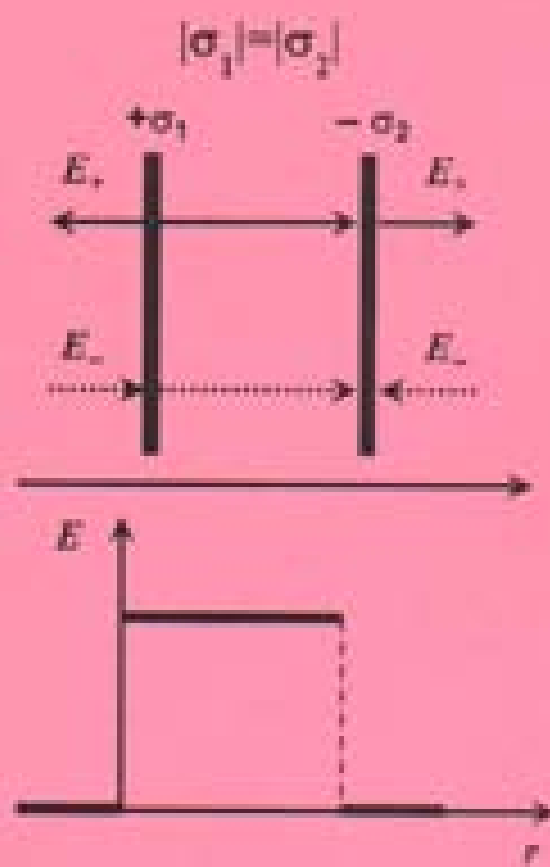


ФИЗИКА.
ЭЛЕКТРОСТАТИКА.
ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК
УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Томский государственный архитектурно-строительный университет»

**ФИЗИКА.
ЭЛЕКТРОСТАТИКА.
ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК**

Учебное пособие

Томск
Издательство ТГАСУ
2020

УДК 537.2+537.3(075.8)
ББК 22.33я73

*Авторы: Е.Л. Никоненко, Ю.В. Соловьева,
Т.В. Черкасова, Н.А. Конева, С.В. Старенченко*

**Физика. Электростатика. Постоянный электриче-
Ф 503 ский ток** : учебное пособие / Е.Л. Никоненко, Ю.В. Соловьева,
Т.В. Черкасова, Н.А. Конева, С.В. Старенченко. – Томск : Изд-
во Том. гос.archit.-строит. ун-та, 2020. – 76 с. – Текст : непо-
средственный.

ISBN 978-5-93057-950-5

В учебном пособии излагаются теоретические основы разделов курса физики «Электростатика» и «Постоянный электрический ток». Теоретический материал сопровождается контрольными вопросами и примерами решения задач. Пособие содержит задачи для самостоятельного решения и выполнения контрольных работ.

Учебное пособие составлено в соответствии с ФГОС ВПО (3++) по дисциплине «Физика» для инженерно-технических профилей направлений подготовки бакалавров. Предназначено для студентов высших технических учебных заведений очной, очно-заочной и заочной форм обучения. Может быть использовано при реализации электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

УДК 537.2+537.3(075.8)
ББК 22.33я73

Рецензенты:

А.А. Клопотов, докт. физ.-мат. наук, профессор, ТГАСУ;

Ю.Ф. Иванов, докт. физ.-мат. наук, профессор ИСЭ СО РАН.

