

Г. Я. Мякишев, М. А. Петрова

ФИЗИКА

Учебник

Рекомендовано
Министерством просвещения
Российской Федерации

2-е издание, стереотипное

МОСКВА

 ДРОФА

2020

БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

11

к л а с с

 | российский
учебник

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72
М99

**Одобрено Научно-редакционным советом корпорации
«Российский учебник» под председательством академиков
Российской академии наук В. А. Тишкова и В. А. Черешнева**

Авторский коллектив:

Г. Я. Мякишев, М. А. Петрова, О. С. Угольников, С. В. Пилипенко,
В. В. Кудрявцев, С. В. Степанов, В. Ф. Комиссаров, А. А. Заболотский

Мякишев, Г. Я.

М99 Физика : Базовый уровень : 11 класс : учебник / Г. Я. Мякишев, М. А. Петрова, О. С. Угольников и др. — 2-е изд., стереотип. — М. : Дрофа, 2020. — 476, [4] с. : ил. — (Российский учебник).

ISBN 978-5-358-23443-7

Учебник предназначен для учащихся 11 классов, изучающих физику на базовом уровне, создан с учётом современных научных представлений и включает следующие разделы: «Электродинамика (продолжение)», «Колебания и волны», «Квантовая физика и астрофизика».

Методический аппарат учебника составляют вопросы, система заданий, включающих вычислительные и графические задачи, вопросы для обсуждения, содержащие качественные задачи, задания для экспериментальной проектной деятельности, темы рефератов и проектов, описания лабораторных работ.

Большое количество красочных иллюстраций, графиков и схем, разнообразные вопросы и задания, а также дополнительные сведения и любопытные факты способствуют эффективному усвоению учебного материала.

Учебник соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту среднего общего образования.

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72

ISBN 978-5-358-23443-7

© ООО «ДРОФА», 2019



ЭЛЕКТРОДИНАМИКА (продолжение)

Дальнейшее развитие науки об электричестве связано с изучением процессов, наблюдаемых при движении заряженных частиц. Первые работы в этом направлении связаны с именами итальянских учёных Луиджи Гальвани (1737—1798) и Алессандро Вольта (1745—1827). Гальвани обнаружил так называемое «животное электричество», а Вольта правильно истолковал его опыты и изобрёл первый в истории науки источник постоянного тока. В начале XIX в. электричество и магнетизм рассматривались как различные физические явления, хотя неоднократно высказывалась мысль об их взаимосвязи. В 1820 г. датский учёный Ханс Эрстед (1777—1851) обнаружил действие электрического тока на магнитную стрелку. В том же году французский физик Андре Мари Ампер (1775—1836) экспериментально обнаружил магнитное взаимодействие проводников с токами. Результаты опытов Эрстеда и Ампера наглядно продемонстрировали связь между электрическими и магнитными явлениями.

Основополагающий вклад в развитие электродинамики внёс английский физик Майкл Фарадей (1791—1867). В 1831 г. он экспериментально открыл явление электромагнитной индукции. Кроме того, Фарадей предложил концепцию поля, открыл законы электролиза, исследовал магнитные свойства вещества и др. Обобщая экспериментальные исследования Фарадея по электромагнитной индукции, британский физик Джеймс Клерк Максвелл (1831—1879) создал теорию электромагнитного поля. В её рамках изменяющееся магнитное поле порождает электрическое поле, а изменяющееся электрическое поле, в свою очередь, порождает магнитное поле. Эти изменяющиеся поля существуют нераздельно и представляют собой единое электромагнитное поле. Возмущения электромагнитного поля (электромагнитные колебания) распространяются в пространстве в виде электромагнитных волн.

Продолжение изучения электродинамики связано с рассмотрением законов постоянного тока, протекания электрического тока в различных средах, магнитных явлений, явления электромагнитной индукции, электромагнитных колебаний и волн.

В данной главе мы рассмотрим физические величины, характеризующие постоянный электрический ток, а также способы их измерения. Особое внимание обратим на законы постоянного тока: закон Ома для участка электрической цепи, закон Ома для полной (замкнутой) цепи и закон Джоуля — Ленца. С их помощью мы научимся определять параметры электрических цепей, а также объяснять действия разнообразных электротехнических устройств.

