

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я721
Х43

Учебник включён в Федеральный перечень

- Х43 **Хижнякова Л.С.**
Физика : 11 класс : базовый и углублённый уровни : учебник для учащихся общеобразовательных организаций / Л.С. Хижнякова, А.А. Синявина, С.А. Холина и др. – 2-е изд., стереотип. – М. : Вентана-Граф, 2019. – 400 с. + вкл. 0,5 : ил. – (Российский учебник). ISBN 978-5-360-10397-4

Учебник предназначен для изучения физики на базовом и углублённом уровнях в 11 классе общеобразовательных организаций.




Учебник вместе с задачником, тетрадь для лабораторных работ и методическим пособием для учителей входит в учебно-методический комплект по физике для 11 класса. Содержит разделы «Основы электродинамики (продолжение)», «Колебания и волны», «Оптика» и «Современные физические теории». Издание является частью учебно-методических комплектов «Алгоритм успеха».

Соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту среднего общего образования (2012 г.).

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я721

В учебнике использованы фотографии:
«Фотобанк Лори» (*Миронов Константин*,
Тамара Заводскова, Losevsky Pavel), *Ф.Н. Юрчихина*
(www.federalspace.ru), www.federalspace.ru, www.nasa.gov)

Условные обозначения

-  Задания творческого характера
 -  Задания повышенной сложности
 -  Материалы для углублённого изучения курса физики
- Названия параграфов, предназначенных для тех, кто изучает предмет на углублённом уровне, выделены **цветом**



ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

(ПРОДОЛЖЕНИЕ)

В начале XIX в. электричество и магнетизм рассматривались как различные физические явления, хотя неоднократно высказывалась мысль об их связи. В 1820 г. датский учёный Ханс Эрстед (1777–1851) обнаружил магнитное действие электрического тока. В том же году французский физик Андре-Мари Ампер (1775–1836) экспериментально доказал, что магнитные явления порождаются электрическими токами. Результаты опытов Эрстеда и Ампера продемонстрировали тесную связь между электрическими и магнитными явлениями. В 1831 г. М. Фарадей экспериментально открыл явление *электромагнитной индукции* — возникновение электрического тока в замкнутом проводнике под действием магнитного поля.

Обобщая экспериментальные исследования Фарадея по электромагнитной индукции, Дж.К. Максвелл пришёл к выводу о том, что изменение электрического поля должно сопровождаться возникновением переменного магнитного поля. Эти изменяющиеся поля существуют нераздельно и представляют собой единое *электромагнитное поле*. Возмущения электромагнитного поля представляют собой электромагнитные колебания, распространяющиеся в определённой области пространства в виде *электромагнитных волн*. Теория электромагнитного поля Максвелла, экспериментальное открытие электромагнитных волн и изучение их свойств Г. Герцем, исследования А.С. Попова и Г. Маркони — изобретателей радио — легли в основу электро- и радиотехники, современных средств связи, телевидения. Дальнейшее изучение электродинамики связано с рассмотрением законов постоянного тока, электрического тока в различных средах, магнитных явлений, явления электромагнитной индукции, электромагнитных колебаний и волн.

Законы постоянного тока

Основными законами постоянного тока являются закон Ома для участка электрической цепи, выражающий зависимость между силой тока, сопротивлением металлического проводника и напряжением между его концами, и закон Джоуля — Ленца, позволяющий определять количество теплоты, выделяемое проводником с током. Законы постоянного тока используют для расчёта электрических цепей и объяснения действия разнообразных электротехнических устройств.

В главе также рассмотрены особенности протекания электрического тока в металлах, газах, вакууме, растворах и расплавах электролитов, полупроводниках. Полупроводники применяют для изготовления полупроводниковых приборов, например фото- и терморезисторов, транзисторов. Их действие основано на свойствах полупроводников, содержащих p - n переходы.

