имеющие сопротивления 420 Ом, 380 Ом и 260 Ом, соединены так, как показано на рисунке, и включены в сеть с напряжением 220 В. Определите мощности, выделяющиеся в каждой из ламп.



- 14 ЭДС батареи равна 12 В, внутреннее сопротивление — 0,1 Ом. Чему равно напряжение на её клеммах при подключении к ней нагрузки с сопротивлением 10 Ом? Чему равна в этом случае сила тока?
- 15 Определите силу тока и направление тока во всех участках цепи, изображённой на рисунке. Значения сопротивлений и ЭДС указаны на схеме.



ЛАБОРАТОРНЫЕ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ § 69

Лабораторная работа № 8

Изучение последовательного и параллельного соединения проводников

Цель работы

Экспериментально проверить законы последовательного и параллельного соединения проводников.

Оборудование и материалы

Источник электрического тока (батарея), два проводника, амперметр, вольтметр, ключ, соединительные провода.

Ход работы

Задание 1. Изучение последовательного соединения проводников

- Начертите схему электрической цепи, состоящей из источника электрического тока, ключа и двух проводников, соединённых последовательно.
- Соберите электрическую цепь по этой схеме.
- Поочерёдно измерьте силу тока I_1 , I_2 и I_3 , подключая амперметр между источником электрического тока и одним из проводников; между двумя проводниками; между вторым проводником и ключом.
- Поочерёдно измерьте напряжение U_1 на первом проводнике, U_2 на втором проводнике и U_3 на обоих проводниках.
- Вычислите сопротивления: R_1 — первого проводника, R_2 — второго проводника и R — общее сопротивление последовательно соединённых проводников.
- Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу в своей тетради.

I_1, A	I_2, A	I_3, A	U_1, B	U_2, B	U_3, B	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R, Ом$

- Сравните полученные значения силы тока.
- Проверьте выполнение равенства $U_3 = U_1 + U_2$.
- Проверьте выполнение равенства $R = R_1 + R_2$.
- Сделайте выводы.

Задание 2. Изучение параллельного соединения проводников

- Начертите схему электрической цепи, состоящей из источника электрического тока, ключа и двух проводников, соединённых параллельно.
- Соберите электрическую цепь по этой схеме.
- Поочерёдно измерьте силу тока I — в неразветвлённой части цепи, I_1 — силу тока, проходящего через первый проводник, и I_2 — силу тока, проходящего через второй проводник.
- Измерьте напряжение U на концах проводников, соединённых параллельно.

- Вычислите сопротивления: R_1 — первого проводника, R_2 — второго проводника и R — общее сопротивление параллельно соединённых проводников. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу в своей тетради.

I , А	I_1 , А	I_2 , А	U , В	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R , Ом

- Проверьте выполнение равенства $I = I_1 + I_2$.
- Проверьте выполнение равенства $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.
- Сделайте выводы.

Лабораторная работа № 9

Регулирование силы тока реостатом

Цель работы

Научиться включать в цепь реостат и с его помощью регулировать силу тока в цепи.

Оборудование и материалы

Источник электрического тока (батарея), реостат, амперметр, вольтметр, ключ, соединительные провода.

Правила работы с реостатом

Ползунок реостата нельзя ставить в такое положение, при котором сопротивление реостата будет равным нулю, поскольку сила тока в цепи может оказаться очень большой. Это приведёт к порче амперметра.

Ход работы

- Внимательно рассмотрите реостат и установите, при каком положении ползунка сопротивление реостата наибольшее, а при каком — наименьшее.
- Соберите электрическую цепь, состоящую из источника электрического тока, ключа, реостата и амперметра, соединённых последовательно.
- Начертите схему электрической цепи.
- Установите ползунок реостата так, чтобы его сопротивление было максимальным, и замкните цепь.
- Измерьте силу тока I и напряжение U на реостате.
- Передвигая ползунок реостата, уменьшите его сопротивление. Измерьте силу тока и напряжение.
- Повторите измерения силы тока и напряжения на реостате несколько раз, перемещая ползунок реостата.
- Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу в своей тетради.

Номер опыта	I , А	U , В	R , Ом

- Используя закон Ома, вычислите сопротивление R реостата в каждом опыте.
- Установите, как меняется при перемещении ползунка сопротивление реостата: плавно или небольшими скачками.
- Установите, на какой максимально допустимый ток рассчитан данный реостат и каково наибольшее сопротивление его обмотки.
- Сделайте вывод.

Лабораторная работа № 10

Измерение работы и мощности электрического тока

Цель работы

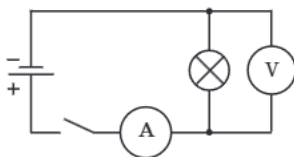
Научиться измерять работу и мощность электрического тока.

Оборудование и материалы

Источник электрического тока (батарейка), электрическая лампочка, ключ, амперметр, вольтметр, секундомер (или часы с секундной стрелкой), соединительные провода.

Ход работы

- Соберите электрическую цепь по схеме, изображённой на рисунке.
- Измерьте силу тока I и напряжение U на лампочке.
- Задайте время t свечения лампочки.
- Вычислите мощность тока в лампочке по формуле $P = UI$.
- Вычислите работу электрического тока в лампочке за время её свечения: $A = UIt$.
- Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу в своей тетради.



I , А	U , В	t , с	P , Вт	A , Дж

- Сравните полученное значение мощности с мощностью, указанной на лампочке.
- Сделайте вывод.

Дополнительное задание

- Запишите мощность электрочайника (или утюга), который используется у вас дома.
- Определите количество теплоты, выделяемое прибором за время работы. Время работы прибора задайте самостоятельно.
- Рассчитайте стоимость потребляемой прибором электроэнергии (стоимость 1 кВт · ч уточните у родителей).
- Сделайте вывод.

Практические работы-исследования

Изучаем электрические цепи

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА ОТ ЕГО ХАРАКТЕРИСТИК. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА

Цель работы

Исследовать зависимость электрического сопротивления проводника от его длины, площади поперечного сечения и материала, из которого он изготовлен; научиться определять удельное сопротивление проводника.

Ход работы

- В качестве оборудования можно использовать следующие приборы: источник электрического тока (батарейка), проводники разной длины и площади поперечного сечения, изготовленные из разных материалов, линейка, штангенциркуль (микрометр), амперметр, вольтметр, ключ, соединительные провода.
- С помощью линейки и штангенциркуля измерьте длину l нихромового проводника и его диаметр d .
- Соберите цепь, состоящую из источника электрического тока, ключа и проводника.
- Замкните ключ и измерьте силу тока I в цепи и напряжение U на проводнике.
- Возьмите нихромовый проводник такого же диаметра, но другой длины. Измерьте длину этого проводника. Замените проводник в цепи и произведите измерения силы тока и напряжения на нём.
- Возьмите другой нихромовый проводник, но толще или тоньше прежнего. Измерьте его длину и диаметр. Замените проводник в цепи и произведите измерения силы тока и напряжения на нём.
- Замените проводник в цепи на проводник, изготовленный из другого материала, но имеющий такие же геометрические размеры. Измерьте силу тока и напряжение на нём.
- Для каждого проводника вычислите площадь его поперечного сечения по формуле $S = \frac{\pi d^2}{4}$.
- По закону Ома вычислите сопротивление R проводника в каждом опыте.
- Сравните полученные значения. Сделайте вывод.
- Вычислите удельное сопротивление проводника по формуле $\rho = \frac{RS}{l}$ в каждом опыте.

№ опыта	l , м	d , м	S , м ²	I , А	U , В	R , Ом	ρ , Ом · м

- Сравните полученные значения удельного сопротивления с табличными данными. Сделайте вывод.

ИЗМЕРЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ АМПЕРМЕТРА

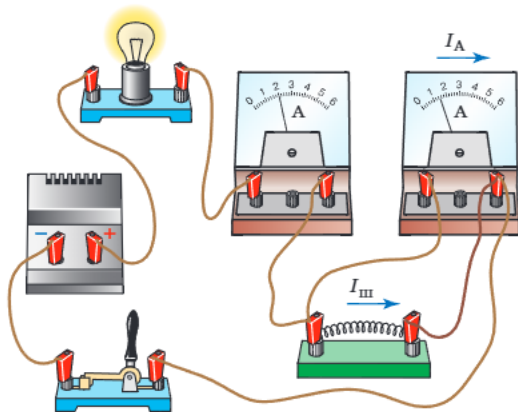
Все электроизмерительные приборы обладают собственным (внутренним) сопротивлением. Поэтому при включении их в цепь изменяются такие характеристики цепи, как сила тока, напряжение и сопротивление.

Цель работы

Определить внутреннее сопротивление амперметра; сравнить сопротивление амперметра с сопротивлением участка цепи, на котором измеряется сила тока.

Ход работы

- В качестве оборудования можно использовать следующие приборы: источник электрического тока, два амперметра, электрическая лампочка, ключ, резистор с известным малым сопротивлением $R_{ш}$ порядка 0,01—0,03 Ом (шунт), соединительные провода.
- Соберите электрическую цепь, состоящую из источника электрического тока, лампочки, ключа и двух последовательно включённых амперметров. К одному из амперметров подключите параллельно резистор с малым сопротивлением (шунт). Подключение шунта уменьшает силу тока в участке цепи, параллельно которому он подключён.



- Замкнув ключ, запишите показания амперметра, измеряющего силу тока I в общей цепи, и показания амперметра I_A , к которому подключён шунт:

$$I = I_A + I_{ш}$$

- На параллельно соединённых элементах напряжение одинаково, т. е. $I_A R_A = I_{ш} R_{ш}$. Из этих двух формул получите выражение для внутреннего сопротивления амперметра:

$$R_A = R_{ш} \frac{I - I_A}{I_A}$$

- По полученной формуле вычислите внутреннее сопротивление амперметра.
- Исходя из номинальной мощности P лампочки и напряжения U , на которые она рассчитана, оцените её сопротивление по формуле $R_n = \frac{U^2}{P}$.

I, A	I_A, A	$R_{ш}, Ом$	$R_A, Ом$	$R_n, Ом$

- Сравните сопротивление амперметра с сопротивлением лампочки.
- Сделайте вывод.

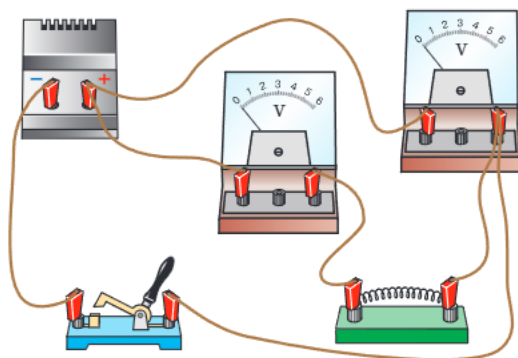
ИЗМЕРЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОЛЬТМЕТРА

Цель работы

Определить внутреннее сопротивление вольтметра.

Ход работы

- В качестве оборудования можно использовать следующие приборы: источник электрического тока, два вольтметра, ключ, добавочный резистор с известным сопротивлением R_d , равным 1—2 кОм, соединительные провода.
- Соберите электрическую цепь, состоящую из источника электрического тока, вольтметра и ключа, соединённых последовательно.



- К участку цепи, состоящему из вольтметра, подключите другой вольтметр, соединённый последовательно с добавочным резистором.
- Обозначьте показания первого вольтметра U_1 , второго — U_2 , а напряжение на добавочном резисторе U_d . Тогда $U_2 = U_1 + U_d$.
- Поскольку через последовательно соединённые нагрузки проходит одинаковый ток, т. е. $I_1 = I_d$, то

$$\frac{U_1}{R_v} = \frac{U_d}{R_d}. \quad (1)$$

- Учитывая, что $U_d = U_2 - U_1$, из формулы (1) получаем выражение для сопротивления вольтметра: $R_v = R_d \frac{U_1}{U_2 - U_1}$.

R_d , Ом	U_1 , В	U_2 , В	R_v , Ом

- Сравните сопротивление вольтметра с сопротивлением резисторов из школьного набора по электричеству.
- Сделайте вывод.

РАЗВЕТВЛЁННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

Основная идея, используемая при расчётах сложных электрических цепей, заключается в замене данной цепи её более простым, но эквивалентным аналогом.

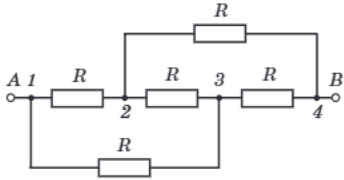
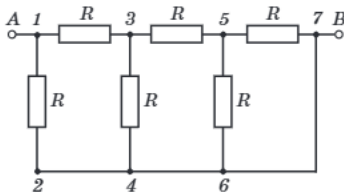
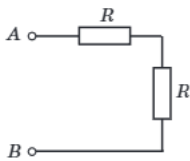
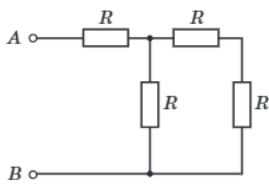
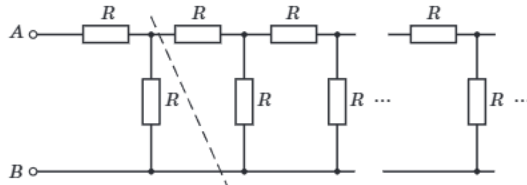
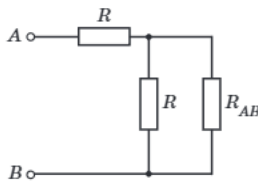
Цель работы

Опытным путём проверить методы расчётов электрических цепей, состоящих из большого числа одинаковых резисторов.

Ход работы

- В качестве оборудования можно использовать набор, содержащий несколько десятков резисторов; необходимое количество коммутационных плат; мультиметр, используемый в качестве омметра; соединительные провода.
- Используя коммутационную плату, соберите электрическую цепь, составленную по схеме А. В качестве соединительных проводов (перемычек) можно использовать медные проволочки.
- С помощью омметра определите сопротивление цепи, собранной по схеме А.
- Упростите электрическую цепь А.
- В таблицу запишите результаты измерений $R_{\text{эксп}}$ и значение сопротивления эквивалентной цепи $R_{\text{теор}}$.
- Проведите аналогичные измерения для электрических цепей, собранных согласно схемам Б—Е. Результаты измерений запишите в таблицу.
- Сделайте выводы об уровне согласия между измеренными значениями сопротивлений цепей, составленных согласно схемам А—Е, и их эквивалентных цепей.

Схема	Подсказка для упрощения электрической цепи
<p>А.</p>	Используйте правила последовательного и параллельного соединения проводников
<p>Б.</p>	Исходная цепь АВ заменяется её аналогом, так как перемычка на схеме не обладает сопротивлением и ток по резисторам на участке 1—2 идти не будет
<p>В.</p>	Так как на перемычках 1—2 и 3—4 нет падения напряжения, то точки 1 и 2, точки 3 и 4 можно соединить
<p>Г.</p>	На перемычке 3—4 нет падения напряжения, поэтому точки 3 и 4 в схеме можно соединить

Схема	Подсказка для упрощения электрической цепи
<p>Д.</p> 	<p>В ряде случаев при расчётах разветвлённых цепей удастся использовать соображения симметрии. Упрощение цепи Д удастся осуществить потому, что в силу свойств симметрии схемы падение напряжения на участках 1—3 и 2—4 оказывается одинаковым. Поэтому напряжение на резисторе 2—3 отсутствует. Ток по нему не идёт, и его можно исключить из схемы</p>
<p>Е.</p> 	<p>Иногда при расчётах разветвлённых электрических цепей удастся выделить узловые точки, которые можно объединить в одну точку. В схеме Е точки 2, 4, 6 и 7, по сути, и есть одна и та же точка</p>
<p>Ж. Цепь, содержащая одно звено:</p>  <p>Цепь, содержащая два звена:</p>  <p>Цепь, содержащая несколько одинаковых звеньев:</p> 	<p>Если мы мысленно «отсечём» первое звено цепи, то получим ту же самую цепь, сопротивление R_{AB} которой предстоит вычислить. Возвратим на прежнее место первое звено. В результате получим эквивалентную цепь:</p> 

КЕЙС

ФИЗИКА НА КУХНЕ: ИЗУЧАЕМ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ СОЛЁНОЙ ВОДЫ

Ученики 8 инженерного класса Петя и Саша после выполнения практических работ по измерению силы тока и напряжения в электрических цепях решили изучить особенности протекания электрического тока в цепи, составленной из металлических и неметаллических проводников. По совету учителя физики ребята задались целью определить удельное сопротивление солевого раствора и выяснить зависимость удельного сопротивления от концентрации соли в воде.

Проведите и вы все необходимые измерения.

Цель работы

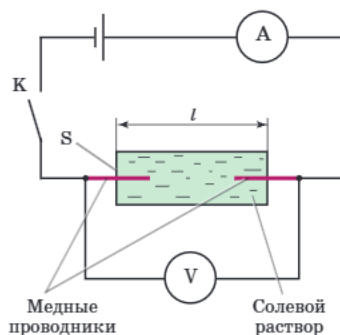
Изучить зависимость удельного сопротивления солевого раствора от концентрации поваренной соли в воде.

Этапы выполнения задания

- В качестве оборудования можно использовать источник тока, амперметр, вольтметр, прозрачную пластмассовую трубку с заделанными торцами, через которые пропущены проводники (зачищенные медные проволоочки), шприц, весы, воду, соль, мерный стакан, линейку, пластилин, коммутационную плату.

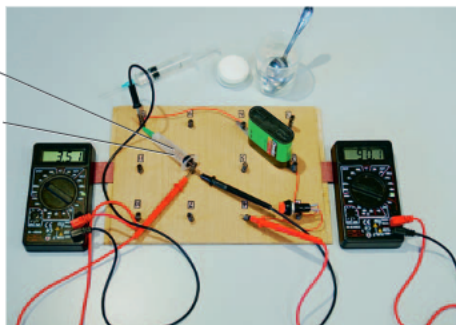
Примечание: пластмассовую трубку несложно изготовить из корпуса медицинского шприца объёмом 5—10 мл. При этом один из торцов трубки должен закрываться съёмной круглой крышечкой, через которую пропущен медный проводник.

- Приготовьте солевой раствор нужной концентрации.
- Измерьте длину l и внутренний диаметр d трубки.
- С помощью шприца полностью заполните трубку солевым раствором и герметично закройте крышечкой. При этом необходимо следить, чтобы в растворе не было воздушных пузырьков.
- Соберите экспериментальную установку, используя в качестве помощника фотографию реальной электрической цепи, содержащей неоднородный участок. В качестве источника тока можно использовать обычную батарейку, а в качестве электроизмерительных приборов — мультиметры.



Медные проводники

Солевой раствор



- Согласно закону Ома, сопротивление неоднородного участка цепи $R = \frac{U}{I}$, где I — сила тока в цепи, U — напряжение на неоднородном участке цепи.

С другой стороны, $R = \rho \frac{l}{S}$, где $S = \frac{\pi d^2}{4}$ — площадь поперечного сечения трубки, ρ — удельное сопротивление солевого раствора.

С учётом приведённых формул получим:

$$\rho = \frac{U}{I} \cdot \frac{S}{l}.$$

- Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу в своей тетради.

I, mA	U, B	l, cm	d, cm	S, cm^2	$\rho, \text{Om} \cdot \text{m}$		
					$n = 5 \%$	$n = 10 \%$	$n = 20 \%$

- Измерения проведите для концентрации соли в воде $n = 5 \%$, 10% и 20% .
- Полученные значения удельного сопротивления солевого раствора полезно сравнить с данными из физических справочников.

Примечание: фиксировать показания электроизмерительных приборов необходимо сразу после замыкания ключа, поскольку сила тока в цепи уменьшается с течением времени.

ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Сопротивление проводника определяется его геометрическими размерами и свойствами материала, из которого он изготовлен: $R = \rho \frac{l}{S}$.
- При последовательном соединении нескольких проводников общее сопротивление цепи равно сумме сопротивлений отдельных проводников: $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$.
- При параллельном соединении нескольких проводников величина, обратная общему сопротивлению цепи, равна сумме величин, обратных сопротивлениям отдельных проводников: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$.
- Работа электрического поля в цепи называется работой тока. Работа электрического тока на участке цепи равна произведению напряжения на концах этого участка на силу тока и на время, в течение которого шёл ток: $A = UIt$.
- Закон Джоуля—Ленца: количество теплоты, выделяемое проводником с током, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления и времени прохождения тока: $Q = I^2 Rt$.
- Мощность электрического тока равна произведению напряжения на силу тока в цепи: $P = UI$.
- Тепловое действие тока широко используют в различных электронагревательных приборах и устройствах. Основной частью любого электронагревательного прибора является нагревательный элемент.
- Коротким замыканием называют соединение концов участка цепи проводником, сопротивление которого мало по сравнению с сопротивлением этого участка цепи. Чтобы избежать последствий короткого замыкания, в сеть включают предохранители.

Вопросы для обсуждения

- ❓ Какой проводник имеет большее сопротивление: медный сплошной стержень или медная трубка, внешний диаметр которой равен диаметру стержня? Длину обоих проводников считайте одинаковой.
- ❓ Почему вспомогательные части цепей (клеммы, контакты и т. д.) производят из меди, причём изготавливают данные элементы короткими и толстыми?
- ❓ Для чего на шкале уровня воды в электрическом чайнике указывается его минимально допустимое значение?

Темы исследовательских и проектных работ

- Последовательное и параллельное соединения проводников в технике.
- Энергосберегающие технологии в быту.
- История лампы накаливания.
- Нагревательные элементы.
- Электрическая цепь в квартире.
- Предохранители в быту и технике.
- Нанотехнологии и электричество.
- Будущее электроэнергетики.

Глава 7

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Гальваническое электричество, идущее с севера на юг над свободно подвешенной магнитной иглой, отклоняет её северный конец к востоку, а проходя в том же направлении под иглой, отклоняет её на запад.

Х. К. Эрстед



§ 70 МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ПРОВОДНИКА С ТОКОМ

НОВОЕ В УРОКЕ

- Что является источником магнитного поля.
- Как графически изображается магнитное поле.
- Правило буравчика.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Из каких элементов состоит электрическая цепь?
- Что такое электрический ток и электрическое поле?
- Что такое силовые линии электрического поля?
- Что является источником электрического поля?

Магнитные явления известны людям с глубокой древности. Ещё древние греки знали, что существует особый минерал, способный притягивать железные предметы. Это был один из минералов железной руды, который сейчас известен как магнетит. Его залежи находились около города Магнезии на севере Турции. Слово «магнит» в переводе с греческого означает «камень из Магнезии». Впервые свойства магнитных материалов использовали в Китае — именно там был сконструирован первый компас.

МАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ. Свойства магнитов тщательно изучил и систематизировал английский врач Уильям Гильберт. В своей книге «О магните...», опубликованной в 1600 г., он впервые описал и проанализировал магнитные явления. При этом он опирался на наблюдения, эксперимент и математический расчёт.

▶ ЭТО ИНТЕРЕСНО

Мне остаётся сказать, по какому закону природы
Может железо к себе притягивать камень, который
Греки магнитом зовут по названию месторожденья,
Ибо находится он в пределах отчизны магнетов.
Этому камню народ удивляется, ибо нередко
Цепью звено к звену, от него исходя, повисает.
Можно ведь видеть порой, что, качаясь от лёгкого ветра,
Пять или больше таких свободно спускается звеньев.
Все они вместе висят и, одно к одному прилепляясь,
Камня силу и связь друг от друга тогда испытуют:
Так его сила всегда непрерывным вливается током...

Тит Лукреций Кар. «О природе вещей»

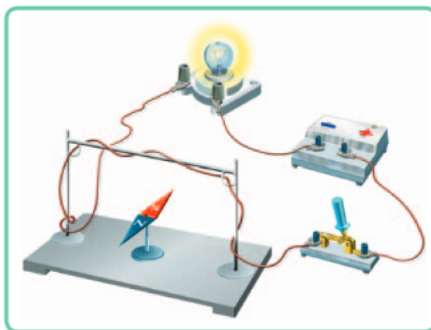


Ханс Кристиан Эрстед
(1777—1851)

В начале XIX в. учёные начали уделять большое внимание поиску взаимосвязей между явлениями электричества и магнетизма, которые до этого времени казались не связанными друг с другом. В 1820 г. датский физик Ханс Кристиан Эрстед установил, что провод, по которому идёт электрический ток, отклоняет магнитную стрелку компаса.

ИССЛЕДОВАНИЕ

Соберём электрическую цепь, состоящую из источника тока, лампы и ключа. Около одного из проводов поместим стрелку компаса. При отсутствии тока в цепи (ключ разомкнут) магнитная стрелка направлена строго на север. Провод расположим так, чтобы направление стрелки было параллельно проводу. Замкнём цепь. Лампа загорится, а магнитная стрелка отклонится от своего первоначального положения.



МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. Опыт Эрстеда демонстрирует появление вокруг проводников с током новых сил, действующих на магнитную стрелку компаса. Под их действием стрелка приходит в движение и меняет своё направление. Эти силы называются **магнитными**, они порождаются **магнитным полем**.

Магнитное поле существует вокруг любого проводника с током.

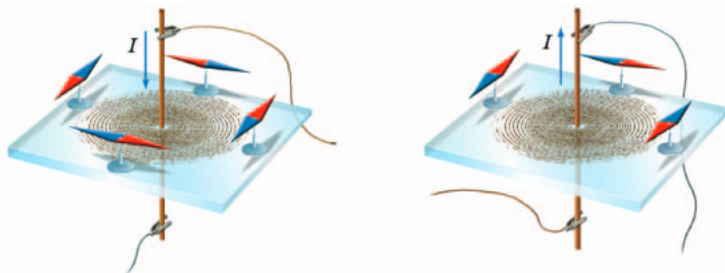
Вокруг неподвижных электрических зарядов существует *электрическое поле*. Вокруг движущихся электрических зарядов, т. е. электрического тока, существует и *электрическое*, и *магнитное поле*.

МАГНИТНЫЕ ЛИНИИ. Для того чтобы обнаружить магнитное поле вокруг проводника с током, можно использовать мелкие железные опилки. В магнитном поле опилки намагничиваются и ведут себя подобно маленьким магнитным стрелкам.

Проведём прямой проводник сквозь лист картона. На картон насыпем тонким слоем железных опилок и включим электрический ток; при этом возникает магнитное поле, действие которого на опилки видно невооружённым глазом. Опилки, ранее хаотически разбросанные вокруг проводника, теперь располагаются упорядоченно, в виде концентрических окружностей.

Линии, вдоль которых в магнитном поле располагаются оси маленьких магнитных стрелок, называются **линиями магнитного поля** или **магнитными линиями**.

Продолжим опыт. На листе картона закрепим несколько магнитных стрелок. При пропускании тока по проводнику они располагаются вдоль силовых линий магнитного поля. Если изменить направление тока в проводнике на противоположное, то все стрелки повернутся на угол 180° .



Это означает, что магнитные линии магнитного поля тока имеют определённое направление, которое связано с направлением тока в проводнике.

Направление линий магнитного поля совпадает с направлением, которое указывает северный полюс магнитной стрелки в каждой точке поля.

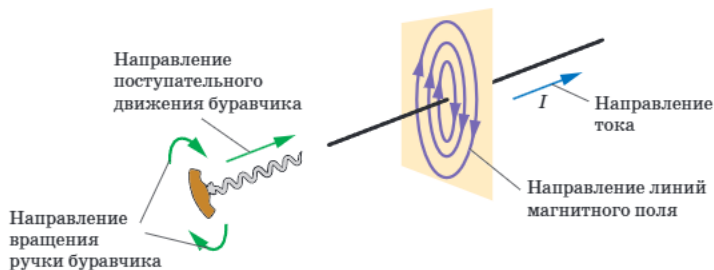
Магнитные линии используются для графического представления магнитного поля. В отличие от силовых линий электрического поля

линии магнитного поля замкнуты, они не имеют ни начала, ни конца.

Графически направление тока в проводнике принято обозначать крестиком (если ток направлен от нас) или точкой (если ток направлен к нам). Мысленно это можно представить следующим образом. Если вы смотрите на стрелку спереди, то видите её наконечник — точку. Если смотреть на стрелку сзади, то будет видно её оперение — крестик.

ВАЖНО

Для определения направления линий магнитного поля, созданного проводником с током, используют **правило буравчика** (правило правого винта): если направление поступательного движения буравчика совпадает с направлением тока в проводнике, то направление вращения ручки буравчика совпадает с направлением линий магнитного поля тока.



Выводы

- ! Вокруг движущихся электрических зарядов существует и электрическое, и магнитное поле.
- ! Линии, вдоль которых в магнитном поле располагаются оси маленьких магнитных стрелок, называют линиями магнитного поля.

Ключевые слова

Магнитное поле проводника с током; линии магнитного поля; правило буравчика

Вопросы и задания

1. Какое поле существует вокруг неподвижного заряда? вокруг движущегося заряда?
2. Что такое линии магнитного поля? В чём заключается сходство и различие линий электрического и магнитного полей?
3. Как формулируется правило буравчика?
4. Наши органы чувств не могут непосредственно воспринимать магнитное и электрическое поля. Почему же мы уверены в их существовании?

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ КАТУШКИ С ТОКОМ § 71

НОВОЕ В УРОКЕ

Опыты Эрстеда наглядно свидетельствовали о том, что вокруг проводника с током возникает магнитное поле, влияющее на магнитную стрелку вблизи него. Магнитное поле обладает определёнными свойствами, которые были установлены экспериментально. Опыты также показали, что магнитное поле проводника с током можно существенно усилить, если этот проводник свернуть в форме спирали.

- Что такое соленоид.
- Что собой представляют силовые линии магнитного поля катушки с током.
- Как можно усилить магнитное действие катушки с током.
- Что такое электромагнит.

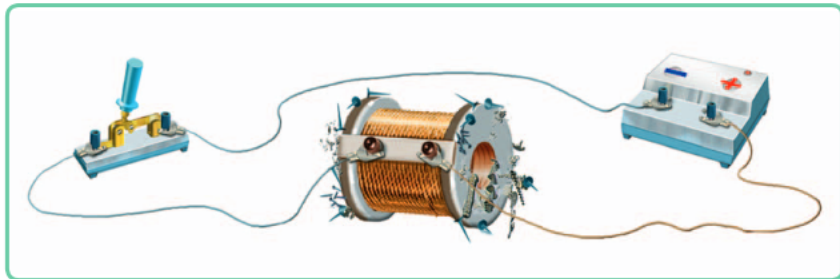
ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- При каких условиях возникает магнитное поле?
- Как графически изображается магнитное поле?

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ КАТУШКИ С ТОКОМ. Катушка с намотанным на цилиндрическую поверхность изолированным проводником, по которому идёт электрический ток, называется соленоид (от греч. *solen* — трубка).

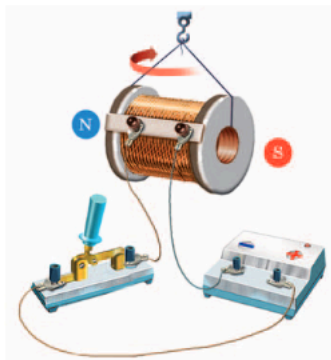
ИССЛЕДОВАНИЕ

Соберём электрическую цепь, состоящую из источника тока, ключа и провода, намотанного на катушку. Если замкнуть цепь, через катушку пойдёт электрический ток. Лёгкие железные предметы, расположенные около катушки, будут притягиваться к её концам. Если цепь разомкнуть, все предметы отпадут.

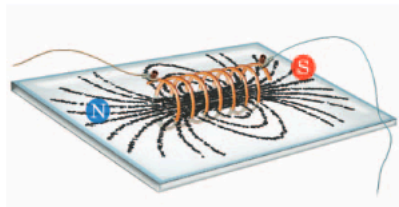


Теперь подвесим катушку на гибких проводниках. При замыкании ключа в катушке возникает ток, в результате чего она поворачивается. При этом направление оси катушки будет совпадать с направлением магнитной стрелки компаса: один конец катушки будет обращён к северу, а другой — к югу. Таким образом, катушка с током приобретает свойства магнита (см. рисунок на с. 104).

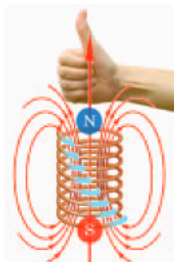
Если поменять направление тока в катушке, то она повернётся на угол 180° . Это ещё раз подтверждает тот факт, что направление линий магнитного поля связано с направлением тока в проводнике.



МАГНИТНЫЕ ЛИНИИ. Магнитное поле катушки с током можно обнаружить так же, как и магнитное поле прямого тока: при помощи железных опилок. Для этого используют стеклянную пластинку, сквозь которую пропущен проводник в виде спирали (как на катушке). На стеклянную пластинку насыпают железные опилки, а по проводнику пропускают электрический ток. При этом железные опилки располагаются в строго определённом порядке.



Силовые линии магнитного поля катушки с током являются замкнутыми кривыми. Внутри длинной катушки они параллельны друг другу, а на концах расходятся и замыкаются вне катушки.

ВАЖНО


Для определения направления линий магнитного поля катушки с током используют **правило правой руки**: если мысленно обхватить соленоид ладонью правой руки, направив четыре пальца по току в витках, то отставленный большой палец укажет направление магнитных линий внутри соленоида.

Северный полюс катушки с током всегда располагается у того её торца, от которого направлен большой палец ладони, расположенной в соответствии с правилом правой руки. Вне катушки магнитные линии направлены от северного полюса катушки к южному.

МАГНИТНОЕ ДЕЙСТВИЕ КАТУШКИ С ТОКОМ. Рассмотрим, при каких условиях действие магнитного поля катушки с током может усиливаться или ослабевать.

Соберём цепь из источника тока, ключа и катушки. Будем поочерёдно подключать катушки с разным количеством витков.

Катушка с большим количеством витков при прохождении тока по ней притягивает большее количество мелких железных предметов, чем катушка с меньшим количеством витков. Поэтому можно сказать, что

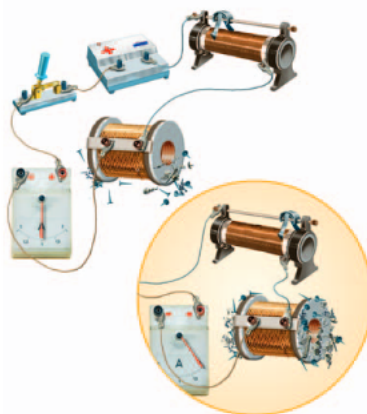
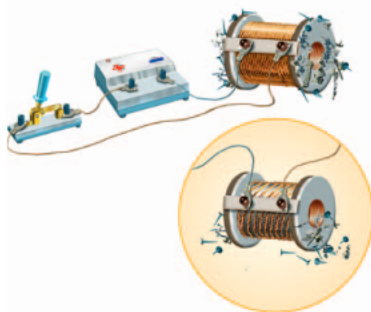
магнитное действие катушки с током тем сильнее, чем больше в ней витков.

Продолжим опыт. Соберём цепь из источника тока, ключа, катушки, амперметра и реостата. С помощью реостата будем изменять силу тока в цепи. При увеличении силы тока катушка притягивает всё больше металлических предметов.

Магнитное действие катушки с током тем больше, чем больше значение силы тока.

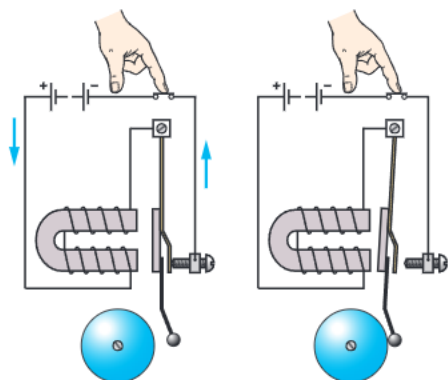
Магнитное действие катушки с током можно усилить, не меняя силу тока и число витков в ней. Для этого нужно ввести внутрь катушки железный стержень (сердечник). Катушка с железным сердечником внутри называется **электромагнитом**.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ. Электромагниты широко применяются в технике. Например, их используют для подъёма и переноски тяжёлых стальных или чугунных грузов. При включении тока эти предметы притягиваются к электромагниту, при выключении — свободно отсоединяются.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Первый в мире электромагнит был создан английским изобретателем Уильямом Стёрдженем в 1825 г. В те времена ещё не умели изготавливать изолированную проволоку, поэтому электромагнит делали следующим образом. На железный стержень наматывали шёлковую нить, а поверх неё наматывали проволоку так, чтобы витки не соприкасались. Такой электромагнит мог удерживать груз намного больше собственного веса и превосходил по силе природные магниты той же массы.



Электромагниты также используются в различных электронных устройствах. Например, после изобретения электромагнитов были созданы первые *электрические звонки*. При нажатии кнопки звонка цепь замыкается, провод, намотанный на железный сердечник, становится магнитом и притягивает к себе железную пластинку, называемую *якорем*, и тем самым заставляет молоточек ударить по звонковой чаше. При этом контакт с винтом нарушается, ток в электромагните прекращается и пружина возвращает якорь в прежнее положение. Затем процесс повторяется снова.

В последнее время получили распространение электромагнитные замки, которые устанавливают на дверях подъездов жилых домов, офисных и торговых помещений. На одной створке двери закрепляют сильный электромагнит, а на другой — железную пластину (якорь). В закрытом состоянии через обмотку электромагнита проходит электрический ток, и электромагнит притягивается к якорю. Когда к замку подносят контактный ключ, подача электричества прекращается, электромагнит не притягивается к пластине, и дверь можно свободно открыть.

Электромагниты используются в *поездах на магнитной подушке* (английское название — *magnetic levitation* — «магнитная левитация»). Под вагоном поезда и вдоль рельсов устанавливаются мощные электромагниты. При их взаимодействии вагон приподнимается над дорогой и начинает двигаться вперёд. Такие поезда испытывают значительно меньшее трение при движении, чем обычные поезда. Их скорость достигает 400—500 км/ч.

Мощные электромагниты используются в медицине для работы сложных приборов *магнитно-резонансной томографии* (МРТ).

ВЫВОДЫ

- ! Магнитное поле можно усилить, если провод, по которому идёт ток, свернуть в форме винтовой спирали. Катушку с намотанным на цилиндрическую поверхность изолированным проводником, по которому идёт электрический ток, называют соленоидом.
- ! Катушка с железным сердечником внутри называется электромагнитом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Соленоид; магнитное поле катушки с током; правило правой руки; электромагнит

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как ориентирована катушка с током, подвешенная на длинных и тонких проводниках?
2. Как формулируется правило правой руки?
3. Какими способами можно усилить магнитное действие катушки с током?
4. Приведите примеры использования электромагнитов в быту и технике.
5. Каким образом с помощью имеющейся катушки с током изготовить электромагнит с изменяющейся подъёмной силой?

ПОСТОЯННЫЕ МАГНИТЫ § 72



НОВОЕ В УРОКЕ

На предыдущем уроке вы познакомились с электромагнитами, которые приобретают магнитные свойства лишь при включении тока. Но в природе существуют вещества, которые длительное время могут сохранять намагниченность.

- Что такое постоянные магниты.
- Какими свойствами обладают постоянные магниты.
- Что собой представляют силовые линии магнитного поля постоянных магнитов.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- При каких условиях возникает магнитное поле?
- Как графически изображается магнитное поле?

