



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Естественные науки»

Учебное пособие

по физике для иностранных слушателей
дополнительных общеобразовательных
программ

«Физика. Электричество»

Автор
Цветковская С. М.

Ростов-на-Дону, 2019

Аннотация

Учебное пособие соответствует программе по физике для иностранных слушателей дополнительных общеобразовательных программ инженерно-технической и технологической, медико-биологической и естественнонаучной направленностям. Пособие содержит краткую теорию, контрольные вопросы, практические и тестовые задания. В задачах по расчёту сложных электрических цепей даны примеры решения.

Рекомендуется для практических занятий и самостоятельной работы слушателей.

Учебное пособие «Физика. Электричество» предназначено для иностранных слушателей дополнительных общеобразовательных программ.

Автор



доцент, кандидат
физико-математических
наук,
доцент, кафедра
«Естественные науки»
Цветковская С.М.



Оглавление

Глава 1. Электростатика4

Введение	4
1. Взаимодействие электрических зарядов	4
1.1. Закон сохранения зарядов.....	4
1.2. Закон Кулона.....	5
2. Электростатическое поле	6
2.1. Напряжённость электрического поля	6
2.2. Принцип суперпозиции.....	7
2.3. Силовые линии электрического поля.....	7
2.4. Потенциал и разность потенциалов электрического поля.....	7
2.5. Работа электростатического поля по перемещению электрического заряда	8
2.6. Напряжение (разность потенциалов).....	9
2.7. Потенциальная энергия заряда q , который находится в электрическом поле заряда Q	9
2.8. Эквипотенциальные поверхности	10
2.9. Электроёмкость	10
C, Φ (фарад).....	10
2.10. Энергия заряженного конденсатора	12
Контрольные вопросы и задания	12

Глава 2. Постоянный электрический ток13

Введение	13
1. Сила тока.....	13
2. Закон Ома для участка цепи	14
3. Электрическое сопротивление проводника.....	14
4. Зависимость сопротивления от температуры	15
5. Соединение проводников	15
Последовательное соединение проводников	15
6. Работа и мощность тока. Тепловое действие тока.	16
7. Электродвижущая сила (ЭДС). Источник тока.....	17
8. Закон Ома для полной цепи (замкнутой цепи).....	18
9. Соединение одинаковых источников тока.....	18
(батарея источников)	18
10. Расчёт сложных электрических цепей.....	19
Контрольные вопросы и задания	24

Список литературы24

ГЛАВА 1. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Введение

Электростатика – это часть учения об электричестве, в которой изучается взаимодействие неподвижных тел, которые имеют электрические заряды (электрически заряженные тела).

В природе существует два рода электрических зарядов. Американский физик Ф.Франклин (1706 – 1790) предложил назвать один род – положительными зарядами, другой отрицательными.

В природе существуют только два рода электричества:

- положительные заряды, которые обозначаются знаком «+»;
- отрицательные заряды, которые обозначаются знаком «-».

Электрический заряд – это количественная характеристика электрического взаимодействия. Электрический заряд обозначается латинскими буквами «q» или «Q».

Электрический заряд измеряется в кулонах:

$$[q]_{СИ} = \text{Кл (кулон)}.$$

Электрон – это частица, которая имеет наименьший отрицательный заряд. Заряд электрона обозначается « e^- ».

Протон – это частица, которая имеет наименьший положительный заряд. Заряд электрона обозначается « e^+ ».

Электрон и протон называются элементарными частицами. Заряд элементарной частицы равен:

$$\left| e^- \right| = \left| e^+ \right| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}.$$

Электрический заряд любого заряженного тела равен целому числу элементарных зарядов.

1. Взаимодействие электрических зарядов

1.1. Закон сохранения зарядов

В электрически изолированной системе, которая состоит и N заряженных взаимодействующих тел алгебраическая сумма всех электрических зарядов есть величина постоянная.

$$Q = \sum_{i=1}^N q_i = \text{const}$$

Электрические заряды не возникают и не уничтожаются, а перераспределяются между взаимодействующими телами.

Эксперимент показывает, что разноимённые заряды

(e^+, e^-) притягиваются, а одноимённые (e^+, e^+) или (e^-, e^-) отталкиваются.

Точечные заряды – это заряды таких тел, размерами которых можно пренебречь по сравнению с расстоянием между ними.