§ 1. Электронная проводимость металлов. Постоянный ток. Сила тока

Вам известно, что металлы имеют кристаллическое строение. Их атомы колеблются около определённых положений равновесия. В металлах почти все атомы ионизованы. Отделившиеся от атомов электроны беспорядочно движутся в промежутках между ионами. В металлах электроны являются свободными носителями заряда и называются *электронами проводимости*. Их существование было подтверждено экспериментальными работами Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси (1913), а также Р. Толмена и Т. Стюарта (1916).

В одном из опытов проволочная катушка соединялась с помощью скользящих контактов с гальванометром и приводилась в быстрое вращение. При резкой остановке катушки в электрической цепи свободные заряженные частицы некоторое время продолжали двигаться относительно

проводника по инерции. В катушке появлялся кратковременный ток, который регистрировал гальванометр. Направление тока свидетельствовало о том, что он обусловлен движением отрицательно заряженных частиц. В опытах использовались катушки из медной, алюминиевой и серебряной проволоки. При этом измеренное отношение заряда частиц к их массе оказалось равным значению удельного заряда электрона $\left(\frac{e}{m}\right)$, полученному из других опытов. Отсюда следовало, что отрицательно заряженными частицами в металлических проводниках являются электроны.

Между ионами кристаллической решётки находятся свободные электроны, образующие своеобразный *электронный газ*. Расстояния между ионами много меньше расстояний между электронами. Ионы в металле совершают колебательные движения около положений равновесия, в узлах кристаллической решётки. Электроны движутся непрерывно и хаотически в промежутках между ионами. В модели электронного газа предполагается, что электроны взаимодействуют только с ионами кристаллической решётки. Хорошая электропроводность металлов объясняется высокой концентрацией электронов проводимости в металлах. Для большинства металлов концентрация электронов проводимости составляет около 10^{28} – 10^{29} м⁻³.

Хаотическое (тепловое) движение электронов проводимости не создаёт электрического тока. Однако под действием электрического поля \vec{E} на хаотическое движение свободных электронов накладывается их упорядоченное движение. Его можно уподобить дрейфу льдин, сталкивающихся друг с другом и одновременно движущихся по течению реки. Модуль средней скорости упорядоченного движения электронов под действием электрического поля иногда называют *скоростью дрейфа*.

Электрический ток в металлическом проводнике — это упорядоченное движение свободных электронов.

Воздействия, испытываемые электроном при столкновении с ионами, характеризуются средней силой сопротивления. В однородном металлическом проводнике средняя сила сопротивления по модулю равна силе, действующей со стороны электрического поля на свободные электроны проводимости. В результате модуль средней скорости упорядоченного движения в металлическом проводнике не изменяется, сила тока в цепи постоянна.

Постоянный ток — электрический ток, не изменяющийся с течением времени ни по силе, ни по направлению.

Понятие «электрический ток» было введено в 1820 г. А. Ампером. Он за направление тока в проводнике принял то направление, в котором под действием электрического поля должны двигаться положительные заряды. Но на самом деле электрический ток в металлических проводниках создаётся отрицательно заряженными электронами. Если сравнивать направление

электрического тока с направлением вектора напряжённости электрического поля постоянного тока, то они всегда совпадают.

Электрический ток в проводнике характеризуется физической величиной – *силой тока*.

Силой тока I называют физическую величину, равную отношению заряда q , прошедшего через поперечное сечение проводника за некоторый промежуток времени Δt , к этому промежутку:

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

Единица силы тока является основной единицей в СИ. Её определяют по магнитному действию тока. Эта единица названа *ампером* (А) в честь А. Ампера. Помимо ампера, на практике часто применяют другие (кратные и дольные) единицы силы тока, например миллиампер (мА) и микроампер (мкА): $1 \text{ мА} = 10^{-3} \text{ А}$; $1 \text{ мкА} = 10^{-6} \text{ А}$.