ISBN 978-5-93057-950-5

© Томский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2020

© Никоненко Е.Л., Соловьева Ю.В.,
Черкасова Т.В., Конева Н.А.,
Старенченко С.В., 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| Предисловие | 4 |
| Введение | 5 |
| 1. Электростатика | 6 |
| 1.1. Электрический заряд и его свойства | 6 |
| 1.2. Закон Кулона | 7 |
| 1.3. Напряженность электрического поля точечного заряда | 9 |
| 1.4. Графическое изображение электростатического поля. Силовые линии | 10 |
| 1.5. Принцип суперпозиции электростатических полей. Определение напряженности электростатического поля | 11 |
| 1.6. Расчет напряженности электростатических полей, созданных равномерно заряженными телами | 13 |
| 1.7. Потенциальный характер электростатического поля | 22 |
| 1.8. Потенциал электрического поля точечного заряда и системы зарядов | 29 |
| 2. Электрический ток в металлах. Законы постоянного тока | 33 |
| 2.1. Электрический ток, сила тока, плотность тока | 33 |
| 2.2. Закон Ома | 35 |
| 2.3. Закон Джоуля – Ленца | 37 |
| 2.4. Правила Кирхгофа | 38 |
| 3. Контрольные вопросы и задания для самоконтроля по разделам общей физики: «Электростатика» и «Постоянный электрический ток» | 40 |
| 4. Примеры решения задач | 42 |
| 5. Контрольные задания по вариантам | 59 |
| Приложение 1. Сравнение характеристик потенциальных (гравитационного и электростатического) полей | 69 |
| Приложение 2. Приставки для обозначения кратных и дольных единиц | 70 |
| Приложение 3. Определение напряженности и потенциала | 71 |
| Приложение 4. Основные физические постоянные (округленные значения | 72 |
| Список литературы | 74 |

ПРЕДИСЛОВИЕ

В связи с переходом высших учебных заведений на обучение в соответствии с новыми Федеральными государственными образовательными стандартами третьего поколения (ФГОС ВПО 3++), актуальным методическим вопросом преподавания различных дисциплин становится организация самостоятельной работы студентов. Чрезвычайно важной также является разработка методических материалов для реализации электронного и дистанционного обучения. Целью создания настоящего учебного пособия по дисциплине «Физика» стала возросшая в последнее время необходимость обеспечения студентов материалами, максимально ориентированными на самостоятельную аудиторную и внеаудиторную работу.

В предлагаемом пособии в сокращенной форме излагаются теоретические основы двух разделов физики: «Электростатика» и «Постоянный электрический ток» (разд. 1, 2). Вопросы и задания позволяют контролировать освоение изученного теоретического материала (разд. 3). Приведенные примеры решения задач (разд. 4) сгруппированы в соответствии с конкретными темами теоретических разделов и контрольных заданий. В разд. 5 пособия приведены задачи, сгруппированные по темам, и таблица для выбора варианта контрольного задания. В конце пособия имеются справочные Приложения и Список литературы.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение одного из самых важных разделов физики – электромагнетизма мы начнем с электростатики – науки, изучающей электрические взаимодействия неподвижных зарядов и связанных с ними электростатических полей.

Становление электростатики происходило в XVI–XVII вв. в Европе, и большой вклад в это внесли такие ученые, как В. Гильберт (1540–1603), Б. Франклин (1706–1790), М. Ломоносов (1711–1765), Ш. Кулон (1736–1806) и многие другие. Уже тогда ученые поняли, что наряду с такой фундаментальной силой, как сила тяготения, между телами проявляется действие и иных фундаментальных сил. Важнейшее место среди них занимает электрическое взаимодействие, которое подобно тяготению также изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния, но является намного более сильным. С электрическим взаимодействием, как показывает опыт, тесно связано и магнитное взаимодействие. Попытки объяснить природу сил тяготения, так же как электрических и магнитных явлений, вплоть до XVIII в. оставались безуспешными. Усилия ученых были направлены на выяснение тех законов, которые определяют взаимодействие между точечными объектами, обладающими электрическими и магнитными свойствами. Эти законы копировали закон всемирного тяготения Ньютона (например, закон Кулона) и описывали взаимодействие тел на расстоянии, причем взаимодействие должно распространяться с бесконечно большой скоростью. В отличие от сил тяготения, силы электрического взаимодействия могут быть как силами притяжения, так и силами отталкивания.

Электрические явления играют важную роль в науке и технике и определяют развитие энергетики, транспорта, вычислительных технологий и т. д.

1. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

1.1. Электрический заряд и его свойства

С давних времен человечеству известны такие явления, как молния во время грозы (проявление атмосферного электричества) и электризация при трении тел (потертый янтарь приобретает свойство притягивать легкие предметы). В 1752–1753 гг. М.В. Ломоносов и Г.В. Рихман в России и Б. Франклин в Америке экспериментально доказали, что оба эти явления имеют общие черты. Так, например, мощная молния и слабые искорки, наблюдаемые в темной комнате при расчесывании волос гребнем, оказались одним и тем же электрическим разрядом в воздухе. В это же время была выдвинута гипотеза о существовании двух типов разноименных электрических зарядов. Электрический заряд, скапливающийся на потертой кожей стеклянной палочке, был назван положительным, а заряд на потертом мехом куске смолы – отрицательным. Опыты также показали, что заряды взаимодействуют между собой. Обсудим подробнее *электрический заряд и его свойства*. Можно выделить четыре свойства электрических зарядов.

1. *Знак заряда*. Заряды (q) могут быть положительными и отрицательными. Одноименные заряды отталкиваются, а разноименные притягиваются.

2. Второе свойство – *сохранение заряда*. Полный заряд изолированной системы никогда не изменяется. Под изолированной системой мы понимаем такую систему, через границы которой не проникает никакое другое вещество. При этом свет не изменяет это свойство системы, поскольку фотоны не несут зарядов.

Закон сохранения заряда можно сформулировать так. В изолированной системе полный электрический заряд, т. е. алгебраическая сумма положительных и отрицательных зарядов, остается постоянной:

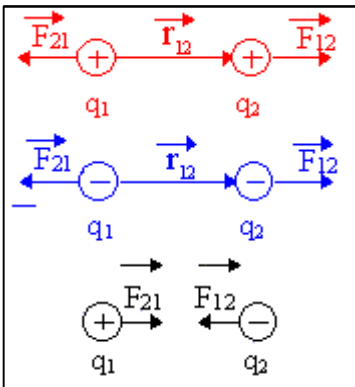
$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const.}$$

3. *Квантование заряда* – это третье свойство. Эксперименты показывают, что ни у одной из заряженных частиц не встречается заряд, который был бы меньше заряда электрона или протона. Этот элементарный заряд равен $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл и обозначается символом e . Электрическая нейтральность атома обусловлена тем, что число протонов и электронов в атоме одинаково. Обнаружено, что заряды, которые существуют в природе, кратны величине элементарного заряда e . Любой заряд можно представить как $q = N \cdot e$, где N – целое число. Экспериментальное определение величины e и тем самым прямое доказательство дискретности электрического заряда было впервые осуществлено Р. Милликеном в 1909 г.

4. Четвертое свойство – это *релятивистская инвариантность (неизменность) заряда*. Заряд инвариантен по отношению к различным системам отсчета. Это означает, что величина заряда в различных системах отсчета одинакова.

1.2. Закон Кулона

В 1786 г. Ш. Кулон установил, что взаимодействие точечных зарядов происходит с силами, прямо пропорциональными зарядам q_1 и q_2 и обратно пропорциональными квадрату расстояния r между ними (рис. 1.1):



$$F = F_{12} = F_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2},$$

Эта сила (F) называется *кулоновской силой*. Коэффициент $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ – это ко-

эффициент в Международной системе единиц (СИ), где ϵ_0 – электрическая постоянная; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл²/Н·м².

Рис. 1.1

В векторной форме закон Кулона имеет вид:

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}_{12}}{r}, \quad (1)$$

и

$$\vec{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}_{21}}{r}, \quad (2)$$

где \vec{F}_{12} – сила, с которой заряд 2 действует на заряд 1; \vec{r}_{12} – радиус-вектор (вектор, направленный от заряда 2 к заряду 1 и равный по модулю расстоянию между зарядами – r); \vec{F}_{21} – сила, с которой заряд 1 действует на заряд 2; \vec{r}_{21} – радиус-вектор (вектор, направленный от заряда 1 к заряду 2 и равный по модулю расстоянию между зарядами – r)).