1.2. Закон Кулона

Кулон экспериментально установил закон:

В вакууме два точечных заряда взаимодействуют с силой, которая прямо пропорциональна величинам зарядов, обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Сила направлена вдоль прямой линии, которая соединяет эти заряды.

$$\left| \vec{F}_{12} \right| = \left| \vec{F}_{21} \right| = \left| \vec{F}_0 \right| ;$$

$$F_0 = k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} ,$$

где

F_0 – сила электрического взаимодействия зарядов в вакууме;

$|q_1|, |q_2|$ – модули взаимодействующих электрических зарядов;

r – расстояние между зарядами;

k – коэффициент пропорциональности.

В системе СИ коэффициент пропорциональности имеет вид:

$$k = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} ,$$

ε_0 – электрическая постоянная,

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл²/Н·м²; $k = 9,00 \cdot 10^9$ Н·м²/Кл².

Закон Кулона для зарядов, которые находятся в среде с диэлектрической проницаемостью ε :

$$F = k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\varepsilon \cdot r^2} ,$$

где

F – сила электрического взаимодействия зарядов в среде;

ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды.

Диэлектрическая проницаемость ε характеризует электри-

ческие свойства среды.

$$\vec{F} = \frac{\vec{F}_0}{\varepsilon}$$

Сила взаимодействия двух точечных зарядов в среде F в ε меньше силы взаимодействия этих зарядов в вакууме F_0 (расстояние между зарядами в обеих ситуациях не изменяется).

2. Электростатическое поле

Из эксперимента известно, что любой электрический заряд создаёт электрическое поле.

Внимание!

Вокруг каждого заряда существует электрическое поле.

Электростатическое поле – это электрическое поле, которое создаёт неподвижный электрический заряд.

2.1. Напряжённость электрического поля

Напряжённость электрического поля в данной точке поля - это физическая векторная величина, которая равна отношению силы, с которой электрическое поле действует на пробный заряд, помещённый в эту точку, к величине этого заряда q .

Пробный заряд – это единичный положительный заряд.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Формулы для вычисления напряжённости точечного заряда

в вакууме $\vec{E}_{a_0} = k \cdot \frac{|Q|}{r^2}$; в среде $\vec{E}_a = k \cdot \frac{|Q|}{\varepsilon \cdot r^2}$

где

$+Q, -Q$ – это заряды, которые создают электрическое поле;

\vec{E}_{a_0} – напряжённость поля в вакууме;

\vec{E}_a – напряжённость поля в в среде;

\vec{F} – сила, с которой электрическое поле действует на пробный заряд;

q – пробный заряд, помещённый в точку «а»;

r_a – расстояние от заряда Q до точки «а».

Напряжённость – это силовая характеристика поля.

2.2. Принцип суперпозиции

Пусть два заряда $+Q_1$ и $-Q_2$ создают электрическое поле. Напряжённость суммарного поля в точке «а» определяется по формуле:

$$\vec{E}_a = \vec{E}_{a1} + \vec{E}_{a2}$$

где

\vec{E}_a результирующая напряжённость в точке «а»;

\vec{E}_{a1} напряжённость, которую заряд Q_1 создаёт в точке «а»;

\vec{E}_{a2} - напряжённость, которую заряд Q_2 создаёт в точке «а»;

α – угол между векторами \vec{E}_{a1} и \vec{E}_{a2} .

Пусть N зарядов создают поле в данной точке «а», тогда результирующая напряжённость определяется по формуле:

$$\vec{E}_a = \sum_{i=1}^N \vec{E}_{ai}$$

$$|E_a| = \sqrt{|E_{a1}|^2 + |E_{a2}|^2 + 2 \cdot |E_{a1}| \cdot |E_{a2}| \cdot \cos \alpha}$$

2.3. Силовые линии электрического поля

Силовые линии или линии напряжённости - это линии, касательная к которым в каждой точке совпадают с вектором напряжённости.

Силовые линии начинаются на положительных зарядах. Силовые линии оканчиваются на отрицательных зарядах.

2.4. Потенциал и разность потенциалов электрического поля

Физика. Электричество

$$\varphi_a = \frac{W_{\text{пот}}}{q},$$

где

φ_a – потенциал поля в точке «а»;

$W_{\text{пот}}$ – потенциальная энергия пробного заряда

q – величина пробного заряда;

Q – величина заряда, который создаёт поле.

Потенциал – это энергетическая характеристика поля.