§ 1

УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА.
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ПРОВОДНИКАХ

ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА. Движение заряженных частиц в проводнике мы не наблюдаем. Однако о существовании электрического тока можно судить по различным явлениям, которые он вызывает. Такие явления называют *действиями электрического тока*.

1. Проводник, по которому протекает электрический ток, нагревается. Это *тепловое действие тока*. Именно благодаря тепловому действию тока нагреваются спирали в электроплитке, уютге, раскаляется добела вольфрамовая нить в электрической лампочке.

2. Электрический ток может изменять химический состав проводника. В этом проявляется *химическое действие тока*. Например, при прохождении тока через раствор медного купороса из раствора выделяется медь, а при прохождении тока через подкисленную воду она разлагается на водород и кислород. Химическое действие имеет место лишь при прохождении тока через растворы или расплавы электролитов.

3. Электрический ток оказывает *магнитное действие*. Расположенная вдоль проводника с током магнитная стрелка поворачивается перпендикулярно проводнику (рис. 1.1). Это явление было обнаружено Эрстедом

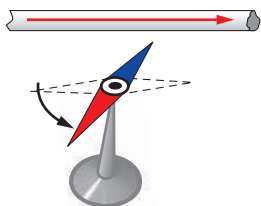


Рис. 1.1

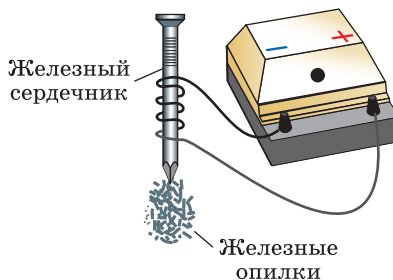


Рис. 1.2

в 1820 г. Если изолированную проволоку намотать на железный гвоздь, то он становится магнитом и притягивает железные опилки (рис. 1.2).

Магнитное действие тока, в отличие от теплового и химического действий, является основным, так как оно сопровождает ток всегда.

ЧТО ТАКОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК? Дадим строгое определение тому, что называют электрическим током.

Упорядоченное (направленное) движение заряженных частиц называют электрическим током.

Электрический ток существует лишь тогда, когда происходит *перенос электрических зарядов* с одного места в другое. Если заряженные частицы совершают беспорядочное тепловое движение, как, например, свободные электроны в куске металла, то переноса заряда не происходит (рис. 1.3, а). Электрический заряд перемещается через поперечное сечение проводника в определённую сторону, если наряду с беспорядочным движением электроны участвуют в упорядоченном движении заряженных частиц (рис. 1.3, б). В этом случае в проводнике устанавливается электрический ток.

Электрический ток возникает при упорядоченном движении свободных электронов в металле, положительных и отрицательных ионов в водных растворах и расплавах электролитов (солей, кислот, щелочей), ионов и электронов в газах, при падении заряженных капель дождя, при движении заряженного эбонитового стержня и т. д.



Рис. 1.3

Электрический ток имеет определённое направление. *За направление тока принимают направление движения положительно заряженных частиц.* Поэтому если ток образован движением отрицательно заряженных частиц, то направление тока считают противоположным направлению движения частиц.

СИЛА ТОКА. Электрический ток в проводнике характеризуется физической величиной — *силой тока*.

Силой тока называют скалярную физическую величину, равную отношению заряда Δq , переносимого через поперечное сечение проводника за промежуток времени Δt , к величине этого промежутка.

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

Формула (1) выражает среднее за промежуток времени Δt значение силы тока. Если за любые равные промежутки времени через любое поперечное сечение проводника проходят одинаковые заряды, т. е. если сила тока и его направление не изменяются с течением времени, то электрический ток называют *постоянным*. Сила постоянного тока численно равна заряду, проходящему через поперечное сечение проводника за 1 с:

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

Силу тока удобно иногда считать положительной или отрицательной величиной в зависимости от выбора положительного направления вдоль проводника. Если направление тока совпадает с условно выбранным положительным направлением, то $I > 0$, в противном случае $I < 0$. Часто под силой тока понимают её абсолютное значение, дополнительно указывая направление тока.

