

Девяткин К.А.

Электротехника

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 621.3
ББК 31.352
Д25

Д25 **Девяткин К.А.**
Электротехника / Девяткин К.А. – М.: Книга по Требованию, 2026. – 320 с.

ISBN 978-5-8854-2808-8

Учебное пособие по основам электротехники: электрические цепи постоянного и переменного тока, основные законы и расчёты, элементы и измерения; ориентировано на техническое обучение.

ISBN 978-5-8854-2808-8

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2026

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2026

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint



Михаил Васильевич Ломоносов
(1711—1765)

можно при трении держать непосредственно рукой, в то время как другие тела (главным образом металлы) необходимо закреплять на стеклянной или эбонитовой подставке, иначе присутствие электричества на них обнаружено не будет.

2. ПРОВОДНИКИ И НЕПРОВОДНИКИ

Возьмем металлический шар (рис. 1), укрепленный на стеклянной подставке, а затем, наэлектризовав эбонитовую палочку трением ее о мех, прикоснемся наэлектризованным местом к металлическому шару. При этом окажется, что теперь и шар будет притягивать к себе кусочки бумаги и другие легкие тела, хотя до касания к нему наэлектризованной палочкой он таких свойств не обнаруживал. Отсюда следует, что электричество перешло с палочки на шар. Если вновь натереть эбонитовую палочку и опять коснуться ею шара, то часть электричества вновь перейдет с палочки на шар. Повторяя подобные опыты несколько раз подряд, мы можем собрать на шаре большое количество электричества, или, как говорят, сообщить металлическому шару большой электрический заряд.

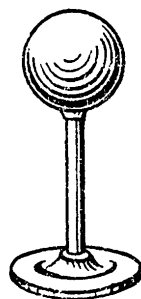


Рис. 1. Металлический шар на стеклянной подставке

Если заменить стеклянную подставку шара металлической, например медной, и попробовать наэлектризовать шар, то это не удастся, т. е. сколько бы электричества шару ни сообщали, он не будет обнаруживать никаких электрических свойств. Объясняется это тем, что электрический заряд, сообщаемый шару наэлектризованной палочкой, по медной подставке уходит в стол, а затем в землю.

С другой стороны, если заряженного шара, находящегося на стеклянной подставке, коснуться рукой или металлической проволокой, соединенной с землей, то электрический заряд с него также уйдет в землю, и шар не будет обнаруживать электрических свойств.

Отсюда следует вывод, что все встречающиеся в природе тела не одинаково проводят электричество: одни проводят его хорошо, другие плохо.

Поэтому все тела разделяются на проводники электричества и непроводники (изоляторы, или диэлектрики).

Сведения о наиболее часто употребляемых проводниках и изоляторах приведены в приложениях 3 и 4.

3. ДВА РОДА ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Электричество, получаемое путем трения на том или ином теле, оказывается по своим свойствам неодинаковым.

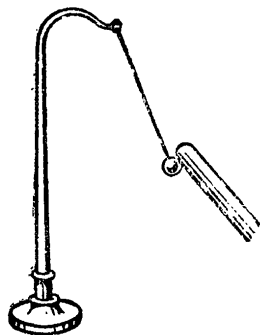


Рис. 2. Притяжение пробкового шарика к наэлектризованной палочке

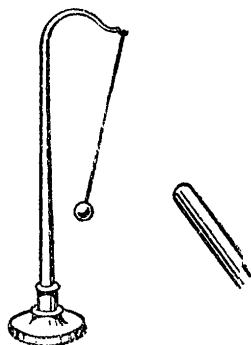


Рис. 3. Отталкивание пробкового шарика получившего заряд с наэлектризованной палочки

Проведем следующий опыт. При помощи шелковой ниточки подвесим на стойке легкий пробковый или бузиновый шарик и затем, наэлектризовав эбонитовую палочку трением о мех или сукно, поднесем ее к пробковому шарiku. При этом произойдет следующее: шарик вначале быстро притянется к эбонитовой палочке (рис. 2), но, как только коснется ее, сразу же оттолкнется и займет положение, показанное на рис. 3. Если

к этому заряженному шарiku поднести стеклянную палочку, наэлектризованную трением о шелковую материю или кожу, то шарик притянется к ней.

Возьмем теперь два шарика, подвешенных к двум стойкам на шелковых ниточках, и коснемся каждого из них наэлектризованной стеклянной палочкой.