ПОСТОЯННЫЕ МАГНИТЫ. В природе существуют лишь три металла — кобальт, железо и никель — которые остаются намагниченными, если находящийся рядом с ними магнит убирают. Остаточным магнетизмом обладает также ряд редкоземельных элементов и их сплавов. Тела, длительное время сохраняющие намагниченность, называют **постоянными магнитами** или просто **магнитами**.

К магниту притягиваются гвозди, канцелярские скрепки и другие предметы из железа, никеля и стали. Любой кусок железа или стали становится магнитом, если по нему несколько раз провести в одном направлении концом постоянного магнита.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Таинственные способности магнита притягивать железные предметы известны с глубокой древности. В разных странах магнит называли по-разному, но большая часть этих названий переводится как «любящий» или «любящий железо». Древние индейцы использовали магнит для извлечения железных наконечников стрел из тел раненых воинов. В Китае строили волшебные ворота, сквозь которые не мог пройти человек, спрятавший металлическое оружие. Магнит был очень популярен у средневековых фокусников. Например, по мановению руки фокусник заставлял деревянных рыбок плавать в определённом направлении. Секрет фокуса заключался в том, что в рукаве фокусника был спрятан магнит, а в головы рыб были вставлены кусочки железа.

В первой половине XIX в., сразу после открытия Эрстедом действия тока на магнитную стрелку, А.-М. Ампер исследовал магнитные взаимодействия и сделал вывод, что «все магнитные явления сводятся к чисто электрическим эффектам». Согласно **гипотезе Ампера**, в любом магните присутствует множество круговых электрических токов, действием которых и объясняются магнитные силы. Интересно, что, выдвигая свою гипотезу, Ампер ещё не знал ни о строении атома, ни о существовании электронов. Современная теория магнетизма подтвердила правильность предположения Ампера.



Движение электронов внутри атомов или молекул создаёт токи, которые называют **элементарными круговыми токами**. В магнитах эти токи ориентированы одинаково, поэтому магнитные поля, образующиеся вокруг каждого такого тока, имеют одинаковое направление. Они усиливают друг друга, создавая поле вокруг и внутри магнита.

Отсутствие у вещества магнитных свойств означает, что эти токи неупорядочены и их действия взаимно компенсируются.

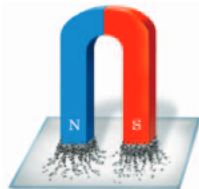


Различные вещества, помещённые в магнитное поле, ведут себя по-разному. Например, кобальт, железо, никель и их сплавы намагничиваются вблизи другого магнита и сами становятся постоянными магнитами. Такие вещества, как алюминий, магний, платина и др., очень слабо притягиваются к магниту. Их магнитные свойства исчезают, как только пропадает внешнее магнитное поле.

Есть и ещё один класс веществ, например азот, водород, кремний, фосфор, висмут, золото. Внутри них магнитное поле ослабевает.

Магнитное поле может быть очень опасным для сложных технических устройств, так как их железные или стальные части могут намагнититься и перестать правильно работать. Это особенно важно учитывать при работе медицинского оборудования, например кардиостимуляторов, и других приборов с высокочувствительными электронными датчиками, а также обычного часового механизма. Для защиты от действия внешних магнитных полей приборы окружают стальными экранами.

СЕВЕРНЫЙ И ЮЖНЫЙ ПОЛЮСЫ МАГНИТА. Поместим магнит в коробочку с мелкими железными опилками. Если мы достанем магнит, то увидим, что опилки прилипают не ко всей поверхности магнита, а лишь к некоторым его частям.



ВАЖНО

Те места магнита, которые оказывают наиболее сильное магнитное действие, называются **полюсами магнита**. У каждого магнита обязательно есть два полюса: **северный (N)** и **южный (S)**. Красным цветом обычно окрашивают южный полюс магнита, синим — северный.

Получить магнит с одним полюсом невозможно. Если магнит разделить на две части, то каждая из них окажется магнитом с двумя полюсами.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МАГНИТОВ. Если к магнитной стрелке поднести магнит, то можно заметить, что северный полюс стрелки будет притягиваться к южному полюсу магнита и отталкиваться от его северного полюса. Южный полюс стрелки будет отталкиваться от южного полюса магнита и притягиваться к его северному полюсу. Таким образом,

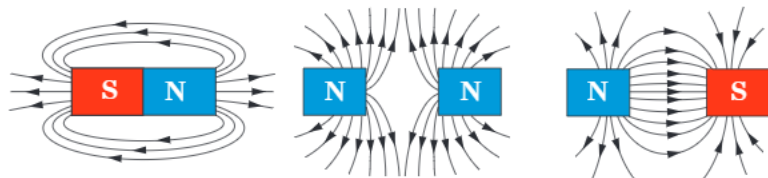
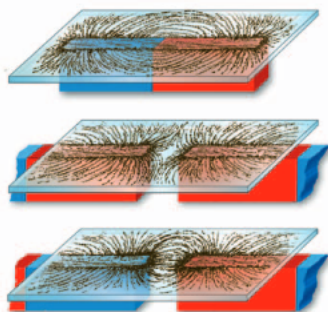
разноимённые магнитные полюсы притягиваются, одноимённые — отталкиваются.

Постоянные магниты применяются, например, в компасах, в электроизмерительных приборах, в магнитных замках и т. п.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПОСТОЯННЫХ МАГНитОВ. Взаимодействие магнитов объясняется тем, что вокруг любого магнита существует *магнитное поле*. Выясним, как располагаются линии магнитного поля постоянных магнитов.

Положим магнит на стол и накроем его стеклом (прозрачной пластиной). Насыпав на стекло железные опилки, мы получим картину магнитного поля постоянного магнита. Аналогично можно получить линии магнитного поля двух магнитов, обращённых друг к другу одноимёнными или разноимёнными полюсами.

Силовые линии магнитного поля постоянного магнита, как и силовые линии магнитного поля тока, являются замкнутыми линиями. Вне магнита магнитные линии выходят из северного полюса магнита и входят в южный, замыкаясь внутри магнита, так же как магнитные линии катушки с током.



- ! Те места магнита, которые оказывают наиболее сильное магнитное действие, называются полюсами магнита.
- ! Разноимённые магнитные полюсы притягиваются, одноимённые — отталкиваются.

Выводы

Ключевые слова

и вопросы задания

Постоянный магнит; магнитное поле

1. Какие тела называют постоянными магнитами?
2. Что называют полюсами магнита?
3. Как направлены силовые линии магнитного поля постоянных магнитов?
4. Можно ли намагнитить железные шар или кольцо?
5. Если к северному полюсу магнитной стрелки поднести с двух сторон на равных расстояниях одинаковые магниты южными полюсами, то как будет ориентироваться стрелка?
6. В коробке перемешаны латунные и железные гайки. Как их разделить?
7. В вашем распоряжении есть два совершенно одинаковых стальных стержня. Один из них намагничен. Как без использования вспомогательных средств определить, какой из стержней намагничен?
8. Можно ли изготовить искусственный магнит с одним полюсом?

§ 73 МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

НОВОЕ В УРОКЕ

- Где находятся магнитные полюсы Земли.
- Что такое магнитные аномалии.
- Почему возникают магнитные бури.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Как взаимодействуют два постоянных магнита?

Как свидетельствует история, люди бесстрашно покоряли морские просторы и совершали дальние плавания уже в глубокой древности. Прибором, позволяющим ориентироваться в пространстве и находить нужное направление движения, был *компас*. Действие компаса основано на магнитном взаимодействии, обусловленном существованием у Земли магнитного поля. Экспериментально установлено, что наша планета является большим магнитом.

МАГНИТНЫЕ ПОЛЮСЫ ЗЕМЛИ. Как и любое магнитное поле, магнитное поле Земли можно представить при помощи силовых линий. Именно поэтому магнитная стрелка компаса устанавливается вдоль силовых линий магнитного поля Земли.

Перелётные птицы благодаря магнитному полю Земли ориентируются в любой местности и возвращаются в свои гнёзда, преодолевая тысячи километров. Почтовые голуби также находят дорогу домой по силовым линиям магнитного поля Земли.

ЭТО ИНТЕРЕСНО



Компас был изобретён в Китае приблизительно в III в. до н. э. Первые компасы были сделаны из намагниченной стали и железа. Они были похожи на ложку с тщательно отполированной выпуклой частью. Их помещали в центр медной или деревянной пластины так, чтобы ложка свободно могла вращаться вокруг своей оси. Её приводили во вращательное движение, и после остановки кончик ложки указывал направление на юг. В Европе компас появился в XII—XIII вв. Компас стал первым навигационным прибором. Благодаря ему развивалось мореходство, стали возможны далёкие морские путешествия, происходили географические открытия.

Разноимённые полюсы магнитов притягиваются, поэтому северный полюс магнитной стрелки указывает направление на *южный магнитный полюс Земли*. Этот полюс удалён от *Северного географического полюса* примерно на 2100 км. Если

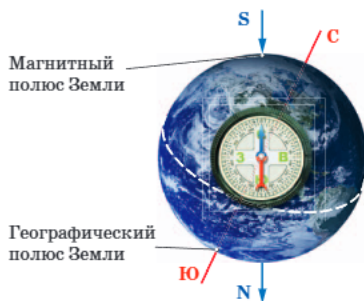
изображать магнитное поле Земли графически, то в районе Северного географического полюса магнитные линии вертикальны и входят в Землю.

Северный магнитный полюс находится вблизи Южного географического полюса. Здесь магнитные линии выходят из Земли.

Магнитные полюсы Земли не совпадают с её географическими полюсами.

Это приводит к тому, что направление стрелки компаса не совпадает с направлением географического меридиана, и она показывает на Север не точно, а лишь приблизительно.

В точках магнитного полюса Земли свободно подвешенная на нити магнитная стрелка должна устанавливаться вертикально, так как именно в этих точках магнитные линии входят или выходят из неё.



Учёным уже давно известно, что магнитные полюсы Земли не стоят на месте. Выяснилось, что северный магнитный полюс движется на север и при этом немного смещается к западу. Поначалу скорость его движения составляла примерно 10 км в год, а за последние годы она увеличилась и достигла 40 км в год. Предполагается, что может измениться и направление магнитного поля Земли, когда северный и южный магнитные полюсы меняются местами. Но такие изменения ещё ни разу не происходили за всю историю человечества.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

В 1600 г. в Лондоне вышел фундаментальный труд Уильяма Гильберта «О магните, магнитных телах и о большом магните — Земле», который содержал описание более 600 поставленных им опытов. Проанализировав результаты этих опытов, именно Гильберт установил, что у магнита всегда есть два полюса — северный и южный, что одноимённые полюсы магнитов отталкиваются, а разноимённые — притягиваются. Он изготовил модель Земли — небольшой шар из намагниченного железа — и изучал его магнитные свойства. В итоге он сделал важное открытие: наша планета представляет собой большой магнит. В его опытах миниатюрная магнитная стрелка указывала на магнитный полюс модели, подобно тому как стрелка компаса указывает на магнитный полюс Земли.

МАГНИТНЫЕ АНОМАЛИИ. На поверхности Земли имеются территории, где собственное магнитное поле планеты сильно искажено магнитным полем железных руд, залегающих на небольшой глубине.

Такие области называются областями магнитной аномалии (от лат. *anomalia* — отклонение). Одна из таких территорий — *Курская магнитная аномалия*.



Изучая изменения магнитного поля на поверхности Земли, геологи могут обнаружить железорудные, бокситовые, никелевые месторождения, а также россыпные месторождения золота. Этот метод исследования называется **магниторазведкой**. Он известен довольно давно. Уже в XVIII в. для поиска железных руд использовался компас. Для исследования магнитных аномалий применяется высокоточный измерительный прибор *магнитометр*.



Исследования последних лет подтвердили предположения учёных о существовании дрейфа континентов. По характеру намагничённости железных месторождений, возникших несколько сотен миллионов лет назад, учёные выдвинули гипотезу о существовании некогда в Южном полушарии единого гигантского континента, который позже раскололся на Южную Америку, Африку, Австралию и Антарктиду.



ЗНАЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ЖИЗНИ. Солнце и другие звёзды постоянно излучают в космическое пространство огромные потоки заряженных частиц. Эти потоки формируют так называемое *космическое излучение*, которое губительно для всего живого. Что же защищает Землю и все живые организмы от воздействия этого излучения?

Установлено, что магнитное поле Земли, взаимодействуя с космическими заряженными частицами, отклоняет их от первоначального направления. Часть частиц обтекает поверхность Земли, а другая часть удерживается магнитным полем вблизи магнитных полюсов Земли. В этих регионах Земли частицы влетают в верхние слои атмосферы, вызывая их ионизацию. Это приводит к возникновению красивейших явлений природы — *полярных сияний*.

Часть космического излучения задерживается атмосферой. Установлено, что магнитное поле Земли является своеобразным экраном, препятствующим проникновению в атмосферу потока заряженных частиц из космоса, которые губительно действуют на живые организмы. Таким образом, в отличие от условий открытого космоса, на Земле благодаря магнитному полю и атмосфере существуют благоприятные условия для жизни.

МАГНИТНЫЕ БУРИ. Магнитное поле Земли с течением времени изменяется. Это подтверждено многолетними наблюдениями. Учёные различают изменения, происходящие в течение столетий, одного года, а также в пределах одних суток. Все эти изменения невелики и происходят постепенно.

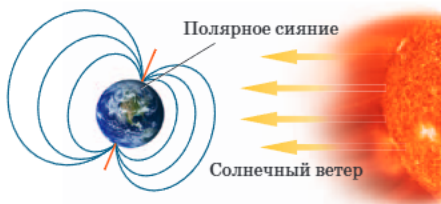
Но есть изменения, имеющие другую природу. Они заключаются в том, что магнитное поле Земли за короткое время меняется достаточно сильно. Такое явление называют *магнитной бурей*.

Магнитные бури связаны с усилением солнечной активности. Обычно они длятся от 6 до 12 часов, и затем магнитное поле Земли возвращается в первоначальное состояние.

В моменты всплеска солнечной активности с поверхности Солнца выбрасываются мощные потоки заряженных частиц. Поскольку любой движущийся заряд создаёт магнитное поле, то магнитное поле этих потоков частиц изменяет магнитное

поле вблизи поверхности Земли, что и является причиной магнитных бурь.

Потоки заряженных частиц от Солнца, взаимодействуя с магнитным полем Земли, нарушают его симметрию. Оно намного дальше распространяется в пространстве с той стороны планеты, которая обращена от Солнца.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Ряд планет Солнечной системы имеют собственные магнитные поля, или, как говорят, собственные магнитосферы. Правда, наши ближайшие соседи — Луна, Венера и Марс — не имеют магнитных полей, подобных земному. Существует и такое понятие, как магнитосфера Солнца. Силовые линии магнитного поля Солнца представляют собой своеобразные спирали, закрученные вращением Солнца вокруг своей оси. Протяжённость магнитосферы Солнца весьма значительна — она охватывает практически всю Солнечную систему.



! Наша планета является большим магнитом. Магнитные полюсы Земли не совпадают с её географическими полюсами.

ВЫВОД

Магнитное поле Земли; компас; магнитные полюсы Земли; магнитная аномалия; магнитная буря

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Где расположены магнитные полюсы Земли?
2. Что такое области магнитных аномалий?
3. Чем объясняется появление магнитных бурь?
4. Является ли следующее высказывание истинным: «Тела притягиваются к Земле, потому что Земля представляет собой большой магнит»? Ответ поясните.
5. Существуют ли на Земле места, где северный конец магнитной стрелки показывает на географический юг, а южный конец магнитной стрелки показывает на географический север? Ответ поясните.

§ 74 ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОВОДНИК С ТОКОМ. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

НОВОЕ В УРОКЕ

- Как магнитное поле действует на проводник с током.
- Как магнитное поле действует на рамку с током.
- Что такое сила Ампера и как определить её направление.
- Как устроены электродвигатели.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

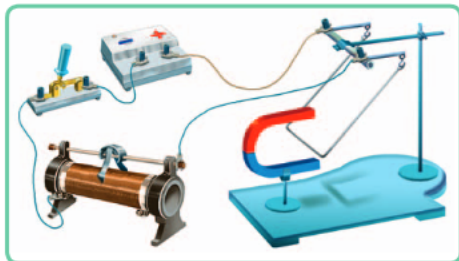
- Как проводник с током действует на магнитную стрелку?
- Что такое постоянные магниты?

Опыт Эрстеда показал, что вокруг проводника с током создаётся магнитное поле, которое вызывает отклонение магнитной стрелки.

Можно наблюдать и обратное явление, когда поле магнита действует на проводник с током. Это явление лежит в основе принципа работы широко используемых в технике электродвигателей.

СИЛА АМПЕРА. Рассмотрим подробнее действие магнитного поля на проводник с током. Проведём опыт.

ИССЛЕДОВАНИЕ



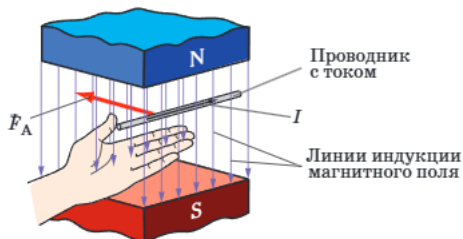
Проводник, подключённый к источнику тока, подвесим на тонких проводах. При замыкании цепи проводник двигаться не будет. Но если его поместить между полюсами магнита, то проводник отклонится от своего первоначального положения. Направление движения проводника зависит от направления тока в нём и расположения полюсов магнита.

Проведённый опыт показывает, что магнитное поле действует с некоторой силой на любой проводник с током, находящийся в этом поле. Эта сила называется **силой Ампера**, по имени учёного, который впервые обнаружил действие магнитного поля на проводник с током.

Как мы видели из опыта, направление силы Ампера зависит от направления тока в проводнике и от направления линий магнитного поля.

ВАЖНО

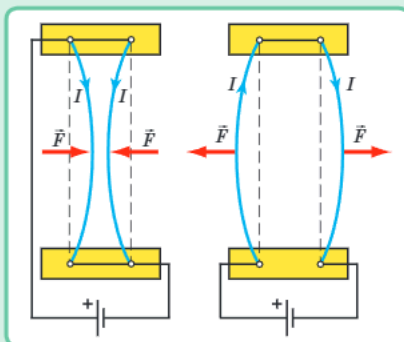
Направление силы Ампера можно определить с помощью **правила левой руки**: если левую руку расположить так, чтобы линии магнитного поля входили в ладонь перпендикулярно к ней, а четыре пальца были направлены по току, то отставленный на 90° большой палец покажет направление действующей на проводник силы.



Опыт показывает, что если проводник с током ориентирован вдоль силовых линий магнитного поля, то сила Ампера на него не действует.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

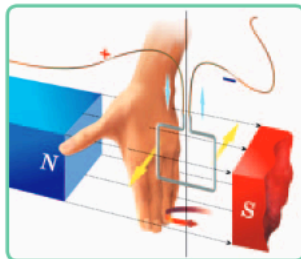
В 1820 г. А.-М. Ампер установил, что два гибких проводника, расположенные параллельно друг другу, испытывают взаимное притяжение, если через них пропустить электрический ток в одном направлении. При противоположных направлениях токов проводники взаимно отталкиваются. Это объясняется тем, что вокруг первого проводника с током возникает магнитное поле, которое действует с силой Ампера на второй проводник. Магнитное поле, возникающее вокруг второго проводника с током, в свою очередь, действует с силой Ампера на первый проводник. Если в каком-либо из проводников ток отсутствует, проводники друг на друга не действуют.



ВРАЩЕНИЕ РАМКИ С ТОКОМ. В некоторых технических устройствах используется вращение проводящей рамки с током в магнитном поле.