Опыты показали, что наличие диэлектрической среды вокруг зарядов уменьшает силу их взаимодействия. Сравним силы между зарядами в отсутствие диэлектрической среды (F_o) и при ее наличии (F).

$$F_o = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad (3)$$

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2}, \quad (4)$$

$$\frac{F_o}{F} = \epsilon. \quad (5)$$

ϵ – диэлектрическая проницаемость среды ($\epsilon > 1$) показывает, во сколько раз сила взаимодействия зарядов в вакууме (в отсутствие среды) больше силы взаимодействия в среде.

Заметим, что закон Кулона подобен закону всемирного тяготения ($F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$). Взаимодействие зарядов, описанное выше, происходит посредством электрического поля.

Поле – это вид материи. Посредством электрических полей происходит взаимодействие зарядов в пространстве. Вокруг каждого неподвижного заряда создается электростатическое поле.

1.3. Напряженность электрического поля точечного заряда

Пусть есть некоторый заряд q . Назовем его источником электростатического поля. В поле, созданное этим зарядом, внесем другой заряд q_0 . Назовем его *пробным*, т. к. с его помощью мы сможем установить существование поля в некоторой точке. Пробный заряд – это положительный заряд, практически не изменяющий электростатическое поле, в которое он помещен. На пробный заряд в электростатическом поле заряда q действует сила:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r^2}. \quad (6)$$

Поделим F на q_0 :

$$\frac{F}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}. \quad (7)$$

Заметим, $\frac{F}{q_0}$ не зависит от величины пробного заряда, а зависит лишь от величины заряда q – источника поля и от положения в пространстве точки, в которой изучается поле (т. е. от радиус-вектора \vec{r} положения изучаемой точки поля, если за точку отсчета взято положение источника поля q).

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}. \quad (8)$$

Напряженность электростатического поля \vec{E} – это векторная физическая величина, численно равная силе, действующей на пробный заряд, помещенный в данную точку поля, и направленная как сила, действующая на положительный заряд. Для

электростатического поля, созданного точечным зарядом в вакууме,

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}, \quad (9)$$

в среде

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\epsilon r^2} \frac{\vec{r}}{r}. \quad (10)$$

Тогда силу \vec{F} , действующую на заряд q_0 , помещенный в электростатическое поле с напряженностью \vec{E} , используя выражение (8), можно записать следующим образом:

$$\vec{F} = \vec{E}q_0. \quad (11)$$

1.4. Графическое изображение электростатического поля. Силовые линии

Электрическое поле можно задать, указав для каждой точки величину и направление вектора напряженности поля \vec{E} . Графически это поле характеризуют с помощью линий напряженности или *силовых линий*. Силовые линии проводятся таким образом, чтобы касательная к ним в каждой точке совпадала с направлением вектора напряженности \vec{E} в этой точке поля. Густота силовых линий выбирается так, чтобы количество линий, пронизывающих единицу поверхности, перпендикулярную силовым линиям, было равно численному значению вектора \vec{E} . Тогда по картине линий напряженности можно судить о направлении и величине вектора напряженности \vec{E} в разных точках пространства.

Силовые линии – это незамкнутые, гладкие, непрерывные линии, начинающиеся на положительных и оканчивающиеся на отрицательных зарядах (рис. 1.2). Силовые линии никогда не пересекаются, т. к. вектор \vec{E} в каждой точке поля имеет только одно значение.

Учебное издание

*Никоненко Елена Леонидовна
Соловьева Юлия Владимировна
Черкасова Татьяна Викторовна*

Конева Нина Александровна

Старенченко Светлана Васильевна

**ФИЗИКА.
ЭЛЕКТРОСТАТИКА.
ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК**

Редактор Т.А. Титоренко
Оригинал-макет подготовлен Т.А. Титоренко

Подписано в печать 30.12.2020.
Формат 60×84/16. Бумага офсет. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 4,41. Уч.-изд. л. 4. Тираж 150 экз.
Первый завод 76 экз. Зак. № 137.

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.