Приближая после этого оба шарика один к другому, заметим, что они будут стремиться оттолкнуться и займут положение, показанное на рис. 4. То же самое произойдет, если оба шарика будут заряжены наэлектризованной эбонитовой палочкой.

Совершенно иные свойства будут обнаружены, если первый из двух шариков зарядить, прикоснувшись к нему наэлектризованной стеклянной палочкой, а другой шарик наэлектризовать эбонитовой палочкой. Шарики будут притягиваться один к другому (рис. 5).

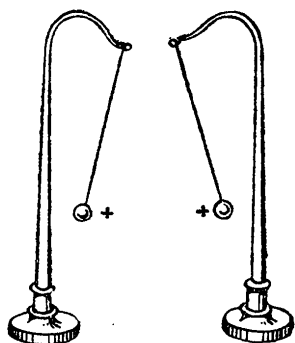


Рис. 4. Шарики с одноименными зарядами отталкиваются

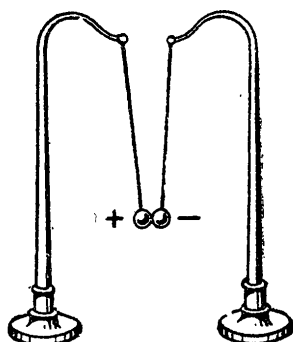


Рис. 5. Шарики с разноименными зарядами притягиваются

Проделанные опыты показывают, что необходимо различать два электрических состояния тел, или, как говорят, два рода электричества:

1) электричество, получаемое на стекле при трении его о шелковую материю или кожу, которое условились называть **положительным** электричеством;

2) электричество, получаемое на эбоните при трении его о мех или шерстяную материю, которое условились называть **отрицательным** электричеством.

Положительное электричество принято обозначать знаком плюс (+), а отрицательное знаком минус (—).

Тела, наэлектризованные одноименным электричеством, безразлично — положительным или отрицательным, одно от другого отталкиваются (рис. 4). Тела же, наэлектризованные разноименным электричеством, притягиваются одно к другому (рис. 5).

При этом необходимо иметь в виду, что притяжение или отталкивание наэлектризованных шариков будет тем сильнее, чем

меньше расстояние между ними и чем больше по величине заряд, сообщенный каждому из шариков.

Следует также помнить, что если мы, натирая стеклянную палочку шелком, получаем на стеклянной палочке положительное электричество, то, в свою очередь, на шелке мы получаем в таком же количестве отрицательное электричество. И, наоборот, при трении эбонита о мех на эбоните мы получаем отрицательное электричество, а самый мех электризуется положительно.

4. ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕОРИЯ

Все предыдущие опыты естественно вызывают вопрос: почему же до электризации тело не обнаруживало в себе никаких признаков электричества? Объясняется это тем, что всякое тело имеет в себе два рода электричества — положительное и отрицательное, находящиеся в одинаковых количествах и взаимно уравновешивающиеся.

Таким образом, при равновесии разноименных электричеств тело будет в электрическом отношении нейтральным.

При всяком искусственном нарушении этого равновесия возникало отдельно и положительное и отрицательное электричество, причем оба рода электричества, притягиваясь одно к другому, стремились соединиться и вернуть телу прежнее состояние электрического равновесия.

Выяснить природу электричества удалось только около 50 лет тому назад, когда была разработана так называемая электронная теория строения вещества. Разработка этой теории стала возможной после бессмертного открытия великим русским ученым Дмитрием Ивановичем Менделеевым периодической системы элементов.

Известно, что все встречающиеся в природе вещества делятся на простые и сложные.

Простыми веществами, или элементами, называются вещества, которые не поддаются никаким химическим разложениям или преобразованиям. Д. И. Менделеев расположил простые вещества по их свойствам в стройную таблицу.

Сложными веществами называются вещества, составленные из двух или нескольких химически соединенных простых веществ. Примером сложного вещества может служить поваренная соль (NaCl), состоящая из двух простых химически соединенных веществ: металла натрия (Na) и газа хлора (Cl).

Каждое вещество состоит из мельчайших частиц — молекул.

Молекулой какого-либо вещества называется такая мельчайшая его частица, которая является пределом физической делимости данного вещества, т. е. которая еще обладает всеми физическими и химическими свойствами этого вещества.