Формула для вычисления потенциала в данной точке поля

$$\varphi_a = k \cdot \frac{Q}{\varepsilon \cdot r_a},$$

где

φ_a – потенциал в точке «а»;

Q – величина заряда, который создаёт поле;

r_a – расстояние от заряда Q до точки поля «а»;

ε – диэлектрическая проницаемость среды.

Условились считать, потенциал поля

положительным (со знаком «+»), если поле создаёт положительный заряд;

отрицательным (со знаком «-»), если поле создаёт отрицательный заряд.

Потенциал в точке поля, которое создают N зарядов

$$\varphi_a = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n = \sum_{i=1}^N \varphi_i$$

2.5. Работа электростатического поля по перемещению электрического заряда

Работа силы электростатического поля по перемещению заряда между двумя произвольными, а точками не зависит от формы траектории, зависит лишь от начального и конечного положения заряда.

Силовое поле, которое имеет такое свойство, называется потенциальным. Силы этого поля называются консервативными.

Электростатическое поле – это потенциальное поле. Сила взаимодействия электрических зарядов – это консервативные силы.

Рассмотрим работу электростатического поля по перемещению электрического заряда q из точки «а» в точку «б».

Физика. Электричество

$$A_{ab} = - (W_{\text{пот}/b} - W_{\text{пот}/a}) ,$$

где

$$W_{\text{пот}/a} = \varphi_a \cdot q; \quad W_{\text{пот}/b} = \varphi_b \cdot q;$$

$$A_{ab} = - q \cdot (\varphi_b - \varphi_a) = -q \cdot \Delta\varphi;$$

Обозначим $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$, тогда

$$A_{ab} = - q \cdot U_{ab}, \text{ где}$$

A_{ab} – работа электрического поля по перемещению заряда q ;

q – заряд, который перемещает поле из точки «а» в точку «b»;

U_{ab} – напряжение электрического поля между точками «а» и «b».

$$U_{ab} = \frac{A_{a \rightarrow b}}{q}$$

2.6. Напряжение (разность потенциалов)

Напряжение между двумя точками равно отношению работы поля по перемещению заряда из начальной точки в конечную точку к величине этого заряда.

$$[U]_{\text{СИ}} = \text{Дж/Кл} = \text{В (вольт)}$$

Потенциал электрического поля в данной точке численно равен работе силы по перемещению единичного положительного заряда из данной точки поля в бесконечность.

Считают, что $\varphi_{\infty} = 0$, тогда потенциал в точке «а» определяется по формуле:

$$\varphi_a = \frac{A_{a \rightarrow \infty}}{q} .$$

2.7. Потенциальная энергия заряда q , который находится в электрическом поле заряда Q

Пусть точечный заряд q поместили в точку «а» электрического поля, которое создаёт заряд Q . Заряд q в поле заряда Q имеет потенциальную энергию $W_{\text{пот}}$.

Из определения потенциала следует:

$$W_{\text{пот}} = q \cdot \varphi_a$$

С учётом формулы для вычисления потенциала следует, что

$$W_{\text{пот}} = k \cdot \frac{q \cdot Q}{\varepsilon \cdot r_a},$$

где

$W_{\text{пот}}$ – потенциальная энергия заряда q , который находится в поле заряда Q ,

r_a – расстояние между зарядами,

ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды.

2.8. Эквипотенциальные поверхности

Эквипотенциальные поверхности – это поверхности равного потенциала.

Работа по перемещению электрического заряда вдоль эквипотенциальной поверхности равна нулю ($A=0$).

2.9. Электроёмкость

C, Ф (фарад)

Электроёмкость единённого проводника **C** – это физическая скалярная величина, равная отношению заряда проводника **q** к потенциалу поля **φ**, которое создаёт этот заряд.

$$C = \frac{q}{\varphi}$$

Электроёмкость единённого проводника характеризует его способность накапливать электрический заряд.

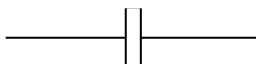
Электроёмкость измеряют в фарадах.

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

Обозначение	Название	Значение
1 Ф	фарад	1 Ф
1 мкФ	микрофарад	10^{-6} Ф
1 нФ	нанофарад	10^{-9} Ф
1 пФ	пикофарад	10^{-12} Ф

Конденсаторы – это система двух металлических пластин (обкладок), между которыми находится диэлектрик.