В СИ единица силы тока *ампер* (А) является основной. Её устанавливают на основе магнитного взаимодействия двух проводников с токами. Согласно формуле (1) можно записать: $1 \text{ А} = 1 \text{ Кл}/1 \text{ с}$.

УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И СУЩЕСТВОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА. Рассмотрим условия, которые необходимы для возникновения и существования электрического тока.

1. Наличие свободных заряженных частиц (носителей заряда). Такими носителями заряда в металлах и полупроводниках являются электроны, в растворах электролитов — положительные и отрицательные ионы, в газах — электроны и ионы.

2. Наличие силы, действующей на заряженные частицы (носители заряда) в определённом направлении. На заряженные частицы, как мы знаем, действует электрическое поле с силой $\vec{F} = q\vec{E}$. Обычно именно электрическое поле внутри проводника является причиной, вызывающей и поддерживающей упорядоченное движение заряженных частиц.

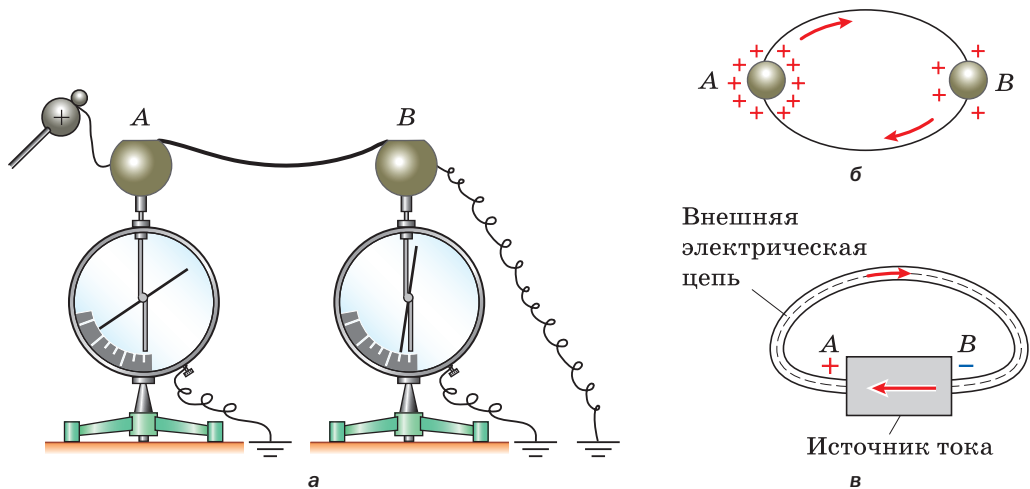


Рис. 1.4

Только в статическом случае, когда заряды покоятся, электрическое поле внутри проводника отсутствует.

Если внутри проводника имеется электрическое поле, то между концами проводника существует разность потенциалов (напряжение). Если она не изменяется с течением времени, то в проводнике устанавливается постоянный ток.

Для того чтобы ток существовал непрерывно в проводнике AB (рис. 1.4), необходимо поддерживать на его концах разные потенциалы. Это можно осуществить разными способами. Например, можно было бы непрерывно заряжать тело A и разряжать тело B . Можно заряжать тело A от электрофорной машины, а тело B заземлить (рис. 1.4, a). Но можно поддерживать непрерывный ток в проводнике, перенося обратно заряды с тела B на тело A по другому проводнику, образуя для этого замкнутую цепь (рис. 1.4, b).

Однако под действием сил этого же электрического поля такой перенос зарядов невозможен, так как потенциал тела B меньше потенциала тела A . Перенос зарядов с тела B на тело A может быть совершён только с помощью сил неэлектрического происхождения — *сторонних сил*.

Любые силы, действующие на электрически заряженные частицы, за исключением электростатических (кулоновских) сил, называют сторонними силами.

Наличие таких сил обеспечивает источник тока, включаемый в электрическую цепь. Силы, действующие в источнике тока, переносят заряд от тела с меньшим потенциалом к телу с большим потенциалом, т. е. *источник тока обладает энергией*. Источниками тока являются элек-

трические машины, гальванические элементы, аккумуляторы, генераторы и др. Ряд соединённых между собой проводников вместе с источником тока составляют замкнутую электрическую цепь.