Для того чтобы в электрической цепи существовал постоянный ток, необходимы *источники тока*. В них совершается работа по разделению положительно и отрицательно заряженных частиц. Примерами источников электрического тока являются гальванические элементы, аккумуляторы. Они работают за счёт химических реакций. Внутри химического источника тока, например простейшего *гальванического элемента Вольта*, находится раствор серной кислоты, в который погружаются проводники из меди и цинка – электроды. В гальваническом элементе Вольта внутренняя энергия, выделяющаяся при химических реакциях, превращается в электрическую. На рис. 1 изображён сухой гальванический элемент (батарейка). Электродами

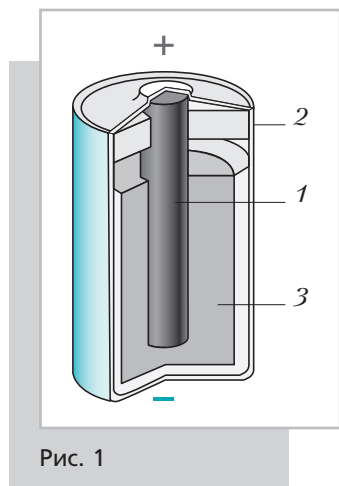


Рис. 1

в нём являются графитовый стержень 1 и цинковый кольцевой электрод 2. Вместо жидкого раствора используется влажная паста 3, содержащая раствор хлорида аммония с добавкой муки или крахмала. При этом во всех гальванических элементах расходуются электроды и раствор.

Аккумуляторы состоят из двух цинковых пластин, помещённых в раствор серной кислоты. Для того чтобы он стал источником тока, аккумулятор необходимо зарядить, т. е. через него пропустить электрический ток от какого-нибудь внешнего источника тока. В нём электрическая энергия превращается в химическую энергию аккумулятора. Когда аккумулятор включают в цепь в качестве источника тока, то его химическая энергия превращается в электрическую.

Силу тока в электрической цепи измеряют *амперметром*. В цепь амперметр включают последовательно с тем участком, в котором измеряют силу тока (рис. 2). Провод, который идёт от положительного полюса источника тока, соединяют с клеммой прибора со знаком «плюс». Провод, идущий от отрицательного полюса источника тока, соединяют с клеммой амперметра со знаком «минус».

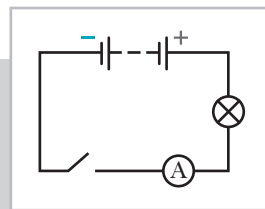


Рис. 2

Таким образом, *носителями электрического заряда в металлических проводниках являются свободные электроны*.

Теоретическое исследование

Однородный металлический проводник длиной Δl и площадью поперечного сечения S ограничен сечениями 1 и 2 (рис. 3). Концентрация свободных электронов равна n , сила тока в проводнике — I . Используя формулу определения силы тока и формулу определения общего заряда этих электронов $q = enS\Delta l$, покажите, что модуль скорости дрейфа электронов в проводнике равен $v = \frac{I}{enS}$.

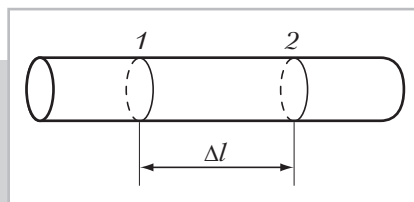


Рис. 3

Вопросы

1. Какой опыт доказывает, что отрицательно заряженными частицами в металлических проводниках являются электроны?
2. Что представляет собой электрический ток в металлическом проводнике?
3. Охарактеризуйте физическую модель — электронный газ.
4. Что называют скоростью дрейфа?
5. Какой электрический ток называют постоянным?
6. Что принимают за направление тока?
7. С помощью какой формулы можно определить силу тока в проводнике?
8. Приведите примеры кратных и дольных единиц силы тока.
9. Назовите известные вам источники тока.
10. Сформулируйте правила включения амперметра в электрическую цепь.

Задания и упражнения

1. В течение какого промежутка времени пройдёт электрический заряд через поперечное сечение проводника, если сила тока в цепи равна 14 мА? Модуль заряда равен 0,0001 Кл.
2. В спирали лампы карманного фонаря сила тока равна 0,25 А. Какой по модулю заряд проходит через поперечное сечение спирали за 1 мин?