ИССЛЕДОВАНИЕ

Вместо проволоки подключим к источнику тока лёгкую проволочную рамку прямоугольной формы. Поместив слева и справа от неё магниты, замкнём цепь и увидим, что рамка повернётся. Если изменить направление тока, то рамка повернётся в другую сторону. При этом в состоянии равновесия плоскость рамки будет ориентирована перпендикулярно силовым линиям магнитного поля.



Используя правило левой руки, вращение рамки с током можно объяснить тем, что на правую и на левую сторону рамки действуют силы Ампера, направленные в противоположные стороны. Под действием этих сил и происходит вращение рамки.

Магнитное поле оказывает вращающее действие на рамку с током.

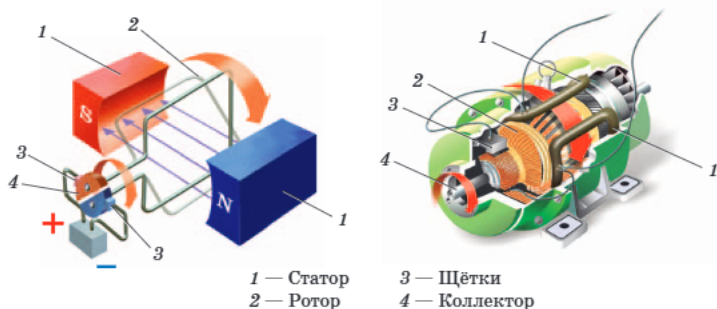
Свойство рамки с током вращаться в магнитном поле используется в *электроизмерительных приборах*, таких как вольтметр и амперметр.

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА. Вращение рамки с током в магнитном поле используется также и в электрических двигателях.

Электрический двигатель — это устройство, преобразующее электрическую энергию в механическую работу. Основными частями электродвигателя являются *статор* и *ротор*.

Статор (от лат. *stator* — неподвижный) представляет собой корпус цилиндрической формы, на котором укреплены обмотки, надётые на стальные сердечники. Когда по обмоткам идёт постоянный ток, внутри корпуса возникает магнитное поле.

Ротор (от лат. *roto* — вращающийся), или *якорь* двигателя, представляет собой совокупность большого числа рамок, по которым пропускают постоянный ток. Магнитное поле статора действует на рамки, и якорь приходит во вращение.



1 — Статор 3 — Щётки
2 — Ротор 4 — Коллектор

Чтобы якорь вращался непрерывно, на оси ротора закрепляют *коллекторные пластины*, которые изменяют направление тока в витках якоря.

Один из первых электродвигателей построил русский учёный, академик Б. С. Якоби в 1834 г. С тех пор электродвигатели получили самое широкое распространение в технике, быту и на транспорте.

ЭТО ИНТЕРЕСНО



Борис Семёнович Якоби
(1801—1874)

Первый электродвигатель Якоби состоял из четырёх электромагнитов, установленных на неподвижной раме — статоре, и четырёх электромагнитов на вращающемся роторе. Его действие было основано на притяжении и отталкивании электромагнитов статора и ротора. Электродвигатель мог поднимать груз массой 4—5 кг на высоту примерно 30 см в секунду, что составляло мощность около 15 Вт. Двигатель Якоби был самым совершенным электротехническим устройством того времени. В 1838 г. Якоби усовершенствовал свой

двигатель, установил его на гребном судне и совершил небольшое плавание по Неве. Скорость судна достигала 4,5 км/ч. В качестве источника тока Якоби использовал мощную батарею гальванических элементов.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ. Электродвигатели по праву могут считаться одним из величайших изобретений всех времён. Они нашли применение в самых разных областях нашей жизни. Например, электродвигатели присутствуют во всех электробытовых приборах от кофемолок и фенов до стиральных и посудомоечных машин, в электроинструментах, электротранспорте, промышленных станках и других устройствах.

В отличие от тепловых двигателей электрические двигатели не выделяют в процессе работы вредных газов, дыма и пара и, следовательно, не загрязняют окружающую среду городов. КПД электрических двигателей существенно превышает КПД тепловых механизмов. Поэтому в последнее время становится всё больше и больше видов транспорта, работающего на электрической энергии. Электродвигатели приводят в движение электровозы, троллейбусы, поезда метро, электромобили, беспилотные летательные аппараты и т. д. На смену автобусам и троллейбусам уже приходят электробусы. Инженеры разрабатывают модели электрических самолётов, которые могут поступить в эксплуатацию в ближайшем будущем.

Современные электродвигатели нашли своё применение в гибридных автомобилях, в которых используются два источника энергии, например нефтепродукты и электричество. В системе гибридных автомобилей бензиновый двигатель работает совместно с электродвигателем, что обеспечивает экономию топлива во время поездки и снижение вредных выбросов в окружающую среду. Обычно электродвигатель включается при разгоне автомобиля, при движении в гору или при обгоне, когда нужна дополнительная мощность.

! Силой Ампера называется сила, с которой магнитное поле действует на любой проводник с током, находящийся в этом поле.

! Электрический двигатель — это устройство, преобразующее электрическую энергию в механическую работу. Основными частями электродвигателя являются статор и ротор.

Сила Ампера; правило левой руки; рамка с током в магнитном поле; электродвигатель

1. В чём проявляется действие магнитного поля на проводник с током?
2. Какая сила называется силой Ампера?
3. Что такое электрический двигатель?
4. Может ли КПД электродвигателя быть больше или равным 100 %?

ВЫВОДЫ

КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВАИ ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ

§ 75 ИНДУКЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

НОВОЕ В УРОКЕ

- От каких физических величин зависит сила, действующая на проводник с током, помещённый в магнитное поле.
- Что такое индукция магнитного поля.
- В каких единицах измеряется магнитная индукция.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что является источником магнитного поля?
- Как графически изображается магнитное поле?
- Что такое сила Ампера?
- Как формулируется правило левой руки?

Вы уже познакомились с понятием магнитного поля и магнитными явлениями. В частности, вы знаете, что на проводник с током, помещённый в магнитное поле, действует сила Ампера. Продолжим рассмотрение магнитных явлений уже на количественном уровне.

ИНДУКЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ. Вам уже известно, что магнитная стрелка, расположенная рядом с постоянным магнитом или проводником с током, устанавливается в определённом положении. Рамка с током, помещённая между полюсами подковообразного магнита, принимает ориентированное положение, при котором линии магнитного поля перпендикулярны плоскости рамки.

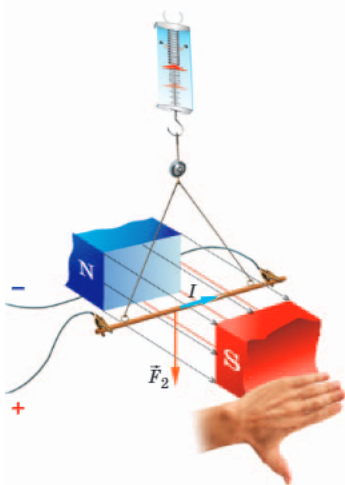
В физике величины, которые характеризуются не только численным значением, но и направлением, называют **векторными**. Поэтому величина, характеризующая магнитное поле, должна быть векторной. Эту величину называют **индукцией магнитного поля** или **магнитной индукцией** и обозначают буквой \vec{B} .

МОДУЛЬ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ.

Поясним смысл этой величины и укажем способ её измерения. Для этого проведём опыт по измерению силы, которая действует на проводник с током, помещённый между полюсами подковообразного магнита перпендикулярно его магнитным линиям.

Если по проводнику не идёт электрический ток, то динамометр показывает силу F_1 . Она численно равна модулю силы тяжести, действующей на проводник.

Пропустим по проводнику ток такого направления, чтобы на него подействовала магнитная сила (сила Ампера), направленная вертикально вниз. Направление тока выбираем в соответствии с *правилом левой руки*: линии магнитного поля должны входить в ладонь перпендикулярно к ней, а отставленный на 90° большой палец должен быть направлен вер-



тикально вниз. При этом четыре сомкнутых пальца покажут направление тока в проводнике.

Если показания динамометра при наличии тока в проводнике обозначить F_2 , то значение силы Ампера, действующей на проводник, равно разности показаний:

$$F = F_2 - F_1.$$

Данный опыт можно повторить, изменяя (увеличивая или уменьшая) длину проводника при неизменной силе тока. Согласно этим опытам **сила Ампера оказывается пропорциональной длине проводника l** .

Если теперь при неизменной длине проводника изменять силу тока в нём, то можно прийти к заключению, что **сила Ампера пропорциональна силе тока I в проводнике**.

Опыт также показывает, что **сила Ампера зависит от ориентации проводника в магнитном поле**, достигая своего максимального значения в случае, когда проводник расположен перпендикулярно линиям поля.

Однако отношение модуля силы Ампера F к длине проводника l и силе тока I , т. е. к произведению Il , не зависит ни от длины проводника, ни от силы тока в нём. Следовательно, отношение F/Il зависит только от свойств магнитного поля и может служить его количественной характеристикой. Эту характеристику поля называют **модулем магнитной индукции B** :

$$\text{Индукция} = \frac{\text{Сила Ампера}}{\text{Сила тока} \times \text{Длина проводника}}, \text{ или } B = \frac{F}{Il}.$$

ВАЖНО

Модулем магнитной индукции называется величина, равная отношению силы, действующей на расположенный перпендикулярно магнитным линиям проводник с током, к произведению силы тока в нём на длину проводника:

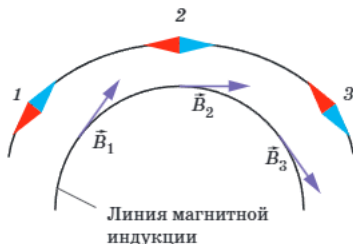
$$B = \frac{F}{Il}.$$

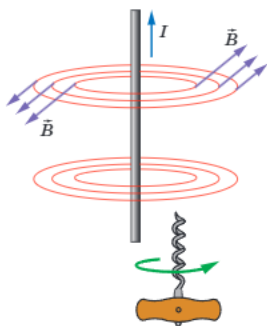
НАПРАВЛЕНИЕ ЛИНИЙ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ. Напомним, что за *направление магнитной линии* принимают направление, которое указывает северный полюс магнитной стрелки. За *направление вектора магнитной индукции* принимается направление от южного полюса S к северному полюсу N свободно устанавливающейся магнитной стрелки, помещённой в данную точку поля.

Используя понятие вектора магнитной индукции, магнитные линии называют также *линиями магнитной индукции*.

ВАЖНО

Линиями магнитной индукции называются линии, касательные к которым в каждой точке поля направлены так же, как и вектор магнитной индукции.





Например, картина линий магнитной индукции поля, образованного прямолинейным проводником с током, представляет собой систему концентрических окружностей, лежащих в плоскости, перпендикулярной этому проводнику. Центр этих окружностей находится на оси проводника. В рассматриваемом случае направление вектора индукции в конкретной точке пространства определяется правилом буравчика.

Линии магнитной индукции условились проводить так, чтобы по их густоте можно было судить о модуле магнитной индукции: чем гуще линии магнитной индукции, тем больше её модуль.

ЕДИНИЦЫ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ. В СИ за единицу магнитной индукции принята индукция такого магнитного поля, в котором на каждый метр длины проводника при силе тока 1 А действует максимальная сила, равная 1 Н. Эта единица называется *тесла* (Тл) в честь выдающегося сербского физика Никола Теслы:

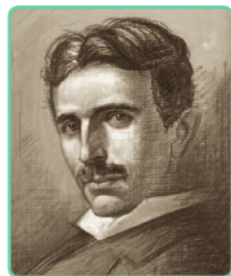
$$1 \text{ Тл} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}.$$

На практике используются также более мелкие единицы индукции — *миллитесла* и *микротесла*: $1 \text{ мТл} = 0,001 \text{ Тл}$, $1 \text{ мкТл} = 0,000001 \text{ Тл}$.

СИЛА АМПЕРА. Используя определение индукции магнитного поля, можно получить выражение для силы Ампера, которая будет действовать на прямолинейный проводник с током, расположенный перпендикулярно линиям магнитной индукции:

$$F_A = IBl.$$

При этом предполагается, что на всей протяжённости проводника индукция магнитного поля одна и та же.



Никола Тесла
(1856—1943)

Выводы

- ! Векторная физическая величина, характеризующая магнитное поле, называется индукцией магнитного поля.
- ! Модулем магнитной индукции называют величину, равную отношению силы, действующей на расположенный перпендикулярно магнитным линиям проводник с током, к произведению силы тока в нём на длину проводника.

Ключевые слова

Индукция магнитного поля; направление вектора магнитной индукции

Вопросы и задания

1. От каких физических величин зависит сила, действующая на проводник с током в магнитном поле?
2. Как определяется модуль и направление вектора магнитной индукции?
3. Что принимают за единицу магнитной индукции в СИ?
4. Можно ли определить индукцию магнитного поля в случае, когда проводник с током расположен параллельно силовым линиям поля?

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ТЕХНИКЕ § 76

НОВОЕ В УРОКЕ

В 1820 г. Х. К. Эрстед наблюдал отклонение магнитной стрелки вблизи проводника с током и тем самым обнаружил связь между магнитными и электрическими явлениями. Это открытие послужило толчком для изобретения различных электромагнитных устройств.

- Что такое телеграфная связь.
- Кто изобрёл телеграф.
- Как работают электроизмерительные приборы.
- Что такое магнитная запись информации.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Каким образом ток действует на магнитную стрелку?

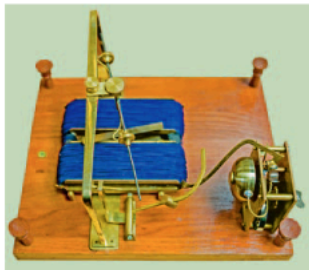
ТЕЛЕГРАФ. Телеграфной связью называют передачу на расстояние буквенно-цифровых сообщений (телеграмм). Слово «телеграф» в переводе с греческого означает «пишу далеко».

Первый электромагнитный телеграф создал в 1832 г. русский учёный Павел Львович Шиллинг. Телеграфный аппарат включал в себя передатчик и приёмник, соединённые между собой проводами. Передатчик состоял из восьми пар белых и чёрных клавиш. На приёмнике располагалось 6 катушек с подвешенными на нитях магнитными стрелками, к которым были прикреплены сигнальные кружки. Одна сторона кружков была чёрной, а другая — белой. При нажатии на клавишу передатчика в цепи возникал электрический ток того или иного направления, который вызывал отклонение соответствующей магнитной стрелки в приёмнике. В зависимости от направления тока кружок на магнитной стрелке поворачивался к телеграфисту белой или чёрной стороной или находился в нейтральном положении, если соответствующая клавиша не была нажата. Для передачи цифр и букв русского алфавита нажимались одна, две, три или четыре клавиши одновременно. Шиллинг разработал свой код, где каждой букве или цифре соответствовали различные сочетания белых и чёрных кружков. Телеграфист, получив сигнал в виде повернувшихся к нему кружков, с помощью кода Шиллинга мог записать переданную ему букву. Скорость передачи сигнала с помощью телеграфа Шиллинга составляла 10 знаков в минуту.

По сути, код Шиллинга является первым в мире двоичным кодом. Таким образом, Шиллинг заложил основы кодирования информации, благодаря чему сегодня работает всё компьютерное оборудование.



Павел Львович Шиллинг
(1786—1837)



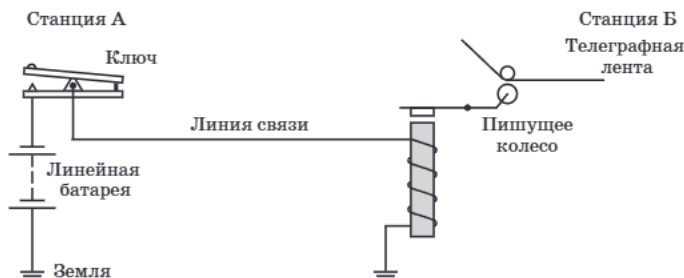
Электромагнитный телеграф



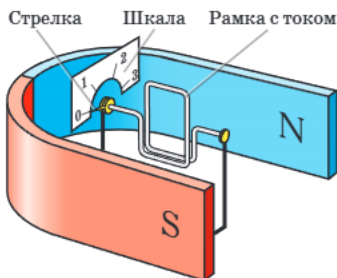
Сэмюэл Морзе
(1791—1872)

ТЕЛЕГРАФ МОРЗЕ. Спустя 5 лет американский изобретатель Сэмюэл Морзе сконструировал телеграф, получивший в дальнейшем широкое применение. Телеграф Морзе, так же как и телеграф Шиллинга, состоял из передатчика и приёмника сигналов, соединённых длинным проводом. Передатчик представлял собой батарею и ключ, который служил для замыкания и прерывания тока в цепи. Приёмник включал в себя электромагнит, пишущее колёсико и механизм, перемещающий телеграфную ленту. Морзе предложил способ кодирования букв алфавита, цифр и других символов при помощи длинных и коротких электрических сигналов, так называемых тире и точек (азбука Морзе). Нажатием на ключ передатчика по цепи передавались длинные и короткие электрические сигналы, которые приводили в действие электромагнит. Электромагнит

притягивал к себе железную пластинку (якорь), с которой связывалось пишущее колёсико. Колёсико, смоченное чёрной краской, прижималось к движущейся бумажной ленте, и на ней оставался след в виде точек или тире.



Изобретение электрического телеграфа произвело настоящую революцию в области средств связи и передачи информации. Однако у телеграфа было множество недостатков. Для передачи сообщений необходимо было знать определённый код. Скорость передачи информации всё ещё оставалась не очень высокой. Кроме того, передать сообщение можно было только на специальных телеграфных станциях. Последующее развитие технологий и появление современных средств связи, таких как телефон и интернет, привели постепенно к вытеснению телеграфных устройств.



ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ. Широкое применение магнитов и электромагнитов нашло в таких технических устройствах, как электроизмерительные приборы (например, амперметры и вольтметры). В электроизмерительных приборах *магнитоэлектрической* системы используется действие магнитного поля на проводник с током. При этом измеряемый ток протекает по виткам рамки, помещённой в магнитное поле постоянного магнита. Сама рамка

укреплена на оси, к которой прикреплена стрелка прибора. Ток к виткам рамки подводится через специальные спиральные пружины, момент сил упругости которых уравнивает момент сил Ампера, действующих со стороны магнитного поля на рамку с током. Увеличение силы тока в цепи приводит к увеличению момента силы Ампера и, соответственно, к увеличению угла поворота рамки и стрелки прибора. При уменьшении силы тока или его выключении момент упругих сил со стороны пружинок возвращает рамку в исходное положение. Шкала приборов электромагнитной системы равномерная.

Существуют также и другие разновидности электроизмерительных приборов. Например, в приборах *электромагнитной* системы измеряемый ток пропускается по виткам неподвижной катушки. Катушка при этом становится электромагнитом и воздействует на подвижную часть прибора посредством втягивания стального стержня, что и вызывает поворот стрелки.



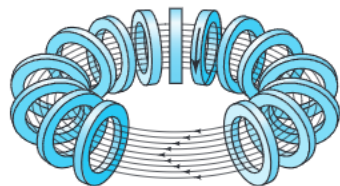
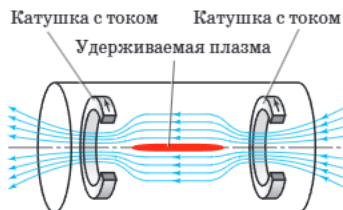
МАГНИТНАЯ ЗАПИСЬ И ХРАНЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ. Магнитная запись информации является одним из наиболее распространённых способов сохранения и последующего воспроизведения звука и изображения. Этот способ основан на свойстве специального магнитного материала (он называется *ферромагнетиком*) длительное время сохранять намагниченность после снятия внешнего магнитного поля. Эта технология оказалась особенно востребованной в связи с созданием и совершенствованием электронно-вычислительных машин во второй половине XX в. При этом информация на магнитных носителях записывалась в так называемом двоичном коде (0 и 1), где «единица» соответствует состоянию намагниченности участка, а «ноль» — ненамагниченности. В первых моделях персональных компьютеров для записи информации использовались пластиковые диски, которые покрывались слоем материала, обладающего магнитной «памятью».