Молекулы каждого вещества, в свою очередь, делятся на **атомы**. Так, молекула хлористого натрия (NaCl) состоит из

Не останавливаясь пока на рассмотрении тех внешних сил, которые могут придать электронам упорядоченное движение, приведем здесь один интересный опыт, подтверждающий наличие электронов в любом теле и их материальную природу. Для опыта изготовлялась проволочная катушка с большим числом витков. Концы проволоки присоединялись к чувствительному гальванометру¹. Катушке сообщалось быстрое вращательное движение в плоскости витков, после чего она резко останавливалась. Каждый раз в момент остановки катушки стрелка гальванометра отклонялась. Отклонение стрелки гальванометра может быть объяснено только тем, что свободные электроны, находящиеся в проволоке в хаотическом состоянии, в момент резкой остановки катушки в силу инерции стремятся двигаться в направлении ее вращения, т. е. упорядоченно.

Отметим попутно, что наличием в металлах свободных электронов объясняется, в частности, способность металлов свободно проводить электричество.

В непроводниках (изоляторах) электроны значительно сильнее связаны со своими атомами, чем в металлах, и движение электронов ограничивается пределами всего лишь одной молекулы, поэтому свободное прохождение электричества по диэлектрику затруднено, а иногда и совершенно невозможно.

5. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Опыты с наэлектризованными телами, приведенные в разделе 3, свидетельствуют о том, что свойства пространства вокруг зарядов (заряженных тел) отличаются от свойств пространства, в котором нет зарядов. При этом свойства пространства при внесении в него электрического заряда изменяются не мгновенно: изменение начинается у заряда и с определенной скоростью распространяется от одной точки пространства к другой.

В пространстве, содержащем заряд, проявляются механические силы, действующие на другие заряды, внесенные в это пространство. Эти силы есть результат не непосредственного действия одного заряда на другой, а действия через качественно изменившуюся среду.

Пространство, окружающее электрические заряды, в котором проявляются силы, действующие на внесенные в него электрические заряды, называется **электрическим полем**.

Заряд, находящийся в электрическом поле, движется в направлении силы, действующей на него со стороны поля. Состояние покоя такого заряда возможно лишь тогда, когда к заряду приложена какая-либо внешняя (сторонняя) сила, уравновешивающая силу электрического поля.

Как только нарушается равновесие между сторонней силой и силой поля, заряд снова приходит в движение. Направление его движения всегда совпадает с направлением большей силы.

Для наглядности электрическое поле принято изображать так называемыми силовыми линиями электрического

¹ Гальванометр — прибор для обнаружения очень слабых электрических токов.

поля. Эти линии совпадают с направлением сил, действующих в электрическом поле. При этом условились проводить столько линий, чтобы их число на каждый 1 см^2 площадки, установленной перпендикулярно к линиям, было пропорционально силе поля в соответствующей точке.

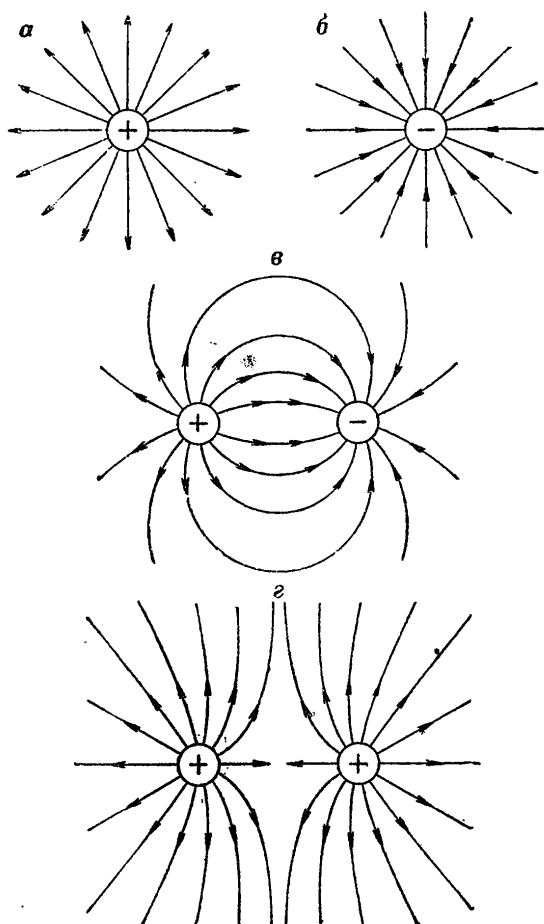


Рис. 7. Примеры изображения электрического поля при помощи силовых линий:

а — электрическое поле одиночного положительного заряда;
б — электрическое поле одиночного отрицательного заряда;
в — электрическое поле двух разноименных зарядов; **г** — электрическое поле двух одноименных зарядов

За направление поля условно принято направление силы поля, действующей на положительный заряд, помещенный в данное поле. Положительный заряд отталкивается от положительных зарядов и притягивается к отрицательным. Следовательно, поле направлено от положительных зарядов к отрицательным.