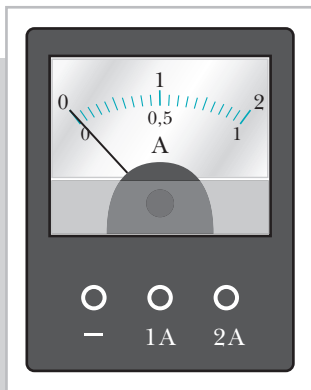


Рис. 4

3. В электрическую цепь последовательно включены источник тока, амперметр, лампа и ключ замыкания. За 10 с через поперечное сечение нити накала лампы проходит электрический заряд, модуль которого равен 3 Кл. Какую силу тока покажет амперметр?

4. На рис. 4 изображён лабораторный амперметр. Используя разные шкалы прибора, запишите результаты измерения силы тока с учётом максимальной абсолютной погрешности измерения: а) $I_{\text{изм}} = 1,5$ А (по верхней шкале), если абсолютная инструментальная погрешность равна $\pm 0,05$ А; б) $I_{\text{изм}} = 0,5$ А (по нижней шкале), если абсолютная инструментальная погрешность равна $\pm 0,025$ А.

§ 2. Сторонние силы. Электродвижущая сила

Вам известно, что сила электрического поля при перемещении заряда q из одной точки поля в другую совершает работу, равную для однородного электростатического поля: $A = qEl$. Разделив обе части этого выражения на значение заряда q , получим: $\frac{A}{q} = El$. Левая часть этого равенства $\left(\frac{A}{q}\right)$ не зависит от значения заряда q (в правую часть равенства — El — заряд q не входит).

Физическую величину, равную отношению работы A сил электрического поля при перемещении заряда q из одной точки поля в другую к этому заряду, называют электрическим напряжением (или просто напряжением) U между двумя точками:

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

В СИ за единицу напряжения принято напряжение между концами проводника, при котором работа сил электрического поля по перемещению

положительного электрического заряда 1 Кл по этому проводнику равна 1 Дж. Эта единица названа *вольт* (В): $1 \text{ В} = 1 \text{ Дж/Кл}$.

Напряжение между концами участка электрической цепи измеряют *вольтметром*. Вольтметр включается в цепь иначе, чем амперметр. Вольтметр присоединяют к тем точкам цепи, между которыми измеряют напряжение, т. е. параллельно (рис. 5). Для измерения напряжения на зажимах лампы клемму вольтметра со знаком «плюс» соединяют с той клеммой лампы, которая соединена с положительным полюсом источника тока, а клемму со знаком «минус» — с клеммой лампы, которая соединена с отрицательным полюсом источника тока.

Постоянный ток может существовать лишь в замкнутой (или полной) электрической цепи при наличии в ней источника тока. В замкнутой цепи можно выделить две части — внутреннюю и внешнюю. Источник тока представляет собой внутреннюю часть цепи. Внешнюю часть цепи образуют различные потребители и подводящие провода.

Источник тока поддерживает напряжение на внешнем участке цепи, создавая в нём электрическое поле. При этом заряженные частицы, перемещающиеся от положительного полюса источника (анода) к отрицательному полюсу (катоде) по внешнему участку цепи, должны вновь возвращаться на положительный полюс источника. Следовательно, на внутреннем участке цепи они должны двигаться против действующих на них электрических (кулоновских) сил (рис. 6). Для этого на заряды должны действовать внешние силы неэлектрической природы, называемые *сторонними силами*. Сторонние силы $\vec{F}_{\text{ст}}$ внутри источника тока направлены противоположно кулоновским силам $\vec{F}_{\text{эл}}$. Работа сторонних сил вдоль замкнутого контура должна быть отличной от нуля. Именно в процессе совершения работы этими силами заряженные частицы приобретают внутри источника энергию и затем отдают её проводникам электрической цепи. Таким образом, в источнике тока (например, гальваническом элементе) сторонние силы возникают за счёт химической реакции между электродами и электролитом (см. рис. 6).

Природа сторонних сил может быть самой разнообразной. Они могут быть обусловлены действием силы Лоренца, химическими процессами, действием света, неравномерным нагреванием проводников и др. Сторонние силы приводят в движение электрические заряды внутри всех источников тока: в генераторах, гальванических элементах, аккумуляторах и др.