Определённым недостатком хранения информации на магнитных лентах и дисках является сравнительно низкая плотность информации. Существенный прогресс в этой области был достигнут в начале XXI в., когда для хранения информации стали использоваться жёсткие диски. В основе новой технологии, позволив-



шей значительно увеличить плотность сохраняемой информации, лежит создание так называемых «сэндвичей», состоящих из двух слоёв ферромагнитного материала, разделённых тончайшей (порядка нескольких нанометров) прослойкой немагнитного материала.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК. Огромные электромагниты используют в современных экспериментальных физических установках, например в *Большом адронном коллайдере* (БАК) в ЦЕРНе, крупнейшем в России ускорительном комплексе в Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт», ускорительном комплексе NICA в Объединённом институте ядерных исследований (ОИЯИ) в Дубне. Магнитное поле, создаваемое катушками с током, размеры которых сравнимы с многоэтажным домом, помогает управлять движением заряженных частиц и изучать их свойства.



Сильные магнитные поля используются для длительного удержания плазмы — ионизованного газа, состоящего из заряженных частиц (ионов и электронов). Вещество в виде плазмы находится в так называемой *магнитной ловушке* и ни с чем не соприкасается. Такие магнитные ловушки устанавливаются на современных экспериментальных физических установках типа *токамак*, предназначенных для ядерных реакций, происходящих при экстремально высоких температурах. Название «токамак» происходит от первых букв слов «тороидальная камера с магнитными катушками». Температура плазмы в установке достигает нескольких миллионов градусов. Никакой материал не может выдержать такую температуру. Поэтому для изоляции горячей плазмы используется магнитное поле.

Вывод

! Действие электрического тока на магнитную стрелку послужило толчком для изобретения различных электромагнитных устройств.

Ключевые слова

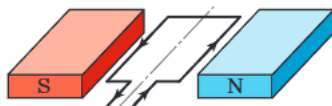
Телеграфная связь; телеграф Шиллинга; телеграф Морзе; азбука Морзе; электроизмерительные приборы; магнитная запись информации

Вопросы и задания

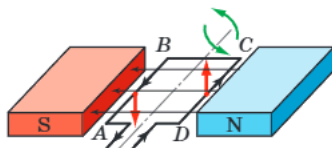
1. Опишите принцип действия телеграфа Шиллинга.
2. Опишите принцип действия телеграфа Морзе.
3. Приведите примеры использования магнитных полей в технических устройствах.
4. Известна ли вам какая-либо информация о практическом создании прототипа термоядерной установки (термоядерного реактора) на основе токамака?

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ § 77

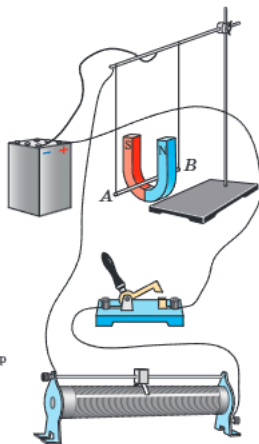
- ЗАДАЧА 1. Лёгкая проводящая рамка расположена между полюсами подковообразного магнита. Как будет двигаться рамка, если по ней пропустить электрический ток в направлении, указанном на рисунке?



Решение. Силовые линии магнитного поля постоянного магнита направлены от северного полюса к южному. На стороны AB и CD рамки будет действовать сила Ампера, направление которой определяется по правилу левой руки. Найдём направление силы Ампера, действующей на сторону AB . Разместим левую ладонь по направлению тока так, чтобы линии магнитного поля входили в ладонь. Тогда большой палец покажет направление вниз — это и будет направление силы Ампера. Направление силы Ампера, действующей на сторону CD рамки, находим аналогично. Она будет направлена вверх. На стороны AD и BC сила Ампера действовать не будет, так как направление тока в них совпадает с направлением силовых линий. Таким образом, рамка в магнитном поле повернётся против часовой стрелки на 90° .



- ЗАДАЧА 2. Медный проводник длиной 5 см и массой 2 г подвешен горизонтально на двух тонких медных проволочках и помещён между полюсами подковообразного магнита. При пропускании через проводник электрического тока натяжение вертикальных проволочек уменьшилось в 2 раза при силе тока 2 А. Определите индукцию магнитного поля постоянного магнита.

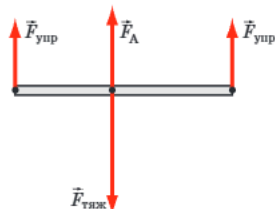


Дано:
 $l = 5 \text{ см}$
 $I = 2 \text{ А}$
 $m = 2 \text{ г}$
 $F_{\text{упр}2} = 0,5F_{\text{упр}1}$

$B = ?$

СИ
 $0,05 \text{ м}$
 $0,002 \text{ кг}$

Решение.



На проводник в магнитном поле действует сила Ампера. По правилу левой руки сила Ампера F_A в данном случае направлена вверх, что уменьшает натяжение проволочек.

В случае, когда ток по проводнику не идёт, проводник находится в равновесии:

$$2F_{\text{упр}} = F_{\text{упр}1} = F_{\text{тяж}} = mg.$$

В случае, когда ток по проводнику идёт,

$$2F_{\text{упр}} + F_A = F_{\text{упр}2} + F_A = mg.$$

Получаем: $0,5mg + F_A = mg$.

Сила Ампера $F_A = BIl$. Следовательно, $BIl = 0,5mg$.

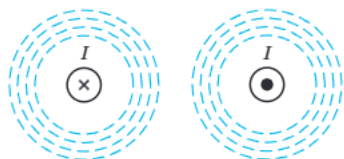
$$\text{Отсюда } B = \frac{0,5mg}{Il},$$

$$B = \frac{0,5 \cdot 0,002 \text{ кг} \cdot 10 \text{ м/с}^2}{2\text{А} \cdot 0,05 \text{ м}} = 0,1 \text{ Тл}.$$

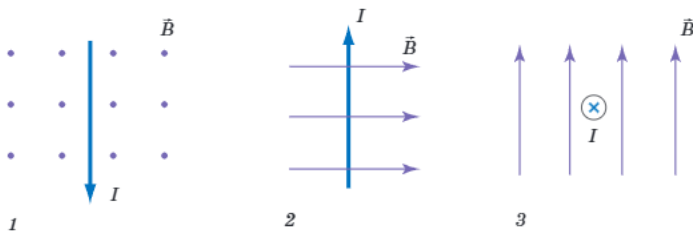
Ответ: 0,1 Тл.

Задачи для самостоятельного решения

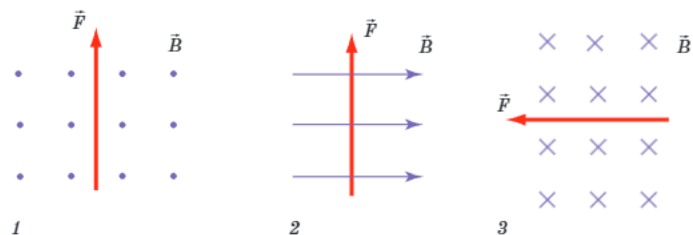
- 1 Определите направление линий магнитной индукции вокруг проводников с током, изображённых на рисунке. Какие положения займут маленькие магнитные стрелки вблизи проводников с током?



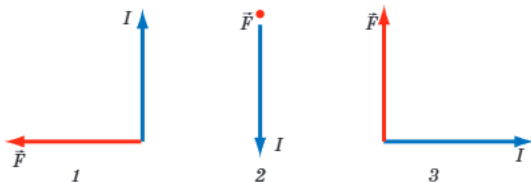
- 2 Как взаимодействуют два проводника, расположенные параллельно друг другу, если пропустить по ним электрический ток в одном направлении? в противоположных направлениях? Для ответа на вопрос определите направления сил Ампера, действующих на проводники в каждом случае. Ответ поясните рисунком.
- 3 Определите направление силы Ампера, действующей на проводники с током в случаях, показанных на рисунках.



- 4 Определите направление тока в проводниках, расположенных в магнитном поле, если на них действует сила Ампера в направлении, показанном на рисунках.



- 5 Как расположены полюсы постоянных магнитов, между которыми находится проводник с током в случаях, показанных на рисунках?



- 6 Кабель, сила тока в котором 2 А, поместили в магнитное поле с индукцией 1,5 мТл. Определите длину кабеля, если со стороны магнитного поля на него действует сила 5 мН. Кабель расположен перпендикулярно линиям магнитной индукции.
- 7 Определите значение силы тока в проводнике, если на него со стороны магнитного поля с индукцией 1 мкТл действует сила 36 мкН. Длина проводника составляет 1,2 м. Проводник расположен перпендикулярно линиям магнитной индукции.
- 8 Какой заряд прошёл через поперечное сечение проводника за 3 мин, если на этот проводник со стороны магнитного поля действовала постоянная на протяжении указанного промежутка времени сила 2 Н? Длина проводника 50 см. Проводник расположен перпендикулярно линиям магнитной индукции. Индукция магнитного поля составляет 400 мТл.
- 9 Определите сопротивление проводника длиной 80 см, по которому идёт ток, если на проводник, помещённый в магнитное поле с индукцией 700 мТл, со стороны этого поля действует сила 0,5 Н. Напряжение на концах проводника 100 В. Проводник расположен перпендикулярно линиям магнитной индукции.

§ 78 ЛАБОРАТОРНЫЕ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

Лабораторная работа № 11

Изучение принципа работы электродвигателя (на модели)

Цель работы

Познакомиться с моделью электродвигателя постоянного тока и его основными деталями; изучить принцип его работы.

Оборудование и материалы

Источник электрического тока, модель электродвигателя, реостат, ключ, соединительные провода.

Ход работы

- Рассмотрите основные детали модели электродвигателя.
- Соберите электрическую цепь, состоящую из источника электрического тока, модели электродвигателя и ключа, соединив их последовательно.
- Замкните цепь и наблюдайте за работой электродвигателя.
- Пронаблюдайте, как изменяется работа электродвигателя, если, переключив провода, изменить направление тока в цепи. Сделайте вывод.
- Пронаблюдайте, как изменяется работа электродвигателя, если с помощью реостата изменять силу тока в цепи. Сделайте вывод.

Практические работы-исследования

Изучаем магнитное поле

ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПОДКОВООБРАЗНОГО МАГНИТА

Существующие методы изучения магнитных полей весьма разнообразны. Эти методы во многом зависят от свойств самого магнитного поля, его конфигурации, величины индукции, характеристик окружающих тел, влияющих на точность измерений, и т. п. В арсенале современных учёных и инженеров имеются специальные приборы (тесламетры), которые позволяют измерять индукцию магнитных полей определённых конфигураций. Вместе с тем на базе оборудования обычного кабинета физики можно осуществить опыты, позволяющие в ряде случаев получать оценки индукции магнитного поля.

Цель работы

Получить оценку индукции магнитного поля между полюсами подковообразного магнита из условия равновесия проводника с током.

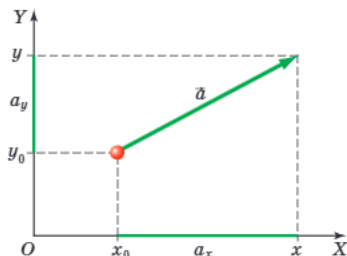
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СПРАВКА. При решении многих физических задач используют физические величины, которые являются векторными. При этом очень часто бывает необходимым использовать понятие *проекции вектора* на определённые направления (координатные оси). Для получения проекций вектора \vec{a} нужно из

начала и конца вектора опустить перпендикуляры на соответствующие координатные оси.

Получившиеся отрезки a_x и a_y и будут проекциями вектора \vec{a} на оси OX и OY :

$$a_x = x - x_0; \quad a_y = y - y_0.$$

Если $x > x_0$, то $a_x > 0$; если $x < x_0$, то знак проекции отрицательный, $a_x < 0$. Аналогично и для проекции вектора на ось OY .

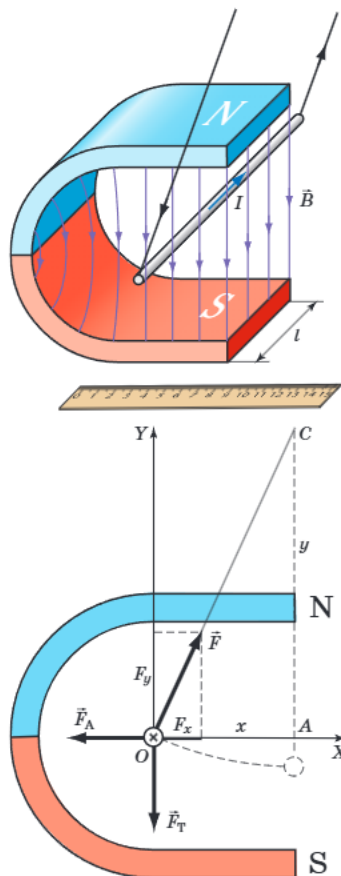


ПОМОЩНИК

В качестве оборудования можно использовать следующие приборы и материалы: источник регулируемого напряжения, подковообразный магнит, амперметр, алюминиевый или медный проводник длиной 5—10 см, медная проволока диаметром 0,3—0,5 мм и длиной порядка 1—1,5 м, лабораторный штатив с лапками, коммутационная плата, ключ, деревянная или пластиковая линейка, электронные весы.

Ход работы

- С помощью весов определите массу проводника.
- С помощью штатива подвесьте проводник на тонких медных проволочках примерно посередине между полюсами магнита (вблизи его торцов).
- Составьте электрическую цепь, включающую последовательно соединённые источник, амперметр, проводник, соединительные провода, коммутационную плату и ключ.
- Замкнув цепь, установите такое напряжение источника, чтобы проводник втянулся в область поля между полюсами магнита.
- Зафиксируйте значение силы тока в цепи.
- С помощью линейки измерьте длину отрезка $OA = x$ — смещение проводника в область поля между полюсами магнита. Измерьте также длину отрезка $AC = y$ — расстояние от точек подвеса проводника до горизонтальной оси.
- Измерьте ширину l подковообразного магнита, принимая во внимание, что она равна длине части проводника, находящейся в магнитном поле между полюсами магнита.
- Учитывая, что на проводник с током, кроме силы тяжести \vec{F}_T и силы Ампера \vec{F}_A , действуют также две силы \vec{F} натяжения медных проволочек, запишем условия его равновесия в проекциях на координатные оси OX и OY (с учётом знаков проекций сил):



на OX : $2F_x - F_A = 0$.

на OY : $2F_y - F_T = 0$.

Из условий равновесия получаем равенство $\frac{F_x}{F_y} = \frac{F_A}{F_T}$.

Из подобия треугольника, образованного проекциями F_x и F_y силы натяжения \vec{F} , и треугольника OAC следует:

$$\frac{F_x}{F_y} = \frac{OA}{AC} = \frac{x}{y}, \quad \frac{F_A}{F_T} = \frac{x}{y}. \quad (1)$$

Учитывая, что $F_A = IBl$, где l — длина части проводника, находящейся в магнитном поле, $F_T = mg$, из формулы (1) получим

$$IBl = mg \frac{x}{y}, \quad B = \frac{mgx}{Il y}. \quad (2)$$

- Результаты всех измерений и вычислений по формуле (2) запишите в таблицу, начертив её в своей тетради.

m , кг	I , А	l , м	x , м	y , м	B , Тл

- Сделайте выводы.

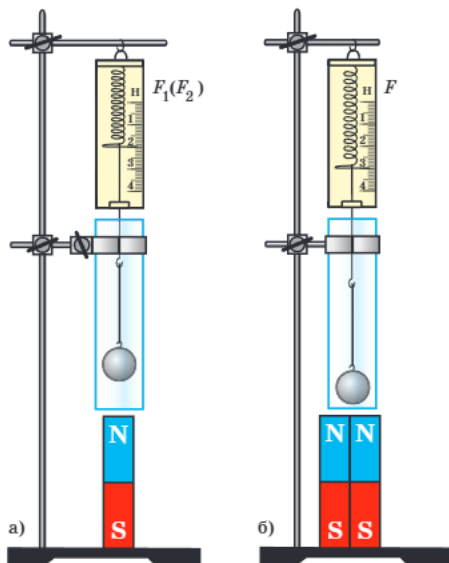
ЭТА СТРАННАЯ МАГНИТНАЯ СИЛА

Ученики 8 инженерного класса Петя и Саша на уроках физики ознакомились с информацией учителя о магнитах и свойствах магнитного поля. Одним из таких важных свойств является тот факт, что силовые линии магнитного поля оказываются замкнутыми. Это свидетельствует о том, что магнитное поле в отличие от поля электростатического не является *центральной*. Как пояснил учитель, нецентральный характер магнитного поля означает, что сила, действующая со стороны магнита на тело или проводник с током, не направлена вдоль линии, соединяющей полюс магнита с отдельными участками этого тела или проводника. Другими словами, полюс магнита нельзя рассматривать как некий центр локализации магнитной силы. Эту особенность магнитного поля, сказал учитель, можно попытаться проверить опытным путём. Например, изучив взаимодействие постоянного магнита и тела, изготовленного из материала, способного намагничиваться (железо, сталь, никель и т. п.). Поэтому учитель предложил Пете и Саше продумать соответствующий эксперимент.

Проведите и вы все необходимые измерения.

Этапы выполнения работы

- В качестве оборудования нам потребуются два тонких полосовых или цилиндрических магнита, динамометр Бакушинского, стеклянная трубка диаметром 1—1,5 см и длиной 20—25 см, железный или стальной шарик, диаметр которого чуть меньше диаметра трубки, нить, штатив.
- С помощью штатива закрепите трубку в вертикальном положении.
- Закреплённый на нити шарик поместите внутрь трубки так, чтобы шарик находился вблизи её нижнего конца. Другой конец нити прикрепите к крючку динамометра. Динамометр также закрепите в лапке штатива.



- Зафиксируйте начальное положение стрелки динамометра (вес шарика).
- Поднесите один из магнитов к нижнему концу трубки таким образом, чтобы магнит, шарик и нить были на одной вертикали.
- Измерьте силу F_1 воздействия магнита на шарик.
- Аналогичным образом измерьте силу F_2 воздействия второго магнита на шарик.
- Соедините оба магнита одноимёнными полюсами и удерживайте их у нижнего конца трубки, соблюдая линию вертикали.
- С помощью динамометра измерьте силу F воздействия двух магнитов на шарик.
- Результаты измерений занесите в таблицу в своей тетради.

№ опыта	F_1 , Н	F_2 , Н	F , Н	$F_{\text{расч.}}$, Н

- Проверьте, выполняется ли в данных опытах закон сложения сил, т. е. выполняется ли равенство $F = F_1 + F_2$.
- Если наблюдается значимое различие между силами F и $F_{\text{расч.}} = F_1 + F_2$, то различие необходимо объяснить.
- По результатам измерений сделайте выводы.

Примечание. Для проведения опытов можно использовать магниты, получаемые на основе химического элемента неодима (Nd). Особенно удобны магниты, составляемые из отдельных небольших магнитиков, например из дисков. Это позволяет изменять магнитную силу каждого магнита.

ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Вокруг движущихся электрических зарядов существует и электрическое, и магнитное поле.
- Линии, вдоль которых в магнитном поле располагаются оси маленьких магнитных стрелок, называются линиями магнитного поля.
- Магнитное поле можно усилить, если провод, по которому идёт ток, свернуть в форме винтовой спирали. Катушка с намотанным на цилиндрическую поверхность изолированным проводником, по которому идёт электрический ток, называется соленоидом.
- Катушка с железным сердечником внутри называется электромагнитом.
- Те места магнита, которые оказывают наиболее сильное магнитное действие, называются полюсами магнита.
- Разноимённые магнитные полюсы притягиваются, одноимённые — отталкиваются.
- Наша планета является большим магнитом. Магнитные полюсы Земли не совпадают с её географическими полюсами.
- Силой Ампера называется сила, с которой магнитное поле действует на любой проводник с током, находящийся в этом поле.
- Электрический двигатель — это устройство, преобразующее электрическую энергию в механическую работу. Основными частями электродвигателя являются статор и ротор.
- Векторная физическая величина, характеризующая магнитное поле, называется индукцией магнитного поля.
- Модулем магнитной индукции называется величина, равная отношению силы, действующей на расположенный перпендикулярно магнитным линиям проводник с током, к произведению силы тока в нём на длину проводника.

Вопросы для обсуждения

- ❓ Как можно обнаружить провод с током, если он находится под землёй или зацементирован в полу? Считайте, что используемые вами приборы обладают нужной чувствительностью.
- ❓ Почему ход стрелок часов был нарушен после того, как часы поднесли к сильному магниту?
- ❓ Как узнать, намагничены или нет лезвия ножниц?
- ❓ Изменится ли направление вращения рамки с током, помещённой в магнитное поле, если изменить направление тока в рамке?

Темы исследовательских и проектных работ

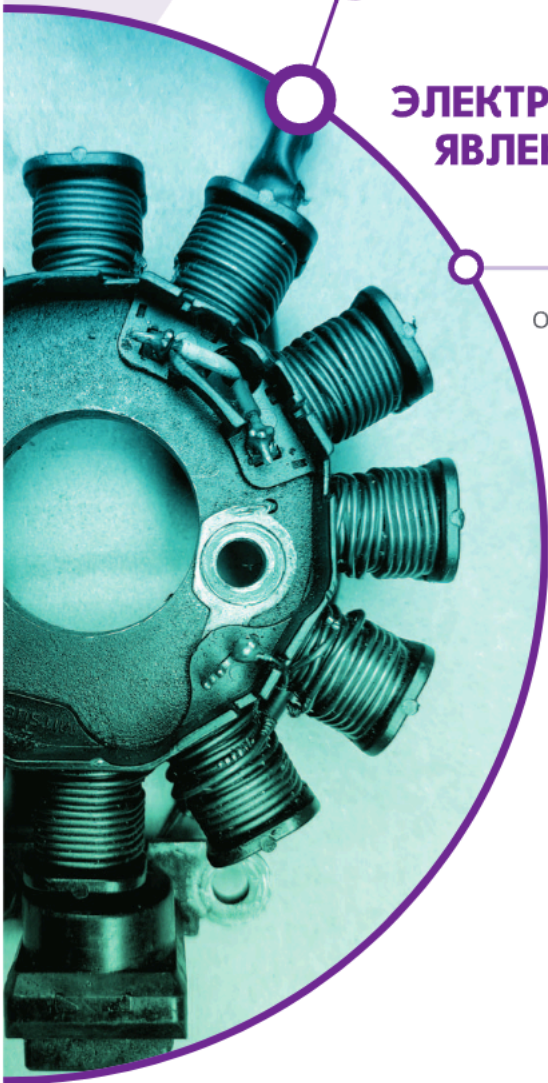
- Где используются соленоиды.
- Использование электромагнитов в промышленности.
- История телеграфа.
- История компаса.
- Магнитное поле Земли. Смена магнитных полюсов.
- Полярные сияния.
- Магнитное поле на других планетах.
- Магнитные бури: их происхождение и влияние на здоровье человека.

Глава 8

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Обратить магнетизм в электричество...

М. Фарадей



§ 79 ОДНОРОДНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. МАГНИТНЫЙ ПОТОК

НОВОЕ В УРОКЕ

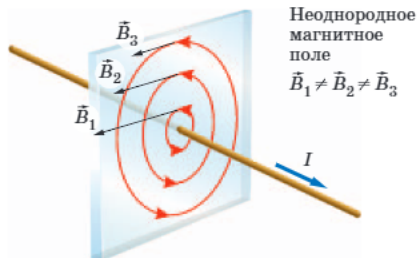
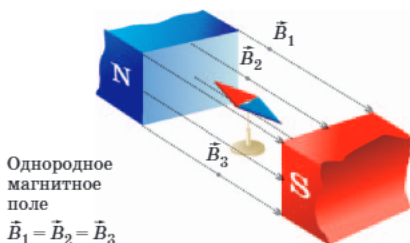
- Что такое однородное магнитное поле.
- Что такое магнитный поток.
- В каких единицах измеряется магнитный поток.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое магнитная индукция?
- Как направлен вектор магнитной индукции?
- Что такое линии магнитной индукции?
- Как связаны густота магнитных линий и модуль магнитной индукции?

На прошлом уроке вы познакомились с силовой характеристикой магнитного поля, которая называется магнитной индукцией. Однако это не единственная количественная характеристика магнитного поля. Но прежде чем перейти к рассмотрению другой не менее важной характеристики магнитного поля, остановимся на вопросе о том, что такое однородное и неоднородное магнитное поле.

ОДНОРОДНОЕ И НЕОДНОРОДНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. Рассмотрим магнитное поле между близко расположенными разноимёнными полюсами двух полосовых магнитов. Магнитные линии здесь расположены параллельно друг другу. Так как во всех точках такого поля вектор магнитной индукции \vec{B} не только одинаково направлен, но и имеет одно и то же значение, значит, и густота линий магнитной индукции в любой области поля между полюсами будет одна и та же.



Магнитное поле называется **однородным**, если во всех его точках магнитная индукция \vec{B} одинакова как по направлению, так и по значению. В противном случае магнитное поле называется **неоднородным**.

Примерами неоднородного магнитного поля могут служить: поле тока, идущего по прямолинейному проводнику; магнитное поле вокруг катушки с током; магнитное поле полосового магнита. В этом нетрудно убедиться с помощью магнитных стрелок, установленных вблизи источника магнитного поля. По характеру ориентации стрелок можно качественно судить о степени неоднородности поля в конкретном случае.

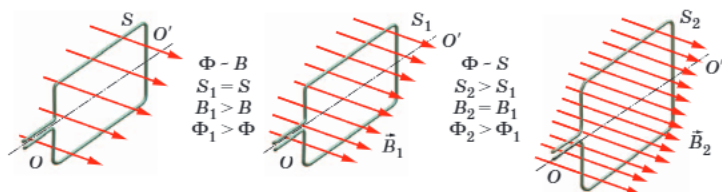
МАГНИТНЫЙ ПОТОК. Ещё одной характеристикой магнитного поля является физическая величина, зависящая от числа линий магнитной индукции, пронизывающих единичный участок некоторой поверхности. Эту величину называют потоком вектора магнитной индукции или магнитным потоком и обозначают буквой Φ .

Понятие магнитного потока можно рассмотреть на примере однородного магнитного поля, в каждой точке которого индукция одинакова, а линии индукции параллельны друг другу.

Рассмотрим фигуру площадью S , образованную прямоугольной рамкой. Наглядно поток магнитной индукции можно рассматривать как величину, пропорциональную числу магнитных линий, проходящих через рамку. Поскольку число магнитных линий зависит от их густоты, то

магнитный поток пропорционален модулю вектора индукции магнитного поля: $\Phi \sim B$.

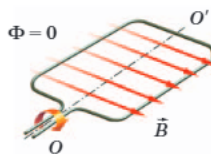
Чем больше индукция, тем больший магнитный поток Φ_1 пронизывает контур площадью S .



Вместе с тем магнитный поток зависит и от площади контура: при одном и том же значении магнитной индукции магнитный поток Φ_2 , пронизывающий контур большей площади, будет больше. Следовательно,

магнитный поток пропорционален площади контура: $\Phi \sim S$.

В случаях, когда линии магнитной индукции перпендикулярны плоскости контура, магнитный поток принимает наибольшее значение. Однако при изменении ориентации контура в магнитном поле, например при вращении вокруг оси OO' , магнитный поток будет уменьшаться. В том случае, когда плоскость контура окажется параллельной линиям магнитной индукции, магнитный поток станет равным нулю.



ВАЖНО

Магнитный поток, пронизывающий контур, пропорционален модулю вектора индукции магнитного поля, площади контура и зависит от ориентации контура в магнитном поле.

ЕДИНИЦЫ МАГНИТНОГО ПОТОКА. В Международной системе единиц (СИ) за единицу магнитного потока принят *вебер* (Вб), названный в честь немецкого физика Вильгельма Вебера, основные работы которого посвящены электромагнетизму.

1 Вб — это магнитный поток через поверхность площадью 1 м^2 , расположенную в однородном магнитном поле с индукцией 1 Тл перпендикулярно линиям индукции:

$$1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot 1 \text{ м}^2 = 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2.$$



Вильгельм Эдуард Вебер
(1804—1891)

§79 Однородное магнитное поле. Магнитный поток

На практике часто используется и меньшая единица магнитного потока — *милливебер*:

$$1 \text{ мВб} = 0,001 \text{ Вб.}$$



Как специалисты узнают о характеристиках магнитного поля? Для этого используют специальные приборы — *магнитометры* и *флюксометры*, которые могут измерять магнитную индукцию, магнитный поток и другие параметры.

Слабые и средние магнитные поля (с магнитной индукцией до 4 Тл) получают с помощью постоянных магнитов и электромагнитов и используют в радиоэлектронике, электротехнике и электроэнергетике. Сильные магнитные поля (с магнитной индукцией 20—30 Тл) применяют на экспериментальных физических установках, в том числе в ускорителях заряженных частиц.

Флюксометры используются с XIX в. для изучения свойств магнитного поля Земли. С помощью этих приборов была измерена индукция магнитного поля Земли у поверхности: около 0,05 мТл.

ВЫВОДЫ

- ! Физическая величина, характеризующая магнитное поле в пределах некоторой поверхности, пронизываемой линиями этого магнитного поля, называется магнитным потоком.
- ! Магнитный поток, пронизывающий контур, пропорционален модулю вектора индукции магнитного поля, площади контура и зависит от ориентации контура в магнитном поле.

КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА

Индукция магнитного поля; магнитный поток

И ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ

1. Что такое однородное и неоднородное магнитное поле?
2. Что такое поток вектора магнитной индукции?
3. От каких величин зависит магнитный поток?
4. В каких единицах измеряется магнитный поток?

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ § 80

НОВОЕ В УРОКЕ

Первая половина XIX столетия ознаменовалась двумя выдающимися открытиями. В 1820 г. Х. К. Эрстед обнаружил совершенно новое явление: при прохождении электрического тока по проводнику вокруг него образуется магнитное поле. А примерно через десятилетие английский физик Майкл Фарадей открыл ещё одно важное свойство магнетизма, позволившее глубже понять взаимосвязь электрических и магнитных явлений.

- Что такое электромагнитная индукция.
- От каких факторов зависит возникновение электромагнитной индукции.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое магнитный поток?
- Какие факторы влияют на изменение магнитного потока?

ОПЫТЫ ФАРАДЕЯ. М. Фарадей ясно осознавал значение открытия Х. Эрстеда: обнаружен факт порождения электрическим полем поля магнитного. Но у обоих полей один и тот же источник — электрические заряды. Поэтому М. Фарадей был глубоко убеждён в единой природе электрических и магнитных явлений.

«Превратить магнетизм в электричество» — таков девиз записал в 1822 г. М. Фарадей в своём рабочем дневнике.

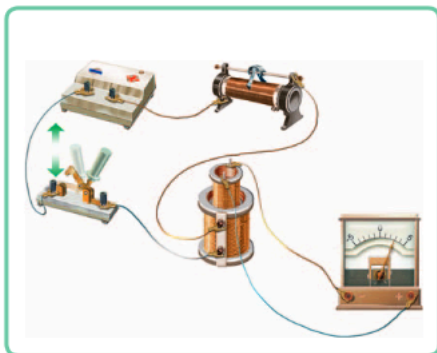
Прделаем опыт, который повторяет один из опытов Фарадея, выполненных им в 1831 г.

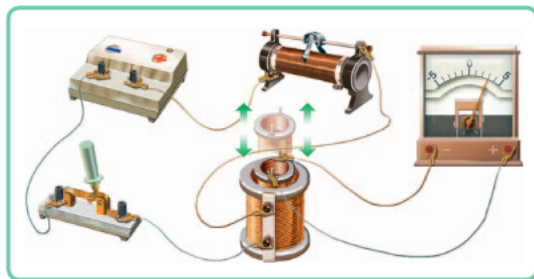


Майкл Фарадей
(1791—1867)

ИССЛЕДОВАНИЕ

Соберём электрическую цепь, состоящую из источника тока, чувствительного гальванометра, реостата, двух катушек и ключа. Подключим первую катушку к источнику тока, а вторую катушку расположим так, чтобы часть её входила внутрь первой катушки. Соединив выводы второй катушки с гальванометром, замкнём ключ. В момент замыкания ключа стрелка гальванометра отклоняется на несколько делений, а затем возвращается в исходное положение. Это говорит о том, что в течение короткого времени по виткам второй





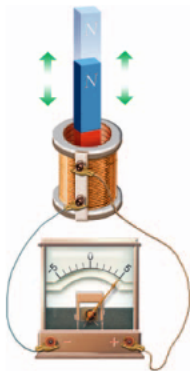
катушки проходит электрический ток. Аналогичное явление наблюдается и при размыкании ключа, только в этом случае стрелка гальванометра отклоняется в противоположную сторону, что свидетельствует об изменении направления тока в катушке.

Прделаем другой опыт Фарадея, используя то же самое оборудование. Только на этот раз ключ оставим в замкнутом положении, а катушку, соединённую с гальванометром, будем перемещать относительно первой катушки, подключённой к источнику. В процессе перемещения катушки в её цепи возникает ток.

Как установил учёный, неважно, какая из катушек перемещается: можно перемещать катушку, соединённую с источником, оставляя вторую катушку неподвижной. Результат будет тот же самый — в цепи катушки, соединённой с гальванометром, появляется ток.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

М. Фарадей первым в 1830-х гг. ввёл понятие поля, в 1845 г. употребил термин «магнитное поле», а в 1852 г. сформулировал свою концепцию поля. Все основные работы по электричеству и магнетизму Фарадей представлял Королевскому обществу в виде серий докладов на протяжении 24 лет под названием «Экспериментальные исследования по электричеству». Он писал: «...надежда получить электричество при помощи обыкновенного магнетизма в разные времена побуждала меня экспериментально изучить индуктивное действие электрических токов».

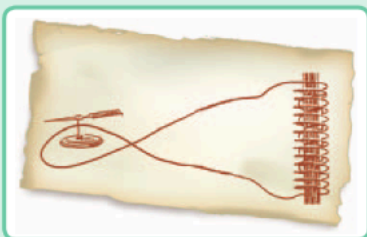


ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ. Как объяснить описанный выше опыт? Может быть, определяющую роль здесь играет наличие источника тока? Для проверки этого предположения видоизменим опыт. Соберём цепь, состоящую только из катушки и гальванометра. Если теперь внутрь катушки вводить полосовой магнит, то стрелка гальванометра будет отклоняться, указывая на возникновение **индукционного** (от лат. *inductor* — возбудитель), т. е. наведённого, тока в цепи катушки. Аналогично, индукционный ток возникает, когда магнит вынимают из катушки. Когда магнит находится в покое относительно катушки, ток не возникает.

«Ток возникает лишь при движении магнита относительно провода, а не в силу свойств, присущих ему в покое», — записал Фарадей в свой научный дневник.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

В дневнике М. Фарадея записана дата открытия явления электромагнитной индукции — 29 августа 1831 г. Интересно, что почти в одно и то же время с Фарадеем эксперименты по получению электрического тока с помощью магнита проводил швейцарский физик Жан-Даниэль Колладон. Для этого он использовал гальванометр с лёгкой магнитной стрелкой. Магнит вдвигался в катушку, в которой Колладон надеялся получить ток. Чтобы магнит не оказывал влияния на стрелку, концы катушки были выведены в соседнюю комнату и там присоединены к гальванометру. Вдвигнув магнит в катушку, Колладон шёл в эту комнату и видел, что гальванометр показывает нуль. Если бы он всё время наблюдал за гальванометром, а магнитом занимался бы кто-то другой, замечательное открытие было бы сделано Колладоном. Но этого не случилось.



Практически в это же время американский физик Дж. Генри, много лет занимавшийся исследованием электромагнитных явлений и ничего не знавший о работах М. Фарадея, написал другу о своих экспериментах, «касающихся тождественности электричества и магнетизма».

Неизвестно, по какой причине Дж. Генри прекратил начатые в сентябре эксперименты и продолжил их лишь девять месяцев спустя. Однако точно установлено, что электромагнитную индукцию Дж. Генри открыл в промежутке между 14 и 28 июня 1832 г. Если бы Генри не прервал свои эксперименты, он разделил бы славу этого открытия с М. Фарадеем.

Хотя приведённые выше опыты внешне выглядят различно, М. Фарадей уловил нечто общее, от чего зависит возникновение индукционного тока:

в замкнутом проводящем контуре индукционный ток возникает тогда, когда изменяется число линий магнитной индукции, пронизывающих поверхность, ограниченную этим контуром.

Поскольку число линий индукции определяет магнитный поток, то при всяком изменении магнитного потока, пронизывающего замкнутый проводящий контур, в этом контуре возникает электрический ток, существующий в течение всего времени изменения магнитного потока.

ВАЖНО

Явление возникновения электрического тока в замкнутом проводящем контуре при изменении магнитного потока, пронизывающего этот контур, называется **электромагнитной индукцией**.

Здесь мы сформулировали сущность явления электромагнитной индукции на качественном уровне. С количественной формулировкой закона электромагнитной индукции вы познакомитесь при дальнейшем изучении физики в старших классах.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ. Открытие явления электромагнитной индукции привело к бурному развитию электротехники и электроники. В настоящее время явление электромагнитной индукции широко используется в нашей жизни. Например, трансформаторы, необходимые для передачи электроэнергии на большие расстояния, могут повышать или понижать напряжение электрического тока. В индукционных печах и плитах создается магнитное поле, которое порождает индукционный ток в металлической посуде, который, в свою очередь, вызывает её нагревание. Кроме этого, электромагнитная индукция используется в устройствах для производства электрической энергии — в генераторах электрического тока.

На обратной стороне кредитных карт находится чёрная полоса, представляющая собой тонкий слой магнитного материала. Запись и чтение информации о кредитной карте происходит с помощью явления электромагнитной индукции.



Вы знаете, что вокруг Земли существует магнитное поле. Его силовые линии окружают нашу планету и простираются в космос на десятки тысяч километров.

Индукция магнитного поля Земли мала — всего около 50 мкТл. Однако магнитное поле Земли также может индуцировать электрический ток в замкнутых проводниках (хотя сила индуцированного тока будет чрезвычайно мала).

Рассмотрим искусственный спутник с металлической поверхностью, который движется по круговой орбите над Землёй. Если орбита находится в плоскости экватора, то магнитный поток, проходящий через спутник, не меняется, и индукционный ток не возникает. Но если спутник движется по орбите, которая не совпадает с плоскостью экватора, то значение магнитного потока будет изменяться, следовательно, в проводящей поверхности спутника возникнут индукционные токи. В некоторых случаях они могут приводить к нарушениям в работе электронного оборудования на спутнике. Аналогичные явления могут возникать и в движущемся транспорте (например, поездах, самолётах) — в зависимости от направления движения в проводниках возникает индукционный ток.

Вывод

! Явление электромагнитной индукции состоит в следующем: при всяком изменении магнитного потока, пронизывающего замкнутый проводящий контур, в этом контуре возникает электрический ток, существующий в течение всего времени изменения магнитного потока.