Направление силовых линий обозначается на чертежах стрелками.

Наукой доказано, что силовые линии электрического поля имеют начало и конец, т. е. они не замкнуты сами на себя. Исходя из принятого направления поля, устанавливаем, что силовые линии начинаются на положительных зарядах (положительно заряженных телах) и заканчиваются на отрицательных.

На рис. 7 показаны примеры электрического поля, изображенного при помощи силовых линий.

Нужно помнить, что силовые линии электрического поля — это лишь способ графического изображения поля. Большого содержания в понятие силовой линии здесь не вкладывается.

6. ЗАКОН КУЛОНА

Сила взаимодействия двух зарядов зависит от величины и взаимного расположения зарядов, а также от физических свойств окружающей их среды.

Для двух наэлектризованных физических тел, размеры которых пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием между телами, сила взаимодействия математически определяется следующим образом:

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2},$$

где F — сила взаимодействия зарядов в ньютонах (н)¹;

r — расстояние между зарядами в метрах (м);

Q_1 и Q_2 — величины электрических зарядов в кулонах (к)²;

k — коэффициент пропорциональности, величина которого зависит от свойств среды, окружающей заряды.

Приведенная формула читается так: **сила взаимодействия между двумя точечными зарядами прямо пропорциональна произведению величин этих зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними (закон Кулона).**

Для определения коэффициента пропорциональности k служит выражение

$$k = \frac{1}{\epsilon},$$

в котором ϵ — диэлектрическая проницаемость среды, определяющая влияние среды на силу взаимодействия зарядов.

Диэлектрическая проницаемость среды ϵ выражается произведением

$$\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0,$$

¹ Ньютон (н) — единица измерения силы, принятая в абсолютной практической электромагнитной системе единиц МКСА (см. приложение 1 в конце книги).

² 1 кулон = $6,29 \cdot 10^{18}$ зарядов электронов.

где ϵ_r — относительная проницаемость среды — отвлеченное число, показывающее, во сколько раз диэлектрическая проницаемость рассматриваемой среды выше диэлектрической проницаемости вакуума («пустоты»);

ϵ_0 — диэлектрическая проницаемость пустоты; в абсолютной практической электромагнитной системе единиц МКСА она принята равной

$$\epsilon_0 = \frac{1}{9 \cdot 10^9} \left(\frac{\text{кулон}}{\text{вольт} \cdot \text{метр}} \right).$$

Ниже приведены относительные диэлектрические проницаемости некоторых веществ.

Вакуум	1,0
Воздух	1,00059
Бумага	3,0—3,5
Парафин	2,1—2,2
Слюда	4—7,5
Целлулоид	4—16
Фарфор	6—6,5
Стекло	5,5—10
Керосин	2—2,2
Тиконад	40—80

7. ПОТЕНЦИАЛ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

В разделе 5 указывалось, что электрическое поле всегда сообщает движение заряду, если силы поля, действующие на заряд, не уравниваются какими-либо сторонними силами.

Это говорит о том, что электрическое поле обладает потенциальной энергией, т. е. способностью совершать работу.

Перемещая заряд из одной точки пространства в другую, электрическое поле совершает работу, в результате чего запас потенциальной энергии поля уменьшается.

Если заряд перемещается в электрическом поле под действием какой-либо сторонней силы, действующей навстречу силам поля, то работа совершается не силами электрического поля, а сторонними силами. В этом случае потенциальная энергия поля не только не уменьшается, а, наоборот, увеличивается.

Работа, которую совершает сторонняя сила, перемещая в электрическом поле заряд, пропорциональна величине сил поля, противодействующих этому перемещению. Совершаемая при этом сторонними силами работа полностью расходуется на увеличение потенциальной энергии поля.

Для характеристики поля со стороны его потенциальной энергии принята величина, называемая потенциалом электрического поля. Сущность этой величины состоит в следующем.