Действие сторонних сил в источнике тока характеризуется физической величиной — *электродвижущей силой*.

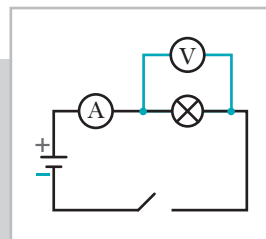


Рис. 5

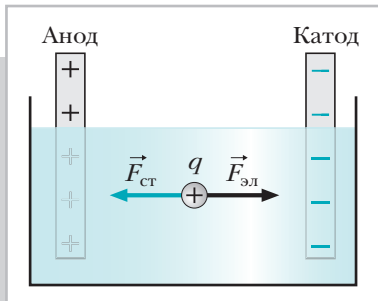


Рис. 6

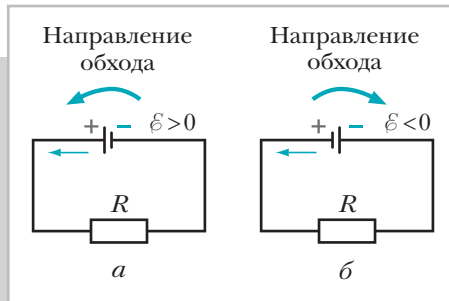


Рис. 7

Электродвижущей силой (ЭДС) \mathcal{E} называют физическую величину, равную отношению работы $A_{\text{ст}}$ сторонних сил по перемещению единичного положительного заряда q вдоль замкнутой цепи к этому заряду:

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

В СИ за единицу ЭДС так же, как и напряжения, принимают вольт. Так, например, значение ЭДС батарейки для карманных фонарей равно 1,5 В. ЭДС является характеристикой источника тока. Она может быть как положительной, так и отрицательной величиной. Для того чтобы установить знак ЭДС, произвольно выбирают направление обхода контура. ЭДС считается положительной, если внутри источника тока совершается от отрицательного полюса к положительному (рис. 7, а). Если обход внутри источника тока совершается от положительного полюса к отрицательному, то ЭДС отрицательна (рис. 7, б).

Таким образом, *постоянный ток может существовать лишь в замкнутой (или полной) электрической цепи при наличии в ней источника тока. Источник тока характеризуется физической величиной — ЭДС.*

Теоретическое исследование

Для объяснения действия источника тока применяют гидродинамическую аналогию между электрическим током в цепи и потоком воды, протекающей в замкнутой системе труб (рис. 8). Перекачивание воды в системе осуществляется благодаря насосу. Вода в трубах течёт вследствие разности давлений в точках А и В. Используя эту аналогию, объясните роль сторонних сил, действующих в источнике тока.

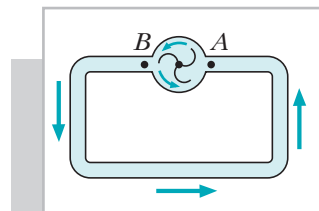


Рис. 8

Вопросы

1. Какую физическую величину называют электрическим напряжением?
2. Сформулируйте правила включения вольтметра в электрическую цепь.
3. Какие элементы образуют: а) внутренний; б) внешний участок замкнутой электрической цепи?
4. Какая физическая величина характеризует действие сторонних сил в источнике тока?
5. В каком случае ЭДС источника тока считают: а) положительной; б) отрицательной величиной?