Ключевые слова

Электромагнитная индукция

Вопросы и задания

1. При каких условиях в замкнутом проводнике возникает индукционный ток?
2. Какое явление называют электромагнитной индукцией?
3. Возникнет ли индукционный ток в круговом витке, находящемся в однородном магнитном поле, если: 1) перемещать виток поступательно вдоль линий магнитного поля; 2) вращать виток вокруг оси, проходящей через центр, перпендикулярно плоскости витка; 3) вращать виток вокруг оси, лежащей в плоскости витка?

ПРАВИЛО ЛЕНЦА § 81

НОВОЕ В УРОКЕ

На предыдущем уроке вы познакомились с явлением электромагнитной индукции. Для дальнейшего изучения электромагнетизма нам потребуется обсудить ещё одну особенность этого явления.

- В чём заключается правило Ленца.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое магнитный поток?
- Что такое электромагнитная индукция?

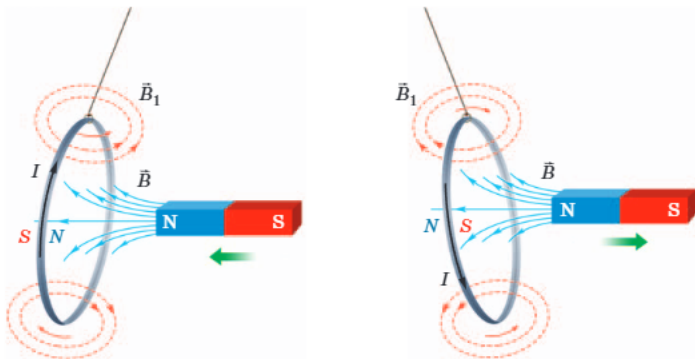
ПРАВИЛО ЛЕНЦА. На важную качественную сторону явления электромагнитной индукции обратил внимание российский физик Э. Х. Ленц, которого интересовал вопрос о направлении индукционного тока в замкнутом проводящем контуре.



Эмилий Христианович Ленц
(1804—1865)

ИССЛЕДОВАНИЕ

Проведём опыт, позволяющий установить взаимосвязь между направлением индукционного тока и характером изменения магнитного потока через площадку, охватываемую кольцевым проводником. Подвесим на длинной тонкой нити лёгкое алюминиевое кольцо и будем приближать к нему полосовой магнит, пытаясь пронести его через центр кольца. Опыт показывает, что кольцо будет отталкиваться от магнита.



Это означает, что индукционный ток в кольце имеет такое направление, что порождённое им магнитное поле направлено противоположно полю магнита. Например, если приближать магнит к плоскости кольца северным полюсом (N), то с этой стороны кольца будет образован тоже северный полюс, а с противоположной —

южный. Именно по этой причине и происходит взаимное отталкивание кольца и магнита.

Иная картина наблюдается в случае, если магнит удалять из центра кольца. Как показывает опыт, на этот раз кольцо следует за магнитом, притягиваясь к нему. Это говорит о том, что направление индукционного тока в кольце изменилось на противоположное и на ближайшей к магниту стороне кольца образовался южный магнитный полюс.

Как известно, направление линий магнитной индукции определяет направление и знак магнитного потока. Поэтому результаты рассмотренных выше опытов позволяют утверждать:

Если внешний магнитный поток, пронизывающий контур замкнутого проводника, увеличивается, то магнитный поток, порождённый индукционным током, должен быть направлен навстречу внешнему магнитному потоку.

Если же внешний магнитный поток уменьшается, то магнитный поток, порождённый индукционным током, будет совпадать по знаку и направлению с внешним магнитным потоком.

При этом, в соответствии с правилом правого буравчика, направление индукционного тока в кольце должно совпадать с направлением вращения ручки буравчика, при котором направление поступательного движения самого буравчика будет совпадать с направлением магнитного потока, порождённого индукционным током.

ВАЖНО ⚠

Правило Ленца. Индукционный ток в замкнутом проводнике имеет такое направление, что созданный им магнитный поток всегда препятствует изменению внешнего магнитного потока, которое и порождает этот ток.

Вывод

⚠ **Правило Ленца:** индукционный ток в замкнутом проводнике имеет такое направление, что созданный им магнитный поток всегда препятствует изменению внешнего магнитного потока, которое и порождает этот ток.

Ключевые слова

Правило Ленца

и вопросы задания

1. Как формулируется правило Ленца?
2. Изменится ли характер взаимодействия кольца с магнитом, если магнит приближать к кольцу южным полюсом?
3. В описанном в параграфе опыте сплошное алюминиевое кольцо заменили на кольцо с узкой прорезью. Как себя поведёт кольцо, если к его плоскости приближать полосовой магнит?

ГЕНЕРАТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА § 82

НОВОЕ В УРОКЕ

На явлении электромагнитной индукции основана работа **генераторов постоянного тока** — устройств, вырабатывающих электрическую энергию. Генераторы постоянного тока, у которых магнитное поле создаётся электромагнитами, обычно называют **динамо-машинами**.

- Что такое генератор постоянного тока.
- Из каких основных частей состоит генератор постоянного тока.
- Каков принцип работы генератора постоянного тока.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- В чём заключается явление электромагнитной индукции?
- Что такое магнитный поток?
- В чём заключается правило Ленца?

УСТРОЙСТВО ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА. Динамо-машина состоит из неподвижного *индуктора*, вращающегося *якоря (ротора)* и контактного устройства — *коллектора*.

Индуктор, создающий магнитное поле, в своей простейшей конструкции представляет собой двухполюсный электромагнит. Для уменьшения числа оборотов якоря используются многополюсные индукторы.

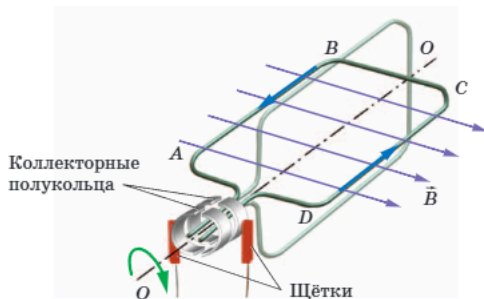
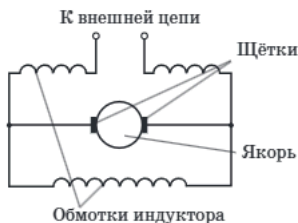
Якорем динамо-машины является вращающаяся обмотка. В современных динамо-машинах применяется якорь барабанного типа, состоящий из железного сердечника в форме цилиндра, в пазы которого вмонтированы секции обмотки. Питание электромагнитов индуктора производится током от обмотки якоря. При этом якорь генератора вращается при помощи какого-либо двигателя, например гидротурбины или двигателя внутреннего сгорания.

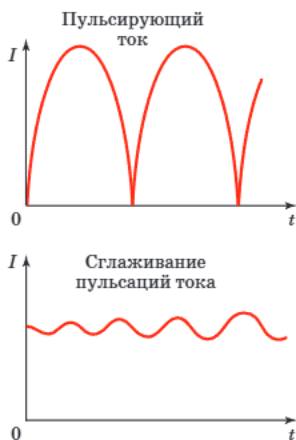
Коллектор динамо-машины состоит из отдельных изолированных пластин и предназначен для выпрямления пульсирующего тока. Он закреплён на одном валу с якорем и вращается вместе с ним.

ПРИНЦИП РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА.

Для уяснения принципа работы генератора рассмотрим вращение проводящей рамки во внешнем магнитном поле. При этом концы рамки с помощью скользящих полукольцев-коллекторов и щёток соединены с выводами внешней цепи.

При вращении рамки происходит изменение магнитного потока, пронизывающего контур рамки.





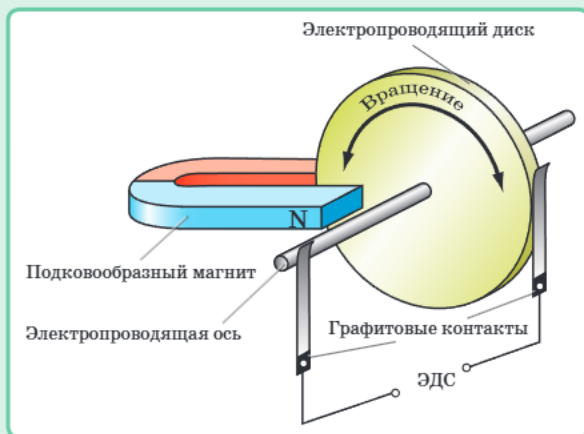
Благодаря явлению электромагнитной индукции в рамке возникает индукционный ток такого направления, что создаваемый им магнитный поток будет препятствовать всякому изменению внешнего магнитного потока.

Пусть вращение рамки началось из положения, при котором её плоскость пронизывает максимальный магнитный поток. При таком положении рамки сила тока в ней равна нулю. В процессе вращения рамки магнитный поток изменяется, при этом в рамке возникает индукционный ток. Причём, чем быстрее изменяется магнитный поток, тем больше значение силы индукционного тока, существующего в рамке. В соответствии с правилом Ленца направление тока в проводниках AB и CD будет таким, как указано на рисунке. При повороте рамки на 180° знак магнитного потока изменится на противоположный, в результате чего изменится на противоположное и направление тока в указанных проводниках. Но направление тока во внешней цепи при этом останется прежним.

Ток в генераторе получается пульсирующим. Для сглаживания пульсаций обмотка, состоящая из многих витков, формируется в виде отдельных секций.


ЭТО ИНТЕРЕСНО

После открытия явления электромагнитной индукции М. Фарадей в 1831 г. создал устройство для преобразования механической энергии в электрическую, названное впоследствии **диском Фарадея**. Это был один из первых генераторов постоянного тока. Он состоял из электропроводящего медного диска, вращающегося между полюсами постоянного магнита. В цепи, подключённой к диску, возникал огромный электрический ток при низком напряжении. Это преимущество диска Фарадея используется и в наше время в электромагнитных ускорителях заряженных частиц.




Устройство генератора постоянного тока очень похоже на устройство электродвигателя. В генераторе механическая энергия превращается в электрическую, а в электродвигателе, наоборот, электрическая энергия превращается в механическую. Если ротор электродвигателя привести во вращение, то электродвигатель может стать генератором и создавать электрический ток.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ. Генераторы постоянного тока очень надёжные и компактные, их КПД составляет порядка 85—95 %. Они нашли применение во многих отраслях промышленности, металлургии, на электротранспорте, для обеспечения освещения, электросвязи и т. д. Генераторы постоянного тока можно использовать для зарядки аккумуляторов.



В генераторе постоянного тока, как и в любом другом механизме или устройстве, происходят потери энергии. Часть энергии теряется из-за трения между различными частями генератора (в подшипниках, щётках и т. д.). Кроме того, в генераторе происходят потери энергии в виде тепла при прохождении электрического тока по обмоткам. Эти потери энергии связаны с сопротивлением катушек и силой тока в генераторе ($Q = I^2 R t$). Так как сердечник якоря является проводником, то при вращении в магнитном поле в нём также возникают электрические токи, которые называются *вихревыми*. Потери энергии на вихревые токи зависят от толщины материала якоря. Для уменьшения потерь якорь делают из тонких пластин, изолированных друг от друга.

 На явлении электромагнитной индукции основана работа генераторов постоянного тока.

ВЫВОД**Генератор постоянного тока****КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА**

1. Из каких основных частей состоит генератор постоянного тока?
2. На чём основан принцип работы генератора постоянного тока?
3. Почему необходимо сглаживать пульсации тока, получаемого с помощью генератора?

**И
ВОПРОСЫ
ЗАДАНИЯ**

§ 83 ПОЛУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

НОВОЕ В УРОКЕ

- Как энергия природного топлива и энергия гидроресурсов превращается в электрическую энергию.
- Какие альтернативные источники энергии существуют.

ПОВТОРИМ ИЗУЧЕННОЕ

- Что такое паровая турбина?
- Что такое генератор электрического тока?
- Что такое КПД теплового двигателя и от чего он зависит?

Согласно закону сохранения и превращения энергии, она никогда не исчезает и не возникает из ничего, она только переходит из одного вида в другой и от одного тела к другому. Люди издавна используют энергию огня, ветра и текущей воды. В настоящее время во всех сферах нашей жизни задействована электрическая энергия.

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ. В настоящее время электроэнергия производится в основном на **тепловых электростанциях (ТЭС)**. Топливом для них служат добываемые из недр Земли уголь, торф, газ, горючие сланцы, мазут — всё это так называемые *невозобновляемые источники энергии*. **Невозобновляемые** ресурсы — это ресурсы, запасы которых могут быть исчерпаны уже в обозримом будущем при существующих темпах их использования.

При сгорании топлива выделяется энергия, которая преобразуется, как правило, в энергию струи горячего водяного пара. Струя направляется на лопасти паровой турбины, приводя её во вращательное движение. Поскольку турбина и ротор генератора электрического тока имеют общую ось, то при вращении турбины механическая энергия струи пара превращается в энергию электрического тока, вырабатываемого генератором.



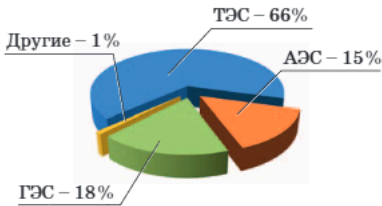
КПД современных ТЭС превышает 40 %, что достигается увеличением температуры пара свыше 500 °С и давления почти до 25 МПа.

Разновидностью ТЭС являются **теплоэлектроцентрали (ТЭЦ)**, в которых часть энергии отработанного пара используется для промышленных и бытовых нужд, в частности для отопления жилых домов и снабжения горячей водой. КПД теплоэлектроцентралей достигает 70 %.

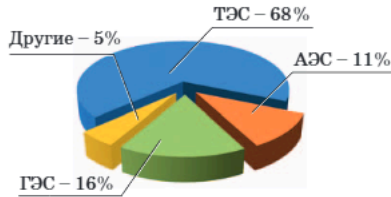
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ. Ограниченность невозобновляемых источников энергии, а также экологические проблемы, связанные с вредным влиянием продуктов сгорания на окружающую среду, вынуждают человечество искать новые источники энергии.

Возобновляемыми принято называть природные ресурсы, запасы которых на нашей планете не зависят от того, каким образом их использует человечество, или восстанавливаются быстрее, чем используются. *Возобновляемые источники энергии* — это ветер, солнечный свет, течение рек, морские волны и течения, тепло Земли. С их помощью человек получает энергию без выбросов углекислого газа, большие количества которого отрицательно влияют на климат нашей планеты.

Структура производства электроэнергии в России



Структура производства электроэнергии в мире



Особое место занимают ресурсы, связанные с *ядерной энергетикой*. На **атомных электростанциях (АЭС)** используется энергия, выделяющаяся в атомных реакторах при делении атомных ядер, как правило, ядер урана.

В России с 2020 г. работает плавучая атомная теплоэлектростанция (ПАТЭС) «Академик Ломоносов». В отличие от традиционных АЭС атомный реактор ПАТЭС установлен на плавучей платформе. Поэтому преимуществом такого типа электростанций является их мобильность: при необходимости платформу можно отбуксировать и передавать электроэнергию в отдалённые регионы.

«Академик Ломоносов» является самой северной АЭС в мире.

ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ. Энергию, сосредоточенную в водных потоках, называют **гидроэнергией**. Чаще всего используют энергию падающей воды.

В природе сравнительно редко встречаются большие водопады, вот почему уровень воды в реке поднимают искусственно при помощи плотин. За счёт энергии поднятой воды гидравлические двигатели (машины, преобразующие энергию потока жидкости в механическую энергию) могут совершать механическую работу.

Сооружения, служащие для преобразования энергии поднятой воды в электрическую, называются **гидроэлектростанциями (ГЭС)**.

Падающая с большой высоты вода направляется на лопасти гидротурбины, заставляя её вращаться. На современных гидроэлектростанциях работают сразу несколько турбин. Вращающиеся турбины приводят в действие электрогенератор, который преобразует энергию движения водного потока в электрическую энергию.



При этом мощность гидроэлектростанции зависит как от высоты плотины, создающей нужный напор воды, так и от массового прохода воды через гидротурбину. Мощность крупнейших в мире ГЭС составляет 10—20 ГВт.

Человечество пытается использовать также механическую энергию волн Мирового океана. Несмотря на схожую природу, энергию волн принято отличать от энергии приливов и океанских течений.

Приливные электростанции (ПЭС) — это вид гидроэлектростанций, на которых происходят преобразования энергии приливов в электрическую энергию. Приливные электростанции строят на берегах морей и океанов, где дважды в сутки изменяется уровень воды из-за гравитационного взаимодействия Земли и Луны

(в меньшей степени из-за взаимодействия Земли и Солнца). Колебания уровня воды у берега могут достигать 13—18 м.

В России с 1968 г. действует Кислогубская ПЭС на побережье Баренцева моря.



СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ. Солнце — главный источник тепла и света на нашей планете. Каждый квадратный метр земной поверхности получает от Солнца столько энергии, сколько дают сотни килограммов угля. Солнечная энергия, падающая на поверхность Земли, примерно в 10 000 раз больше той энергии, которую вырабатывают все электростанции нашей планеты.

Однако количество солнечной энергии, которое человек может использовать для своих нужд, зависит от времени года и времени суток, а также от географического положения.

Для прямого преобразования энергии солнечного излучения в электрическую используются *фотоэлементы*, или *солнечные батареи*. Большое количество модулей на основе фотоэлементов объединяются в **солнечные электростанции (СЭС)**.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Одна из проблем, связанных с работой солнечных электростанций, состоит в том, чтобы они вырабатывали энергию круглосуточно, а не только в солнечное время суток. Эту проблему удалось решить учёным и инженерам. В качестве теплоносителя, используемого в солнечных электростанциях, можно использовать расплавленную соль, которая под действием солнечных лучей нагревается до температуры 565 °С и эффективно сохраняет тепло. Таким образом, тепло, аккумулированное в ёмкостях с расплавленной солью, в ночное время суток используется для преобразования воды в пар, обеспечивая работу паровых турбин и генераторов для выработки электрической энергии.

ВЕТРЯНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ. Ветер, как и вода, является наиболее древним источником энергии. Устройства, которые обеспечивают преобразование энергии ветра в электрическую энергию, называются **ветроэлектрическими установками (ВЭУ)**, ветрогенераторами, ветряками. Несколько таких установок объединяются в **ветроэлектростанцию (ВЭС)**.



Основным элементом ВЭУ является *ветроколесо*. Движущиеся массы воздуха оказывают давление на лопасти колеса и приводят их в движение. Вращательное движение колеса с помощью ряда механических устройств передаётся на один из главных элементов ветроустановки — электрогенератор, который преобразует энергию вращения в электроэнергию.

Современные ВЭУ начинают вырабатывать энергию при скорости ветра от 1 м/с и выше. При скорости ветра 5 м/с ветряной двигатель с диаметром колеса 12 м может развить мощ-

ность 3300 Вт. Если же скорость ветра 10 м/с, а диаметр колеса 30 м, то развиваемая двигателем мощность составит 110 000 Вт.

Технический потенциал ветровой энергетики в России достаточно велик. Крупнейшие ВЭС расположены в Ставропольском крае, в Республике Калмыкии, в Ульяновской, Ростовской и Калининградской областях. Их общая мощность порядка 1 ГВт.

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ЭКОЛОГИЯ. Большая часть электроэнергии в настоящее время производится всё же на тепловых электростанциях. В связи с этим основные экологические проблемы при производства электроэнергии связаны со сжиганием топлива (их мы обсуждали в главе 3).

Преимуществом использования альтернативных источников энергии является отсутствие вредных выбросов в атмосферу. Но и здесь есть свои проблемы.