Условное обозначение конденсатора



$|+q| = |-q| = q$ - заряд конденсатора;

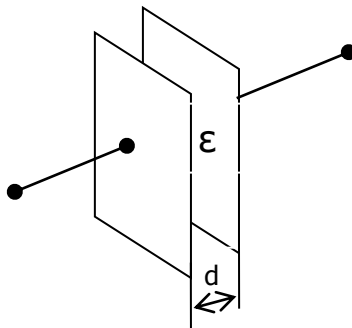
$+φ_1, -φ_2$ – потенциалы на обкладках конденсатора;

$U_{12} = φ_1 - φ_2$ напряжение на конденсаторе (разность потенциалов).

Емкость конденсатора **C** это физическая скалярная величина, которая равна отношению заряда конденсатора **q** к разности потенциалов на его обкладках

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} \quad \text{или} \quad C = \frac{q}{U_{12}}$$

Формула для вычисления ёмкости плоского конденсатора



$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S}{d}$$

где

C – ёмкость;

ε_0 – электрическая постоянная;

ε – электрическая проницаемость диэлектрика;

S – площадь поверхности одной обкладки;

d – толщина диэлектрика.

2.10. Энергия заряженного конденсатора

Энергия электрического поля, которое находится между обкладками заряженного конденсатора, вычисляется по формуле:

$$W = \frac{q \cdot U}{2} = \frac{C \cdot U^2}{2} = \frac{q^2}{2C},$$

где

W - энергия конденсатора, Дж;

q - заряд конденсатора, Кл;

U - напряжение, В;

C - электроёмкость, Ф.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое электростатика?
2. Что изучает электростатика?
3. Что такое электрически заряженное тело?
4. Какое взаимодействие заряженных тел характеризует электрический заряд?
5. Какими буквами обозначаются электрические заряды?
6. Какие два вида электрических зарядов Вы знаете? Назовите их.
7. В каких единицах измеряются электрические заряды?
8. Чему равен заряд электрона?
9. Чему равен заряд протона?
10. Сформулируйте закон сохранения электрического заряда.
11. Как взаимодействуют электрические заряды?
12. Закон Кулона.
13. Что такое точечные электрические заряды?
14. Как обозначается диэлектрическая проницаемость?
15. Каков физический смысл диэлектрической проницаемости?
16. Назовите силовую и энергетическую характеристики электрического поля.
17. Что такое напряжённость электрического поля?
18. Что называется потенциалом электрического поля?
19. В каких единицах измеряется разность потенциалов?
20. Выразите через основные единицы системы СИ 1 В, 1 Кл.
21. Что такое электрическая ёмкость?
22. Выразить через основные единицы системы СИ 1 Ф.

ГЛАВА 2. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Введение

Электрическим током называется направленное (упорядоченное) движение электрических зарядов.

Электрическая проводимость (электропроводность) – это свойство вещества проводить электрический ток.

Все вещества (по свойству электропроводности) делятся на:

- проводники (металлы, электролиты, ионизированные газы);
- полупроводники элементы (Si, Ge, Se; соединения PbS, CdS)
- диэлектрики (изоляторы, т.е. не проводники).

Электрический ток в проводнике – это направленное (упорядоченное) движение свободных электрических зарядов.

Электрический ток в металлическом проводнике – это направленное (упорядоченное) движение свободных электронов.

За направление тока принимают направление движения положительно заряженных частиц.

В металлическом проводнике направление тока противоположно направлению движения электронов.

Внимание! Ток течёт по проводнику, контуру, цепи. Ток существует в проводнике, контуре, цепи.

1. Сила тока

Сила тока I – это количественная характеристика электрического тока.

Сила тока I – это скалярная физическая величина, которая численно равна заряду, протекающему через поперечное сечение проводника в единицу времени. $I = \frac{q}{\Delta t}$,

где q – заряд, Δt – промежуток времени.

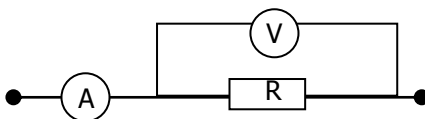
Сила тока измеряется в амперах. Единица измерения силы тока – I ампер.

$$[I]_{Cu} = A(\text{ампер})$$

$$q = I \cdot \Delta t; \quad 1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с.}$$

Электрический ток называется постоянным (постоянный электрический ток), если сила тока и направление тока не изменяются со временем (с течением времени).

2. Закон Ома для участка цепи



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

где

I - сила тока; U – напряжение; R - сопротивление.

Сила тока I на участке цепи прямо пропорциональна напряжению, приложенному к концам участка, и обратно пропорциональна сопротивлению участка.