Задания и упражнения

1. На цоколе лампочки от карманного фонаря написано «3,5 В». Какую работу совершает электрическое поле при перемещении заряда, модуль которого равен 6 Кл, через поперечное сечение нити накала лампочки? Чему равна сила тока, текущего через поперечное сечение этой нити, если заряд проходит через неё за 3 с?
2. В однородном электрическом поле вдоль линий напряжённости перемещают точечный заряд, модуль которого равен 20 Кл, из одной точки поля в другую точку. Работа электрического поля по перемещению заряда равна 100 Дж. Чему равно напряжение между этими точками поля?
3. На рис. 9 изображён лабораторный вольтметр. Используя разные шкалы прибора, запишите результаты измерения напряжения с учётом максимальной абсолютной погрешности измерения: а) $U_{\text{изм}} = 4$ В (по верхней шкале), если абсолютная инструментальная погрешность равна $\pm 0,15$ В; б) $U_{\text{изм}} = 1,5$ В (по нижней шкале), если абсолютная инструментальная погрешность равна $\pm 0,075$ В.
4. В спирали лампы карманного фонаря сила тока равна 0,25 А. Какой по модулю заряд проходит через поперечное сечение спирали за 1 мин? Чему равна ЭДС батареи карманного фонаря, если работа электрического поля по перемещению этого заряда равна 45 Дж?
5. ЭДС источника тока равна 9 В. Какую работу совершают сторонние силы за 10 с, если сила тока в электрической цепи равна 1 А?

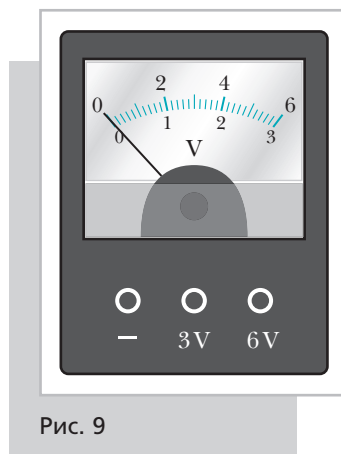


Рис. 9

§ 3. Электрическое сопротивление. Закон Ома для участка цепи

С точки зрения классической электронной теории сопротивление металлов обусловлено тем, что электроны проводимости соударяются с ионами кристаллической решётки. Для характеристики «противодействия» проводника электрическому току используют физическую величину, называемую *электрическим сопротивлением* (или сопротивлением).

Сопротивлением R проводника называют физическую величину, равную отношению напряжения U между концами проводника к силе тока I , текущего по проводнику:

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

Единица сопротивления в СИ — *ом* (Ом) — названа в честь немецкого учёного Георга Ома (1787–1854). Сопротивлением 1 Ом обладает проводник, в котором сила тока равна 1 А, если напряжение между его концами равно 1 В: 1 Ом = 1 В/А. Наряду с омом применяются десятичные кратные и дольные единицы сопротивления, например мегаом (МОм), килоом (кОм), миллиом (мОм):

$$1 \text{ МОм} = 10^6 \text{ Ом}; 1 \text{ кОм} = 10^3 \text{ Ом}; 1 \text{ мОм} = 10^{-3} \text{ Ом}.$$

Для прямого измерения сопротивления проводника в электрической цепи используют физический прибор — омметр.

Зависимость силы тока от напряжения между концами участка цепи (проводника) и сопротивления этого участка проводника выражает *закон Ома*.

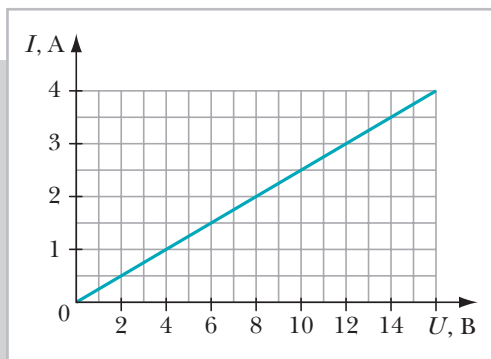


Рис. 10

Сила тока I на участке цепи прямо пропорциональна напряжению U между концами этого участка и обратно пропорциональна его сопротивлению R :

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

Графиком, выражающим зависимость силы тока от напряжения между концами проводника, является прямая линия (рис. 10), называемая *вольт-амперной характеристикой проводника*.

Ом также экспериментально установил, что сопротивление R проводника прямо пропорционально его длине l и обратно пропорционально площади S поперечного сечения этого проводника:

$$R = \frac{\rho l}{S}, \quad (1)$$

где ρ — коэффициент пропорциональности, называемый *удельным электрическим сопротивлением*. Этот коэффициент является характеристикой вещества, из которого изготовлен проводник. В СИ за единицу удельного электрического сопротивления принят Ом · м. На практике площадь поперечного сечения проводника часто выражают в квадратных миллиметрах (мм^2), поэтому значение удельного сопротивления приводят и в Ом · $\text{мм}^2/\text{м}$. Наименьшим удельным электрическим сопротивлением обладает серебро ($1,6 \cdot 10^{-8}$ Ом · м), а наибольшим — свинец ($22,1 \cdot 10^{-8}$ Ом · м).