Установка плотины и сооружение ГЭС приводят к разрушению русла реки, затоплению огромных территорий, нарушению среды обитания различных растений и животных, проблемам с качеством воды. В некоторых случаях на территориях, прилегающих к ГЭС, может измениться климат.

При использовании солнечных электростанций одной из проблем является образование вредных химических соединений при производстве и утилизации фотоэлементов.

«Ветровые поля» с сотнями малых ветровых турбин занимают огромные площади, что является большой проблемой в условиях плотной застройки современных мегаполисов. Другой важный фактор, непосредственно влияющий на экологию, — высокий уровень шума, создаваемого ветрогенераторами. При этом сильные вибрации их несущих частей передаются в грунт и оказывают отрицательное воздействие на живые организмы. Кроме того, затраты на ветровые электростанции окупаются лишь тогда, когда в местах их размещения постоянно дует ветер и его скорость превышает 15 км/ч. Вдобавок через несколько лет генераторы начинают разрушаться, их надо ремонтировать или заменять на новые, а старые утилизировать.

Однако, несмотря на перечисленные проблемы, связанные с использованием электростанций на возобновляемых источниках энергии, альтернативная энергетика активно развивается в ряде стран мира.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ. Основным потребителем электроэнергии, несомненно, является промышленность. На её долю приходится свыше 70 % производимой электроэнергии. Огромное количество электродвигателей, потребляющих энергию электрического тока, приводят в действие станки и механизмы на фабриках и заводах. Электроэнергия также необходима для таких энергоёмких процессов, как электрический нагрев и плавление металлов, электролиз, электро-сварка и т. п.



Крупным потребителем электроэнергии является транспорт. Электродвигатели приводят в движение электровозы, троллейбусы, электробусы, поезда метро, электромобили и т. д.

Электрическая энергия также используется для освещения городов и сёл, для передачи информации (телефон, телевидение, компьютерные сети), для работы различных бытовых электроприборов, которые облегчают нашу жизнь, и для многого другого.

Потребление электрической энергии человечеством постоянно растёт. В связи с этим во всём мире стараются увеличивать мощность существующих электростанций или строить новые. Однако важно не забывать, что эффективное использование электроэнергии поможет сэкономить энергоресурсы и тем самым уменьшить вредное воздействие на окружающую среду.

ЭЛЕКТРОМОБИЛИ И ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ. Как известно, электромобили и гибридные автомобили позволяют снизить количество вредных выбросов в атмосферу. В электромобилях вместо двигателя внутреннего сгорания для привода колёс используется электродвигатель. В свою очередь, для питания электродвигателя необходима электроэнергия, которая поступает от аккумуляторов или топливных элементов.

В аккумуляторных электромобилях требуется постоянная подзарядка аккумуляторов. Даже самые мощные аккумуляторы не позволяют без подзарядки проехать такое же расстояние, как на одной заправке бензобака в автомобилях с ДВС.

Электромобили с *топливными элементами* позволяют существенно повысить запас хода автомобиля. В топливном элементе посредством химических реакций между топливом и окислителем химическая энергия преобразуется в электрическую. В качестве топлива обычно используется сжатый водород, а окислителем является кислород из воздуха. Таким образом, в окружающую среду выделяется вода и водяной пар. Топливные элементы используются не только в электромобилях, но и на других видах транспортных средств — автобусах, погрузчиках, мотоциклах, лодках и др.

ВЫВОД

! Электроэнергия производится на разных видах электростанций: ТЭС, АЭС, СЭС, ГЭС, ВЭУ — и используется во всех сферах нашей жизни.

КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА

Тепловая электростанция; атомная электростанция; гидроэлектростанция; солнечная электростанция; ветряная электростанция

ВОПРОСЫ
И ЗАДАНИЯ

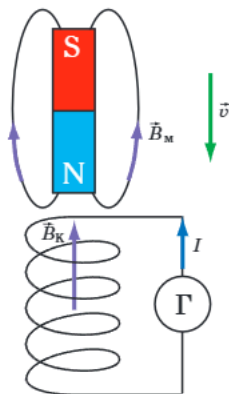
1. Какие виды электростанций производят сегодня основную долю электроэнергии?
2. Почему необходимо развивать альтернативные способы получения электрической энергии?
3. С чем могут быть связаны, по вашему мнению, ограничения на возможности использования альтернативных источников энергии?

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ § 84

- ЗАДАЧА 1. К замкнутой катушке подносят постоянный магнит так, как показано на рисунке. Будет ли в катушке возникать индукционный ток, и если будет, определите его направление.

Решение.

К катушке подносят магнит северным полюсом. Число линий магнитной индукции, которые пронизывают витки катушки, увеличивается, т. е. увеличивается магнитный поток. При изменении магнитного потока в катушке возникает индукционный ток. Его направление определяется по правилу Ленца, согласно которому индукционный ток должен иметь такое направление, чтобы линии вектора магнитной индукции B_k , создаваемые током в катушке, были направлены противоположно линиям магнитной индукции B_m , создаваемой магнитом. Линии магнитной индукции B_m выходят из северного полюса и направлены вниз. Поэтому линии индукции магнитного поля, порождаемого током в катушке, должны быть направлены вверх. Направление тока в катушке можно определить по правилу правой руки: если расположить руку так, чтобы большой палец был направлен по линиям магнитной индукции, то остальные пальцы покажут направление индукционного тока в катушке.



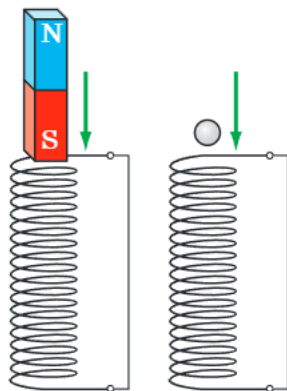
- ЗАДАЧА 2. Полосовой магнит в вертикальном положении и алюминиевый шарик падают одновременно с одной и той же высоты. При падении они проходят сквозь замкнутый соленоид. Сравните время падения магнита и шарика.

Решение.

При падении магнита будет изменяться магнитный поток, пронизывающий витки соленоидов, в результате чего в витках будет возникать индукционный ток такого направления, чтобы магнитное поле, порождённое этим током, в соответствии с правилом Ленца препятствовало изменению внешнего магнитного потока. Это приведёт к замедлению падения магнита, поскольку на него будет действовать тормозящая сила со стороны магнитного поля, порождённого индукционным током.

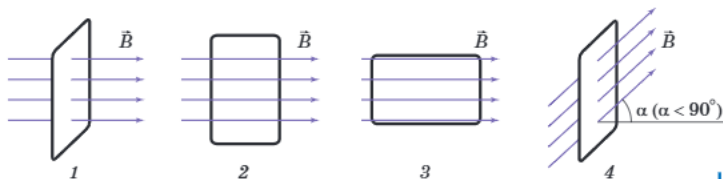
При падении алюминиевого шарика сквозь соленоид магнитный поток изменяться не будет, следовательно, алюминиевый шарик будет падать с ускорением свободного падения.

Ответ: время падения магнита больше времени падения алюминиевого шарика.

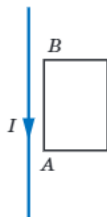


Задачи для самостоятельного решения

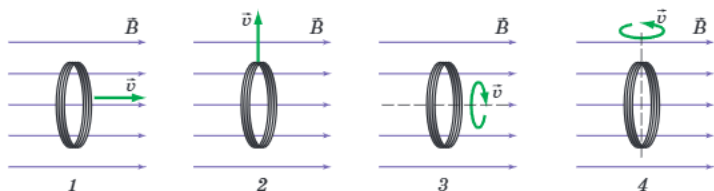
- 1 На рисунках изображено положение рамки в однородном магнитном поле. В каком случае магнитный поток через одну и ту же рамку будет наибольшим? наименьшим?



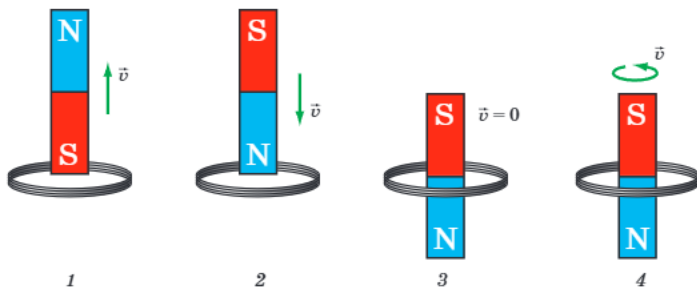
- 2 Что происходит с магнитным потоком, пронизывающим рамку, находящуюся вблизи проводника с током, если рамка: 1) движется в одной плоскости с проводником по направлению от него; 2) движется в одной плоскости с проводником по направлению вверх; 3) вращается относительно проводника; 4) вращается относительно стороны AB ?



- 3 Возникнет ли индукционный ток в проводящем круговом витке, находящемся в однородном магнитном поле, если: 1) перемещать виток поступательно вдоль линий магнитного поля; 2) перемещать виток поступательно перпендикулярно линиям магнитного поля; 3) вращать виток вокруг оси, проходящей через центр, перпендикулярно плоскости витка; 4) вращать виток вокруг оси, лежащей в плоскости витка?



- 4 Возникает ли индукционный ток в проводящем круговом витке в случаях, изображенных на рисунках? Если возникает, определите его направление.



ЛАБОРАТОРНЫЕ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ § 85

Лабораторная работа № 12

Изучение явления электромагнитной индукции

Цель работы

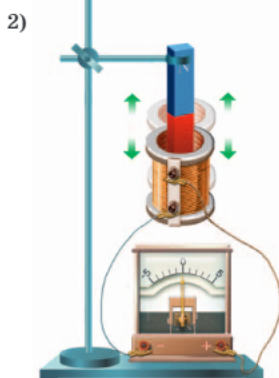
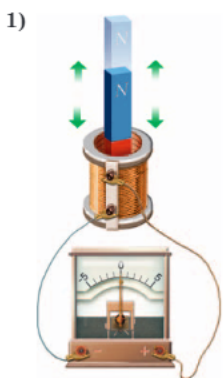
Изучить явление электромагнитной индукции.

Оборудование и материалы

Постоянный магнит, электромагнит разборный, миллиамперметр, соединительные провода, источник постоянного тока, ключ, реостат, катушка.

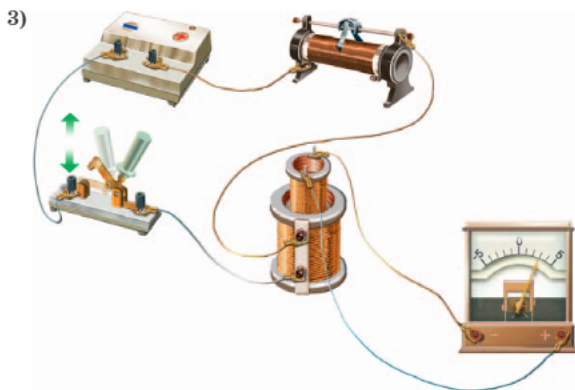
Ход работы

- Соберите цепь, состоящую из катушки и миллиамперметра.
- Опуская постоянный магнит внутрь катушки, определите направление возникающего индукционного тока (1).
- Вынимайте магнит из катушки. Изменилось ли направление индукционного тока?
- Возникает ли индукционный ток, когда магнит покоится относительно катушки? Как вы это определили?
- Закрепите магнит в штативе. Повторите опыт, перемещая катушку вдоль магнита (2).



- Как направление индукционного тока зависит от направления движения катушки?
- Влияет ли скорость движения катушки на значение силы индукционного тока?
- Соберите ещё одну электрическую цепь, состоящую из источника тока, второй катушки, реостата и ключа. Расположите первую катушку рядом со второй так, чтобы часть её входила во вторую катушку.

- Проверьте, возникает ли индукционный ток в первой катушке при замыкании и размыкании цепи второй катушки (3).



- Определите направление возникающего индукционного тока.
- Замкните цепь. Проверьте, возникает ли индукционный ток в первой катушке, если силу тока во второй катушке изменять с помощью реостата.
- Какое направление имеет индукционный ток при возрастании силы тока во второй катушке? при убывании силы тока во второй катушке?
- Сделайте выводы.

Практические работы-исследования

Изучаем электромагнитные явления

ИЗУЧЕНИЕ ПАДЕНИЯ МАГНИТА ВНУТРИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ТРУБКИ

Вы уже познакомились с некоторыми магнитными явлениями, изучили, как постоянные магниты действуют на магнитную стрелку, на тела, изготовленные из магнитных материалов (железо, сталь, никель и их сплавы), выяснили характер воздействия, которое магнитное поле оказывает на проводник с током, и т. п.

Однако мир магнитных явлений настолько разнообразен, что даже простые на первый взгляд опыты с постоянными магнитами выглядят загадочными.

Цель работы

Изучить особенности падения цилиндрического магнита внутри трубки, изготовленной из *немагнитного* металла (алюминий или медь).

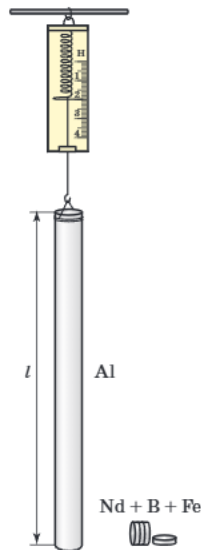
НАУЧНАЯ СПРАВКА. Как показали многочисленные опыты, лежащие в основе теории электрических и магнитных явлений, при движении магнита относительно массивного проводника в этом проводнике начинают циркулировать объёмные вихревые токи (так называемые **токи Фуко**). Возникающее при этом взаимодействие между токами и магнитным полем оказывает тормозящее воздействие на характер движения магнита относительно проводника. Более подробно взаимосвязь между электрическими и магнитными явлениями вы будете изучать в старших классах средней школы.

ПОМОЩНИК

- В качестве оборудования вам потребуется алюминиевая (медная) трубка диаметром 2—2,5 см и длиной $l \approx 1—1,5$ м; набор дисковых магнитов, изготовленных на основе сплава редкоземельного элемента неодима, бора и железа; динамометр Бакушинского; рулетка; секундомер.

Опыт 1

- С помощью динамометра определите вес $P_{\text{тр}}$ трубки.
- Соедините вместе 2—3 дисковых магнита и с помощью динамометра определите их вес $P_{\text{маг}}$.
- Подвесьте трубку на крючок динамометра. Удерживая магнит рукой у верхнего конца трубки, аккуратно отпустите его, предоставив возможность магниту падать внутри трубки.
- Зафиксируйте показания P динамометра в процессе падения магнита. Это будет вес трубки с учётом воздействия магнитного поля на вихревые токи, возбуждаемые в трубке при движении магнита.
- Найдите силу F , с которой магнитное поле воздействует на вихревые токи: $F = P - P_{\text{тр}}$. Сравните эту силу с весом $P_{\text{маг}}$ магнита.
- Повторите опыт с падением магнита, но теперь измерьте время t его движения внутри магнита.
- Измерив длину l трубки, вычислите среднюю скорость $v_{\text{ср}}$ движения магнита внутри трубки.



Опыт 2

- Соедините вместе в один магнит 5—6 дисковых магнитов и определите их суммарный вес $P_{\text{маг}}$.
- С новым магнитом проделайте все описанные выше опыты. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу в своей тетради.

№ опыта	$P_{\text{тр}}$, Н	$P_{\text{маг}}$, Н	P , Н	F , Н	l , м	t , с	$v_{\text{ср}}$, м/с

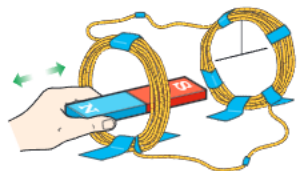
- На основе полученных результатов сделайте выводы о характере движения магнита внутри трубки.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ СВОИМИ РУКАМИ**КЕЙС****Цель работы**

Изготовить самодельный прибор для демонстрации явления электромагнитной индукции.

Этапы выполнения задания

- В качестве оборудования можно использовать следующие приборы и материалы: два куска медного провода длиной 10 м и сечением $0,2 \text{ мм}^2$, стержневой магнит, швейная игла с ниткой, трёхлитровая банка, изоляционная лента, батарейка.
- Для создания прибора необходимо изготовить две катушки. Один из имеющихся у вас кусков провода намотайте плотными витками вокруг банки из-под сока, оставив концы приблизительно по 30 см. Аккуратно снимите получившуюся катушку с банки. Обмотайте катушку в нескольких местах изолентой. Зачистите концы провода катушки.
- Аналогичным образом изготовьте вторую катушку.
- При помощи изоленты закрепите одну из катушек вертикально на столе.
- Намагнитченную швейную иглу обвяжите ниткой посередине. Для намагничивания используйте имеющийся стержневой магнит. Оставшийся свободный конец нити закрепите в верхней части вертикально установленной катушки так, чтобы иголка висела внутри катушки. Гальванометр готов.
- Свободные концы провода катушки присоедините к батарее. Как ведёт себя игла? Опишите, что произойдёт, если поменять полярность.
- При помощи изоленты закрепите вертикально вторую катушку, соединив её свободные концы с концами изготовленного вами гальванометра.
- При помощи созданной вами установки и стержневого магнита продемонстрируйте явление электромагнитной индукции. Используйте катушку с иглой в качестве гальванометра.
- Опишите полученные вами результаты.
- Сделайте вывод.



ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Физическая величина, характеризующая магнитное поле в пределах некоторой поверхности, которую пронизывают линии этого магнитного поля, называется магнитным потоком. Магнитный поток, пронизывающий контур, пропорционален модулю вектора магнитной индукции и площади контура и зависит от ориентации контура в магнитном поле.
- Явление электромагнитной индукции состоит в следующем: при всяком изменении магнитного потока, пронизывающего замкнутый проводящий контур, в этом контуре возникает электрический ток, существующий в течение всего времени изменения магнитного потока.
- Правило Ленца: индукционный ток в замкнутом проводнике имеет такое направление, что созданный им магнитный поток всегда препятствует изменению внешнего магнитного потока, которое и порождает этот ток.
- На явлении электромагнитной индукции основана работа генераторов постоянного тока.

Вопросы для обсуждения

- ? Магнит быстро опускают в катушку. На что расходуется работа силы тяжести?
- ? Каково назначение коллектора электрогенератора? Меняется ли полярность полуколец коллектора при работе электрогенератора?

Темы исследовательских и проектных работ

- История открытия электромагнитной индукции.
- Применение электромагнитной индукции.
- Электрические машины.

Ответы к задачам для самостоятельного решения

ГЛАВА 5

1. $1,7 \cdot 10^{17}$.
2. 180 А.
3. 1000 с, или 16,7 мин.
4. 9 В.
5. 1,4 А.
6. Нельзя.
7. Нельзя.
8. 15 Ом.

ГЛАВА 6

1. $\approx 0,25$ Ом.
2. $\approx 7,2$ Ом.
3. Увеличилось в 16 раз.
4. 56 В; 0,28 А; 59,5 В.
5. 24 Ом.
6. 150 Ом; 14,8 Ом.
7. 4 А; 2 А; 6 А; 1,3 А.
8. 2 Ом.
9. 9 МДж.
10. $\approx 5,3$ А.

11. ≈ 5 кг.
12. Увеличится в 4,5 раза.
13. ≈ 115 Вт; $\approx 46,6$ Вт; $\approx 31,8$ Вт.
14. 11,9 В; 1,19 А.
15. 11 А; 4 А; 1 А; 3 А.

ГЛАВА 7

6. $\approx 1,7$ м.
7. 30 А.
8. $\approx 0,06$ Кл.
9. 112 Ом.

ГЛАВА 8

1. 1 (тах), 2 и 3 (min).
2. 1) Уменьшается;
2) не изменяется;
3) не изменяется;
4) сначала увеличивается, затем уменьшается.
3. 1) Нет; 2) нет; 3) нет; 4) да.
4. 1) Да; 2) да; 3) нет; 4) нет.