Предположим, что положительный заряд находится за пределами рассматриваемого электрического поля. Это значит, что поле практически не действует на данный заряд. Пусть сторон-

няя сила вносит этот заряд в электрическое поле и, преодолевая сопротивление движению, оказываемое силами поля, переместит заряд в данную точку поля. Работа, совершаемая силой, а значит, и величина, на которую увеличилась потенциальная энергия поля, зависит всецело от свойств поля. Следовательно, эта работа может характеризовать энергию данного электрического поля.

Энергия электрического поля, отнесенная к единице положительного заряда, помещенного в данную точку поля, и называется потенциалом поля в данной его точке.

Если потенциал обозначить буквой φ , заряд — буквой q и затраченную на перемещение заряда работу — W , то потенциал поля в данной точке выразится формулой

$$\varphi = \frac{W}{q}.$$

Из сказанного следует, что потенциал электрического поля в данной его точке численно равен работе, совершаемой сторонней силой при перемещении единицы положительного заряда из-за пределов поля в данную точку.

Потенциал поля измеряется в вольтах (в). Если при переносе одного кулона электричества из-за пределов поля в данную точку сторонние силы совершили работу, равную одному джоулю¹, то потенциал в данной точке поля равен одному вольту:

$$1 \text{ вольт} = \frac{1 \text{ джоуль}}{1 \text{ кулон}}.$$

Пример 1. Определить потенциал в точке поля, в которую перенесен из-за пределов поля заряд $q = 4 \text{ к}$, если известно, что сторонними силами при этом была совершена работа $A = 500 \text{ дж}$.

Решение. В результате того, что при переносе заряда сторонние силы совершили работу, потенциальная энергия поля увеличилась на величину $W = A = 500 \text{ дж}$.

Потенциал поля в рассматриваемой точке найдем по формуле

$$\varphi = \frac{W}{q} = \frac{500}{4} = 125 \text{ в}.$$

Следует иметь в виду, что сторонними силами совершается работа лишь тогда, когда положительный заряд вносится в электрическое поле, созданное положительными зарядами. Затраченная на перемещение заряда работа сторонних сил будет в этом случае положительна, и потенциал считается тоже положительным.

В том же случае, когда положительный заряд переносится в пределы электрического поля, образуемого отрицательными за-

¹ 1 джоуль (или ватт-секунда) равен работе, которую производит сила в 1 ньютон при перемещении точки приложения этой силы на 1 метр по ее направлению (см. приложение 1).

рядами, работа совершается за счет потенциальной энергии поля, т. е. она будет отрицательна. Потенциал такого поля тоже отрицателен.

Пример 2. При переносе заряда $q = 2$ к из-за пределов поля в точку 1 силы поля совершили работу $A = 600$ дж. Определить потенциал φ_1 в этой точке.

Решение. Потенциал в данном случае отрицательный, так как работа при переносе совершена силами поля (за счет потенциальной энергии поля). Следовательно, уменьшение энергии поля равно

$$W_1 = A_1 = -600 \text{ дж.}$$

Потенциал поля в точке 1 равен

$$\varphi_1 = \frac{W_1}{q} = \frac{-600}{2} = -300 \text{ в.}$$

Чтобы можно было сравнивать потенциалы поля, созданного совокупностью отрицательных и положительных зарядов в различных его точках, за нулевой потенциал принят потенциал земли.

Потенциал в данной точке поля, превышающий потенциал земли, считается положительным.

8. НАПРЯЖЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

В любом электрическом поле положительные заряды перемещаются от точек с более высоким потенциалом к точкам с потенциалом более низким.

Отрицательные заряды перемещаются, наоборот, от точек с меньшим потенциалом к точкам с большим потенциалом. В обоих случаях работа совершается за счет потенциальной энергии электрического поля.

Если нам известна эта работа, т. е. величина, на которую уменьшилась потенциальная энергия поля при перемещении положительного заряда q из точки 1 поля в точку 2, то легко найти напряжение между этими точками поля $U_{1,2}$:

$$U_{1,2} = \frac{A}{q},$$

где A — работа сил поля при переносе заряда q из точки 1 в точку 2.

Напряжение между двумя точками электрического поля численно равно работе, которую совершает поле для переноса единицы положительного заряда из одной точки поля в другую.

Как видно, напряжение между двумя точками поля и разность потенциалов между этими же точками представляют собой одну и ту же физическую сущность. Поэтому термины **напряжение** и **разность потенциалов** суть одно и то же. Напряжение измеряется в вольтах (в).