Обратите внимание на эквивалентные понятия!

1. напряжение, приложенное к концам участка (U) .
2. Падение напряжения на участке (U) .

Вспомните!

Электрическое напряжение измеряется в вольтах. Единица измерения электрического напряжения – 1 В.

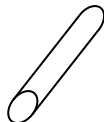
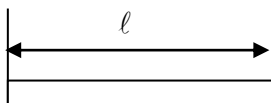
$$[U]_{Cu} = B.$$

3. Электрическое сопротивление проводника

Электрическое сопротивление или сопротивление (R) – это характеристика проводника.

Сопротивление металлического проводника определяется материалом, из которого сделан (изготовлен) проводник, его геометрической формой и размерами. Сопротивление зависит от температуры.

Для однородного цилиндрического проводника, который имеет длину ℓ и площадь поперечного сечения S , сопротивление рассчитывается по формуле:



$$R = \rho \frac{\ell}{S},$$

где

ρ - удельное сопротивление проводника, изготовленного из данного материала.

$$[\rho]_{Cu} = \frac{[R]_{Cu}[S]_{Cu}}{[\ell]_{Cu}} = \frac{Om \cdot m^2}{m} = Om \cdot m.$$

Удельное сопротивление ρ - это сопротивление однородного цилиндрического проводника, изготовленного из данного материала, имеющего единичную площадь поперечного сечения (табличная величина).

Электрическое сопротивление измеряется в Омах. Единица измерения электрического сопротивления 1 Ом.

$$[R]_{Cu} = Ом$$

1 Ом равен сопротивлению проводника, между концами которого напряжение равно 1В (одному вольту), когда сила тока равна 1А (одному амперу).

4. Зависимость сопротивления от температуры

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \cdot t^0C), \alpha = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0 t}.$$

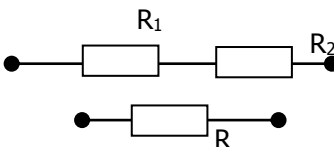
где

ρ_t - удельное сопротивление при температуре t ,

ρ_0 - удельное сопротивление при 0 °С (табличная величина); t – температура по шкале Цельсия, α - температурный коэффициент сопротивления (табличная величина).

5. Соединение проводников

Последовательное соединение проводников

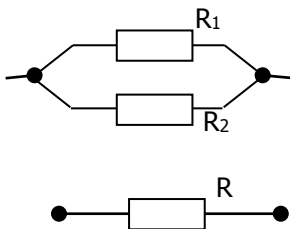


$$I = \text{const}; U = U_1 + U_2; R = R_1 + R_2$$

Если число проводников равно n , то

$$R = \sum_{i=1}^n R_i$$

Параллельное соединение проводников

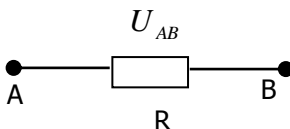


$$U = \text{const}; \quad I = I_1 + I_2; \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Если число проводников равно n , то

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

6. Работа и мощность тока. Тепловое действие тока.



Работа, которую совершает электрическое поле по перемещению заряда q на участке цепи, вычисляется по формуле:

$$A = q \cdot U_{AB} = I \cdot U_{AB} \cdot \Delta t,$$

где

I – сила тока на участке AB ;

U – напряжение на участке AB ;

Δt – время прохождения тока по участку AB ;

q – заряд, который проходит по участку AB за время Δt ;

A – работа электрического поля.

Из закона сохранения энергии следует, что

$$A = \Delta W,$$

где

ΔW – изменение энергии проводника.

Мощность тока при прохождении его по проводнику с сопротивлением R вычисляется по формуле:

$$N = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{A}{\Delta t} = I \cdot U = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}.$$

Количество теплоты, которое выделяется в проводнике с сопротивлением R , когда по нему в течение времени Δt течет ток силы I , определяется по закону Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 R_{\Delta} t, \quad \text{или} \quad Q = I \cdot U \cdot \Delta t = \frac{U^2}{R} \cdot \Delta t.$$

Внимание!

Рекомендуется закон Джоуля-Ленца записывать для проводников, соединенных последовательно в виде

$$Q_{AB} = I^2 \cdot R \cdot \Delta t, \quad \text{где} \quad R = R_1 + R_2;$$

для проводников, соединенных параллельно в виде

$$Q_{AB} = \frac{U^2_{AB}}{R} \cdot \Delta t, \quad \text{где} \quad R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

7. Электродвижущая сила (ЭДС). Источник тока.