Из формулы (1) следует, что с увеличением длины проводника увеличивается число ионов, мешающих движению электронов проводимости и замедляющих их упорядоченное движение. Как следствие, электрическое сопротивление проводника возрастает. Из двух проводников, имеющих разные площади поперечного сечения, проводник с большей площадью имеет меньшее сопротивление, так как через его поперечное сечение проходит больше электронов проводимости за одинаковый промежуток времени. Проводники из разных металлов имеют различную концентрацию электронов проводимости. При меньшей концентрации электронов проводимости сила тока при прочих равных условиях меньше, чем при большей их концентрации. Соответственно сопротивление проводника при меньшей концентрации электронов проводимости меньше.



Опыты показывают, что значения сопротивления нити накала лампы, включённой в электрическую цепь, и её сопротивления при разомкнутой цепи и комнатной температуре будут разными. Оказывается, что с возрастанием температуры металлического проводника его электрическое сопротивление увеличивается.

Это связано с тем, что в металлическом проводнике с повышением температуры увеличиваются амплитуды колебаний атомов и ионов. Следовательно, возникает больше препятствий при движении электронов проводимости по проводнику, так как возрастает число столкновений электронов с ионами. В результате модуль средней скорости упорядоченного движения электронов проводимости уменьшается, что равносильно увеличению сопротивления проводника. В определённом интервале температур для металлов и их сплавов существует линейная зависимость их удельного электрического сопротивления от температуры:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha\Delta T),$$

где ρ_0 — удельное электрическое сопротивление вещества при $t_0 = 0$ °С ($T_0 = 273$ К); $\Delta T = T - T_0$; α — температурный коэффициент сопротивления.

В СИ единица температурного коэффициента сопротивления — 1 К^{-1} . Для большинства чистых металлов при $t_0 = 0$ °С температурный коэффициент сопротивления равен:

$$\alpha \approx \frac{1}{273} \text{ К}^{-1} \approx 0,004 \text{ К}^{-1}.$$

Зависимость сопротивления металлов от температуры используется в термометрах сопротивления, позволяющих измерять очень низкие и очень высокие температуры с точностью до тысячных долей градуса. В качестве основного рабочего элемента такого термометра обычно используется платиновая проволока, которая наматывается на керамический каркас. По изменению сопротивления проволоки фиксируется изменение температуры.

В 1911 г. голландский учёный Хейке Камерлинг-Оннес (1853–1926) обнаружил, что при температуре, равной примерно 4,12 К, удельное электрическое сопротивление ртути скачком уменьшается до нуля. Это явление назвали *сверхпроводимостью*, а проводники, сопротивление которых равно нулю, — *сверхпроводниками*.

Явление сверхпроводимости состоит в исчезновении удельного электрического сопротивления материала при определённой температуре, которая называется *критической температурой*. Например, для вольфрама критическая температура составляет 0,015 К, для алюминия — 1,2 К, для ниобия — 9,5 К. В 1986 г. были обнаружены высокотемпературные сверхпроводники — вещества (керамики — сложные оксидные соединения лантана, бария и других химических элементов) с температурами сверхпроводящего перехода выше 77 К (температуры кипения азота при атмосферном давлении).


Необычные свойства сверхпроводников (например, в сверхпроводящей обмотке не происходит выделения количества теплоты) используют для получения сильных магнитных полей, в транспортных устройствах на магнитной подвеске, в сверхпроводниковой электронике, в ускорителях заряженных частиц, установках управляемого термоядерного синтеза и др.