На рисунке 1.4, в приведена схема электрической цепи, в которой находится источник тока. Клеммы A и B источника имеют избыточные заряды — положительный и отрицательный. На внешнем участке цепи положительные заряды движутся под действием сил электрического поля от точек с большим потенциалом к точкам с меньшим потенциалом. На внутреннем участке цепи BA перенос зарядов от B к A осуществляется сторонними силами, действующими в источнике тока.

Каким образом возникает электрическое поле внутри проводника при наличии источника тока? Когда проводник присоединяют к клеммам источника, свободные заряды проводника, находящиеся вблизи клемм, смещаются и действуют своим электрическим полем на соседние заряды. Со скоростью, близкой к скорости света, это взаимодействие передаётся по всей цепи, в результате чего вдоль поверхности проводника появляются заряды, создающие внутри него электрическое поле, обеспечивающее существование постоянного тока. Это поле потенциально, как и электростатическое поле.

*** СКОРОСТЬ УПОРЯДОЧЕННОГО ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В МЕТАЛЛИЧЕСКОМ ПРОВОДНИКЕ.** Рассмотрим, как связана сила тока в однородном проводнике с величинами, характеризующими движение заряженных частиц. Выделим в среде, в которой существует электрический ток, очень малый объём в форме прямого цилиндра с площадью поперечного сечения S (рис. 1.5). Цилиндр ориентирован так, что его основания перпендикулярны скорости упорядоченного движения частиц \vec{v} . Под *скоростью упорядоченного движения частиц** в малом объёме ΔV (но содержащем много частиц) мы понимаем отношение геометрической суммы скоростей частиц к числу их в этом объёме:

$$\vec{v} = \frac{\sum_{i=1}^N \vec{v}_i}{N}.$$

Средняя скорость хаотически движущихся частиц равна нулю.

Пусть высота цилиндра равна пути $v\Delta t$, проходимому частицами за время Δt . Здесь v — модуль скорости упорядоченного движения частиц.

Тогда все заряженные частицы, находящиеся внутри цилиндра, за время Δt пересекут сечение цилиндра с площадью S . Если концентрация заряженных частиц в среде n , то за время Δt через сечение с площадью S будет перенесён заряд

$$\Delta q = q_0 n v \Delta t S,$$

где q_0 — заряд отдельной частицы.

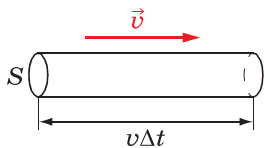


Рис. 1.5

* Эту скорость также называют *скоростью дрейфа частиц*.

Используя формулу (1), найдём силу тока в проводнике:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = q_0 n v S. \quad (2)$$

Таким образом, сила тока в проводнике прямо пропорциональна модулю заряда, переносимого каждой частицей, концентрации частиц, модулю скорости их упорядоченного движения и площади поперечного сечения проводника.

Из формулы (2) следует, что скорость упорядоченного движения частиц в проводнике равна

$$v = \frac{I}{q_0 n S}.$$

Для металлического проводника заряд q_0 , переносимый каждой частицей, — это заряд электрона: $q_0 = e$. Следовательно,

$$v = \frac{I}{enS}.$$

Скорость упорядоченного движения электронов в проводнике достаточно мала. Расчёты показывают, что в медном проводнике, площадь поперечного сечения которого равна 1 мм^2 , при силе тока 10 А эта скорость составляет примерно $7 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$. Она в сотни миллионов раз меньше средней скорости их теплового движения. *



1. Приведите примеры действий электрического тока.
2. Что представляет собой электрический ток?
3. Что называют силой тока?
4. Какие условия необходимы для возникновения и существования электрического тока?
5. От каких физических величин зависит скорость упорядоченного движения электронов в металлическом проводнике?



1. Электроны в металлах движутся под действием электрического поля, напряжённость которого равна \vec{E} . При этом оно действует на электроны с силой $\vec{F} = q\vec{E}$. Почему же электроны не движутся равноускоренно?
2. В проводнике переменного сечения ($S_1 > S_2$) протекает электрический ток. Сила тока равна I . Одинакова ли напряжённость электрического поля на участках проводника 1—2 и 2—3 (рис. 1.6)? Одинакова ли сила тока на этих участках?
3. Почему, наступая на трамвайный рельс, по которому течёт ток, мы не подвергаем себя опасности поражения током?