Сторонние силы – это силы, которые перемещают электрические заряды внутри источника постоянного тока против действия сил электростатического поля.

Сторонние силы – это силы неэлектростатические.

Например, в гальваническом элементе сторонние силы возникают в результате электрохимических процессов.

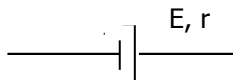
Электродвижущая сила источника (ЭДС или E) – это величина, измеряемая отношением работы, которую совершают сторонние силы по перемещению заряда вдоль замкнутого контура, к величине заряда.

$$E = \frac{A_{cm}}{q},$$

где

A_{cm} - работа сторонних сил, q – заряд.

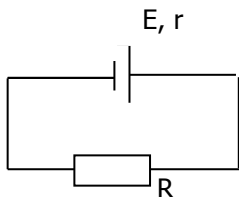
Условное обозначение источника тока



где

E - ЭДС, r - внутреннее сопротивление источника.

8. Закон Ома для полной цепи (замкнутой цепи)



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

где

E - электродвижущая сила (ЭДС),

r - внутреннее сопротивление;

R - сопротивление внешней цепи

$$E = I \cdot R + I \cdot r = U + u,$$

где

U - падение напряжения на внешнем участке цепи,

u - падение напряжения на внутреннем участке цепи.

9. Соединение одинаковых источников тока (батарея источников)

Одинаковые источники – это такие источники, у которых ЭДС равны $E_1 = E_2 = \dots = E_n = E$ и внутренние сопротивления равны $r_1 = r_2 = \dots = r_n = r$.

Последовательное соединение n источников

$$E_{\text{бат}} = E_1 + E_2 + E_3 = n \cdot E;$$

$$r_{\text{бат}} = r_1 + r_2 + r_3 = n \cdot r;$$

Закон Ома для полной цепи

$$I = \frac{n \cdot E}{n \cdot r + R};$$

Параллельное соединение m источников

$$E_{\text{бат}} = E_1 = E_2 = E_3 = E;$$

$$\frac{1}{r_{\text{бат}}} = m \cdot \frac{1}{r};$$

Закон Ома для полной цепи

$$I = \frac{E}{\frac{r}{m} + R};$$

Смешанное соединение

$$E_{\text{бат}} = n \cdot E;$$

$$r_{\text{бат}} = \frac{n \cdot r}{m};$$

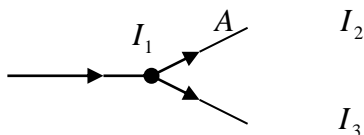
Закон Ома для полной цепи

$$I = \frac{n \cdot E}{\frac{n \cdot r}{m} + R}$$

10. Расчёт сложных электрических цепей

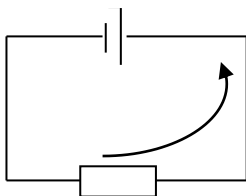
Расчет сложных (разветвленных) электрических цепей – это определение токов в различных ветвях цепи, если известны (заданы) сопротивления этих ветвей и значения всех ЭДС.

Узел ((·)A)- это точка разветвления цепи, то есть точка, в которой пересекаются не менее трех проводников. Ветвь – это часть цепи между двумя узлами.

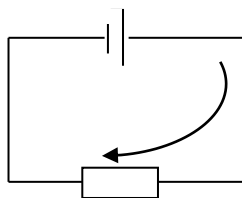


Ветвь – это часть цепи между двумя узлами.

Правило знаков. Обход контура.



против часовой стрелки $E < 0$



по часовой стрелке $E > 0$

Внимание! Направление обхода контура студент выбирает произвольно (по желанию) по или против движения часовой стрелки.

Если внутри источника тока направление обхода
от « \rightarrow » к « \leftarrow », то считают ЭДС > 0 ;
если от « \leftarrow » к « \rightarrow », то считают ЭДС < 0 .

Если цепь содержит несколько последовательно соединенных элементов с ЭДС E_1, E_2, E_3 , то полная ЭДС цепи равна алгебраической сумме ЭДС отдельных элементов (надо учитывать правило знаков).

Первое правило Кирхгофа (правило узлов)

Алгебраическая сумма токов в узле равна нулю.

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0,$$

где

n – число проводников в узле.

Считают, что токи, которые втекают в узел, имеют положительный знак. Токи, которые вытекают из узла, имеют отрицательный знак.