Отметим, что в рамках классической электронной теории не удалось объяснить механизм сверхпроводимости. Для этого потребовалось использовать представления квантовой физики, с элементами которой

вы познакомитесь в конце курса физики старшей школы. В настоящее время одной из важнейших задач современной физики является получение сверхпроводников с температурой сверхпроводящего перехода, близкой к комнатной. Если её удастся решить, то это позволит существенно уменьшить потери энергии в линиях электропередачи, а также увеличить быстродействие компьютеров.


Итак, закон Ома для участка цепи устанавливает связь между силой тока, сопротивлением проводника и напряжением между его концами.

Экспериментальное исследование

-  Мультиметр — универсальный физический прибор для измерения силы тока, напряжения и сопротивления. Проведите с его помощью экспериментальное исследование простейшей электрической цепи, содержащей источник тока (батарею), лампочку на подставке, проводники.
- 1) Нарисуйте схему цепи.
 - 2) Оцените силу тока в цепи и напряжение на зажимах лампочки.
 - 3) Предложите способы изменения силы тока в цепи.

Вопросы

1. Что называют электрическим сопротивлением проводника?
2. Между какими физическими величинами устанавливает связь закон Ома для участка цепи?
3. По какой формуле можно рассчитать сопротивление проводника, если известны длина проводника, площадь его поперечного сечения и вещество, из которого изготовлен этот проводник?
4. Какую физическую величину называют удельным электрическим сопротивлением?

- 
 5. Как зависит удельное электрическое сопротивление проводника от температуры?
 6. В чём состоит явление сверхпроводимости?

Задания и упражнения

1. Для изготовления катушки электрического звонка использовали никелиновую проволоку длиной 15 м. Найдите её сопротивление, если площадь поперечного сечения проволоки равна $0,35 \text{ мм}^2$. Удельное электрическое сопротивление никелина равно $4 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

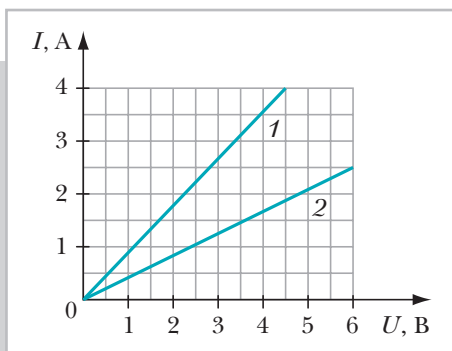


Рис. 11

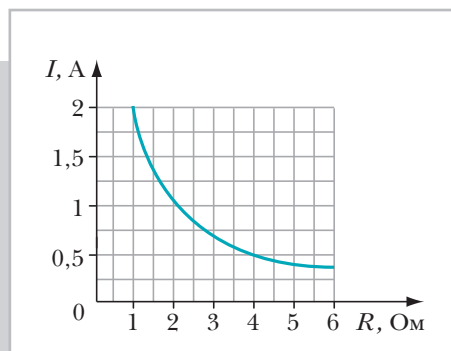


Рис. 12

2. Электрическая плитка рассчитана на напряжение, равное 220 В. Сопротивление её спирали составляет 75 Ом. Определите силу тока в спирали.
3. На рис. 11 изображены графики 1, 2 зависимости силы тока от напряжения для двух металлических проводников. Какой из проводников обладает бóльшим сопротивлением?
4. На рис. 12 представлен график зависимости силы тока от сопротивления металлического проводника. Определите напряжение между концами этого проводника.
5. Медный цилиндрический проводник имеет длину 50 см, диаметр его поперечного сечения равен 1 мм. Каким должно быть напряжение между концами проводника, чтобы сила тока в нём была равна 0,5 А? Удельное электрическое сопротивление меди равно $1,72 \cdot 10^{-8}$ Ом · м.

§ 4. Работа и мощность постоянного тока.

Закон Джоуля — Ленца.

Закон Ома для полной цепи

В нагревательных электрических приборах энергия электрического поля преобразуется во внутреннюю энергию. Согласно закону сохранения энергии изменение внутренней энергии металлического проводника равно работе силы, действующей на заряженные частицы со стороны электрического поля при их перемещении на данном участке цепи. Эту работу называют *работой тока*.