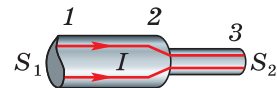


Рис. 1.6



ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Сила тока в однородном металлическом проводнике изменяется по закону $I = kt$, где коэффициент пропорциональности $k = 10$ А/с. Определите модуль заряда, прошедшего через поперечное сечение проводника, в интервале времени от 2 до 5 с.

Дано:

$$I = kt$$

$$k = 10 \text{ А/с}$$

$$t_1 = 2 \text{ с}$$

$$t_2 = 5 \text{ с}$$

$$q = ?$$

Решение:

Построим график зависимости силы тока I от времени t . Поскольку зависимость $I(t)$ линейная и $I(0) = 0$, графиком является прямая, выходящая из начала координат (рис. 1.7)

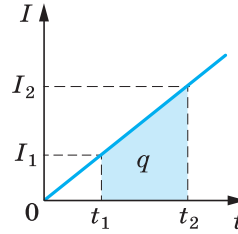


Рис. 1.7

Площадь фигуры под графиком (в данном случае трапеции) численно равна модулю заряда, прошедшего через поперечное сечение проводника.

$$q = \frac{I_1 + I_2}{2} (t_2 - t_1) = \frac{kt_1 + kt_2}{2} (t_2 - t_1) = k \frac{t_2^2 - t_1^2}{2}.$$

Подставляя числовые данные, получим

$$q = 10 \cdot \frac{5^2 - 2^2}{2} \text{ Кл} = 105 \text{ Кл}.$$

Ответ: $q = 105$ Кл.



УПРАЖНЕНИЯ

1. Определите силу тока в проводнике, если через его поперечное сечение за 10 с проходит $2 \cdot 10^{20}$ свободных электронов.
2. Сила тока в лампочке карманного фонаря равна 0,32 А. Сколько электронов пройдёт через поперечное сечение нити накала за 0,1 с?
3. В электрическую цепь последовательно включены источник тока, амперметр, электрическая лампа и ключ. За 20 с через поперечное сечение нити накала лампы проходит заряд, модуль которого равен 6 Кл. Какую силу тока покажет амперметр?
4. Найдите среднюю скорость упорядоченного движения электронов в однородном металлическом проводе площадью поперечного сечения 5 мм^2 при силе тока в нём 10 А. Концентрация свободных электронов проводимости составляет $5 \cdot 10^{22} \text{ мм}^{-3}$.

§ 2

ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ. ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ. В § 1 было показано, что для существования тока в проводнике необходимо создать разность потенциалов* ($\varphi_1 - \varphi_2$) на его концах. Она определяет силу тока I в проводнике:

$$I = f(\varphi_1 - \varphi_2).$$

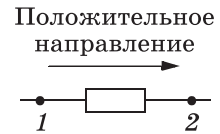


Рис. 1.8

Эту функциональную зависимость называют *вольт-амперной характеристикой* проводника. Её установление играет первоочередную роль при изучении явлений, связанных с протеканием электрического тока.

Наиболее простой вид имеет вольт-амперная характеристика металлического проводника. На рисунке 1.8 изображён участок электрической цепи 1—2. Условимся считать положительным направление слева направо. Тогда напряжение U (разность потенциалов) на рассматриваемом участке равно $U = \varphi_1 - \varphi_2$, где φ_1 — потенциал в точке 1 (в начале участка); φ_2 — потенциал в точке 2 (в конце участка). Если $\varphi_1 > \varphi_2$, то $U > 0$ и ток течёт в направлении от точки 1 к точке 2, так как в эту сторону направлены линии напряжённости электрического поля внутри проводника (при этом $I > 0$). Немецкий физик Георг Ом (1787—1854) экспериментально установил прямую пропорциональную зависимость между силой тока в однородном металлическом проводнике и напряжением на его концах:

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

Зависимость (1) можно записать в виде равенства

$$I = GU. \quad (2)$$

Это равенство называют *законом Ома для участка цепи*. В формуле (2) G — коэффициент пропорциональности (*проводимость проводника*), значение которого не зависит от напряжения между концами проводника и от силы тока в нём. Проводимость про-



Г. ОМ

* Напомним, что *разность потенциалов* между двумя точками поля — это скалярная физическая величина, равная отношению работы сил электростатического поля при перемещении пробного заряда из начальной точки в конечную, к этому заряду.