Второе правило Кирхгофа (правило контуров)

В любом замкнутом контуре алгебраическая сумма произведений токов I_i на сопротивление R_i ветвей равна алгебраической сумме ЭДС всех источников, имеющих в контуре.

$$\sum_{i=1}^n I_i \cdot R_i = \sum_{i=1}^m E_i,$$

где

n – число ветвей в контуре;

m – число ЭДС в контуре.

Алгоритм расчета сложных электрических цепей по правилам Кирхгофа.

1. По желанию (произвольно) выбирают направление токов во всех ветвях.
2. Для k узлов в цепи записывают $(k - 1)$ независимых уравнений первого правила Кирхгофа.
3. По желанию (произвольно) выбирают замкнутые контуры так, чтобы в каждом новом контуре была хотя бы одна ветвь, которой не было в старых (предыдущих) контурах, ранее выбранных контурах.
4. По желанию (произвольно) выбирают

Физика. Электричество

направление обхода контура по часовой стрелке или против, но во всех контурах направление обхода должно быть одинаковое: по часовой стрелке или против.

5. Записывают независимые уравнения второго правила Кирхгофа:

- если направление обхода контура совпадает с направлением тока, то $I_i R_i > 0$, если противоположно, то $I_i R_i < 0$;

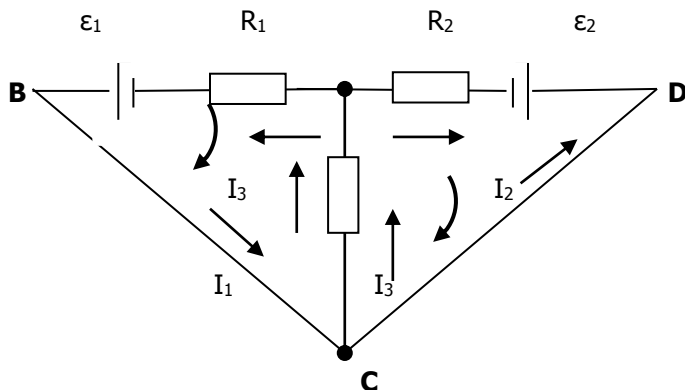
- для определения знаков ЭДС используют правило знаков.

6. Решают полученную систему уравнений относительно неизвестных токов.

Задача 1.

В электрическую цепь включено три сопротивления по 1 кОм каждое и два источника тока с ЭДС $1,5\text{ В}$ и $1,8\text{ В}$. Определить силу тока во всех сопротивлениях.

Дано:



$$R_1 = R_2 = R_3 = 1 \text{ кОм} = 10^3 \text{ Ом}$$

$$\varepsilon_1 = 1,5 \text{ В}$$

$$\varepsilon_2 = 1,8 \text{ В}$$

Найти:

$$I_1 = ?; I_2 = ?; I_3 = ?$$

Решение:

Алгоритм расчёта цепи по правилам Кирхгофа

1. Произвольно выбираем направление токов на каждом участке цепи.
2. Цепь имеет два узла (\cdot) А и (\cdot) С, следовательно, записываем одно уравнение первого правила Кирхгофа. Например, для узла (\cdot) А $-I_1 - I_2 + I_3 = 0$ (1)
3. Произвольно выбираем два контура ACBA и ADCA.
4. Произвольно выбираем направление обхода каждого контура. Пусть направление обхода будет по часовой стрелке.
5. Записываем уравнения второго правила Кирхгофа:
 Для контура ACBA $-I_1 - R_1 - I_3 \cdot R_3 = -\varepsilon_1$ (2)
 Для контура ADCA $I_2 - R_2 + I_3 R_3 = -\varepsilon_2$ (3)
6. Решаем систему трех уравнений (1), (2), (3). Учитываем, что $R_1 = R_2 = R_3 = R$

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ I \cdot R_1 + I_3 \cdot R_3 = \varepsilon_1 \\ I_2 \cdot R_2 + I_3 \cdot R_3 = \varepsilon_2 \end{cases}$$

$$I_3 = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{3R}; \quad I_3 = \frac{1,5 + 1,8}{3 \cdot 10^3} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ (A)}$$

$$I_2 = \frac{\varepsilon_2 + \varepsilon_3 \cdot R}{R}; \quad I_2 = \frac{1,8 - 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3} = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ (A)}$$

$$I_1 = I_3 - I_2; \quad I_1 = (1,1 - 0,7) \cdot 10^{-3} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ (A)}$$

Ответ: $I_1=0,4$ мА, $I_2=0,7$ мА, $I_3=1,1$ мА,

Задача 2.