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q}.$$

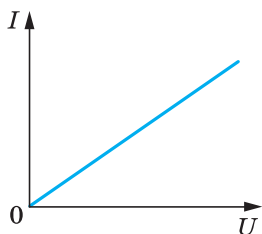


Рис. 1.9

водника зависит от материала, из которого он изготовлен, и его температуры.

Закон Ома можно сформулировать следующим образом.

Сила тока в проводнике прямо пропорциональна проводимости проводника и напряжению (разности потенциалов) на его концах.

На рисунке 1.9 приведена вольт-амперная характеристика однородного металлического проводника при постоянной температуре. Из графика видно, что при данных условиях сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на его концах.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДНИКА. Физическую величину, обратную проводимости проводника $R = \frac{1}{G}$, называют *электрическим сопротивлением* или просто *сопротивлением*. Следовательно, сопротивление также является характеристикой проводника. Если проводимость G проводника выразить через его сопротивление $G = \frac{1}{R}$, то формула (2) примет вид

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

Равенство (3) представляет собой другую форму записи закона Ома для участка цепи.

Сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению этого участка.

Подчеркнём, что закон Ома в форме (2) или (3) справедлив только для участка цепи, в котором нет источника тока. Закон Ома для участка цепи выполняется в широких пределах для металлов и их сплавов, практически для любых постоянных напряжений, при применении которых проводник не плавится. Менее широки рамки применения закона Ома для растворов (и расплавов) электролитов и сильно ионизированных газов (плазмы). При больших напряжениях он не выполняется.

Закон Ома для участка цепи позволяет ввести новую электрическую характеристику проводника — сопротивление. Сопротивление проводника представляет собой как бы меру противодействия проводника установлению в нём электрического тока. Сопротивление проводника можно определить с помощью формулы (3):

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

Единицей сопротивления в СИ является *ом* (Ом). 1 Ом — *сопротивление проводника, в котором при напряжении на его концах в 1 В сила тока в нём равна 1 А**.

Термин «сопротивление» употребляют в двух смыслах. Во-первых, электрическое сопротивление — это величина, определяющая силу тока в проводнике при заданном напряжении на его концах. В этом смысле, например, говорят: «Лампа накаливания обладает сопротивлением 400 Ом» или «Провод имеет сопротивление 0,5 Ом». Во-вторых, *резистором* (или сопротивлением) называют устройство, предназначенное для включения в электрическую цепь с целью регулирования, уменьшения или ограничения тока в цепи. В качестве такого устройства может использоваться *реостат* для регулирования силы тока в цепи путём изменения сопротивления. Резисторы применяют в радиоприёмниках, телевизорах и других устройствах.

УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДНИКА. Сопротивление зависит от материала, из которого изготовлен проводник, и от его геометрических размеров. Опыт показывает, что при неизменной температуре сопротивление R однородного металлического проводника постоянного сечения прямо пропорционально его длине l и обратно пропорционально площади S поперечного сечения проводника:

$$R \sim \frac{l}{S}. \quad (4)$$

Введём коэффициент пропорциональности и запишем зависимость (4) в виде равенства

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

Коэффициент пропорциональности ρ численно равен сопротивлению проводника единичной длины и единичного поперечного сечения и называется *удельным сопротивлением проводника*. Удельное сопротивление зависит от рода вещества и его состояния (в первую очередь от температуры). Из формулы (5) следует:

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

Единицей удельного сопротивления в СИ является *ом · метр*.

$$\frac{1 \text{ Ом} \cdot 1 \text{ м}^2}{1 \text{ м}} = 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

1 Ом · м равен удельному сопротивлению проводника площадью поперечного сечения 1 м² и длиной 1 м, имеющего сопротивление 1 Ом.

* На практике применяют кратные и дольные единицы сопротивления, например *мегаом* (МОм), *килоом* (кОм), *миллиом* (мОм): 1 МОм = 10⁶ Ом; 1 кОм = 10³ Ом; 1 мОм = 10⁻³ Ом.

ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ. Изменение температуры проводника приводит к изменению его сопротивления. С одной стороны, повышение температуры проводника вызывает увеличение числа столкновений упорядоченно движущихся заряженных частиц с частицами, составляющими проводник. В результате уменьшается средняя скорость направленного движения заряженных частиц и соответственно уменьшается сила тока. Следовательно, при повышении температуры сопротивление проводника может увеличиться.

С другой стороны, повышение температуры может привести к увеличению числа свободных заряженных частиц проводника в единице объёма (например, числа ионов раствора электролита). Это приводит к увеличению силы тока в проводнике. Иначе говоря, повышение температуры проводника может привести и к уменьшению его сопротивления.

В зависимости от преобладания одного или другого фактора с увеличением температуры сопротивление проводника может или увеличиваться (металлы), или уменьшаться (растворы электролитов, уголь), или оставаться практически неизменным (специальные сплавы).

Если при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ сопротивление проводника R_0 , а при температуре t оно равно R , то относительное изменение сопротивления, как показывает опыт, с большой степенью точности можно считать пропорциональным изменению температуры Δt :

$$\frac{R - R_0}{R_0} = \alpha \Delta t. \quad (6)$$

Коэффициент пропорциональности α называют *температурным коэффициентом сопротивления*. Он характеризует зависимость сопротивления вещества от температуры. В СИ температурный коэффициент сопротивления — *кельвин в минус первой степени* (K^{-1}). Температурный коэффициент сопротивления численно равен относительному изменению сопротивления проводника при его нагревании на 1 K . Для всех металлических проводников $\alpha > 0$ и незначительно меняется с изменением температуры. Если интервал изменения температуры небольшой, то температурный коэффициент можно считать постоянным и равным его среднему значению на этом интервале температур. У чистых (не имеющих примесей) металлов

$$\alpha \approx \frac{1}{273} \text{ K}^{-1}.$$

У растворов электролитов $\alpha < 0$, так как с ростом температуры их сопротивление уменьшается.

Зависимость удельного сопротивления от температуры можно установить, если в формулу (6) подставить значения $R = \rho \frac{l}{S}$ и $R_0 = \rho_0 \frac{l}{S}$. После математических преобразований найдём:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \Delta t).$$

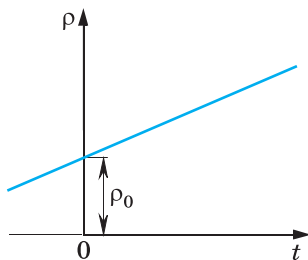


Рис. 1.10

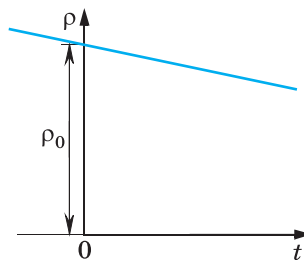


Рис. 1.11

Таким образом, *удельное сопротивление проводника линейно зависит от температуры*. На рисунке 1.10 эта зависимость изображена для металлических проводников, а на рисунке 1.11 — для растворов электролитов.



1. Какой физический смысл имеет проводимость проводника? **2.** Что характеризует сопротивление проводника? **3.** Приведите различные формулировки и формы записи закона Ома для участка цепи. **4.** При каких условиях выполняется закон Ома? **5.** Что называют удельным сопротивлением проводника? **6.** Как зависит сопротивление проводника от температуры?



1. Длину проволоки при её вытягивании увеличили в 2 раза. Как изменилось при этом её сопротивление?
2. Почему птицы могут безопасно усаживаться на провода, находящиеся под высоким напряжением?



ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Чему равна длина нихромовой проволоки в резисторе, если при включении его в сеть с напряжением 120 В сила тока в нём равна 2,4 А? Площадь поперечного сечения проволоки равна 0,55 мм².

Дано:

$$U = 120 \text{ В}$$

$$I = 2,4 \text{ А}$$

$$S = 0,55 \text{ мм}^2$$

$$\rho = 110 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$l = ?$$

СИ:

$$0,55 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Решение:

Согласно закону Ома для участка цепи

$$R = \frac{U}{I}. \quad (1)$$

Для определения сопротивления нихромовой про-

волоки в резисторе используем соотношение

$$R = \rho \frac{l}{S}. \quad (2)$$