Два источника тока с ЭДС $\varepsilon_1 = 1,9$ В и $\varepsilon_2 = 1,1$ В и внутренним сопротивлением $r_1 = 0,8$ Ом, $r_2 = 0,1$ Ом соединены параллельно. Внешнее сопротивление $R = 10$ Ом. Определить силу тока во внешней цепи.

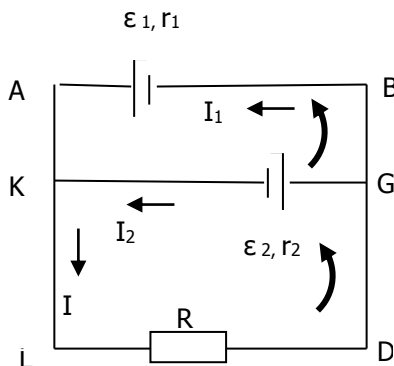
Дано:

$$\varepsilon_1 = 1,9 \text{ В и } \varepsilon_2 = 1,1 \text{ В}$$

$$r_1 = 0,8 \text{ Ом, } r_2 = 0,1 \text{ Ом,}$$

Найти: $I=?$

Физика. Электричество



Алгоритм расчёта цепи по правилам Кирхгофа

По первому правилу Кирхгофа относительно узла в (·) К записываем уравнение в виде

$$I_1 + I_2 - I = 0 \quad (1)$$

Произвольно выбираем направление токов на каждой ветви цепи.

Произвольно выбираем два контура АКCBA и ACDBA.

Произвольно выбираем направление обхода каждого контура.

Пусть направление обхода будет против часовой стрелки.

Записываем уравнения второго правила Кирхгофа для контура АКCBA:

$$I_1 \cdot r_1 - I_2 \cdot r_2 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 \quad (2)$$

Для контура ACDBA $I_1 \cdot r_1 + I \cdot R = \varepsilon_1$ (3)

Решаем систему трех уравнений (1), (2), (3).

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I = 0 \\ I_1 \cdot r_1 - I_2 \cdot r_2 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 \\ I_1 \cdot r_1 + I \cdot R = \varepsilon_1 \end{cases}$$

В результате получаем:

$$I = \frac{\varepsilon_1 \cdot r_2 + \varepsilon_2 \cdot r_1}{R(r_1 + r_2) + r_1 \cdot r_2};$$

$$I = \frac{1,9 + 0,1 + 1,1 \cdot 0,8}{10(0,8 + 0,1) + 0,8 \cdot 0,1} = \frac{0,19 + 0,88}{9 + 0,08} \approx 0,1 \text{ (A)}$$

Ответ: $I \approx 0,1 \text{ A}$.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое электрическая цепь?
2. Чем отличается замкнутая цепь от разомкнутой?
3. Что называется силой тока?
4. Что называется электрическим током?
5. Что принимается за положительное направление тока ?
6. Как включаются в цепь амперметр и вольтметр?
7. Что представляет собой ток в металлах?
8. Какой ток называется постоянным?
9. Чему равна работа по перемещению заряда 1 Кл?
10. Что называется напряжением на участке цепи?
11. Как формулируется закон Ома для участка цепи?
12. Что называется сопротивлением проводника?
13. Что такое последовательное соединение проводников?
14. Что такое последовательное соединение проводников?
15. Что такое параллельное соединение проводников?
16. Как изменяется сопротивление металлического проводника с увеличением температуры?
17. Температурный коэффициент сопротивления.
18. Как формулируется закон Ома для замкнутой цепи?
19. В каких единицах измеряют силу тока, напряжение?
20. Работа и мощность электрического тока.
21. Сформулируйте закон Джоуля – Ленца.
22. Что такое батарея источников тока?
23. Какие источники тока называются одинаковыми?
24. Сформулируйте закон Ома для замкнутой цепи с батареей источников тока?
25. Для расчёта каких цепей используются правила Кирхгофа?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физика: учеб. пособие для студ.-иностранцев. подгот. фак. вузов/Корочкина Л.Н.; Каурова Л.Д.; Шутенко Л.Д. – М.: Высш. Шк.. 1983. – 392 с.
2. Вердеревская Н.Н., Егорова С.П. Сборник задач и вопросов по физике: Учеб. пособие. – 2-е изд., доп. и перераб. – Высш. школа, 1980. – 216 с.