

№ 2375

Д.Е. Капуткин  
В.В. Пташинский  
Ю.А. Рахштадт

# **Физика**

Электричество и магнетизм

Учебное пособие для практических занятий по физике

Часть 2

**№ 2375**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»

Кафедра физики

Д.Е. Капуткин  
В.В. Пташинский  
Ю.А. Рахштадт

# **Физика**

## **Электричество и магнетизм**

Учебное пособие для практических занятий по физике

Часть 2

Под редакцией профессора В.В. Пташинского

Допущено учебно-методическим объединением по образованию в области металлургии в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 150400 – Металлургия



**ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ**

Москва 2013

УДК 530.1  
К20

Рецензент  
доц. Ю.В. Осипов

**Капуткин, Д.Е.**

К20 Физика : электричество и магнетизм : учеб. пособие для практ. занятий по физике ; под ред. В.В. Пташинского / Д.Е. Капуткин, В.В. Пташинский, Ю.А. Рахштадт. – М. : Изд. Дом МИСиС, 2013. – 91 с.

ISBN 978-5-87623-741-5

Данный сборник предназначен для студентов НИТУ «МИСиС» всех направлений подготовки и содержит задачи по основным разделам общего курса физики для самостоятельного решения при выполнении домашних заданий. В сборнике имеются краткие методические указания по выполнению заданий. Приведены примеры решения и оформления задач, а также задачи для самостоятельного решения. В приложении содержатся некоторые справочные данные.

**УДК 530.1**

**ISBN 978-5-87623-741-5**

© Д.Е. Капуткин,  
В.В. Пташинский,  
Ю.А. Рахштадт, 2013

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Методические указания по выполнению заданий .....	5
Глава 3. Электростатика .....	7
3.1. Электрические поля точечных и распределенных зарядов. Взаимодействие зарядов .....	7
Примеры решения задач .....	8
Домашние задания .....	14
3.2. Поле электрического диполя. Электрический диполь в электростатическом поле .....	17
Примеры решения задач .....	18
Домашние задания .....	20
3.3. Емкость. Конденсаторы и их соединения .....	22
Примеры решения задач .....	23
Домашние задания .....	24
3.4. Движение в электростатическом поле .....	26
Примеры решения задач .....	26
Домашние задания .....	29
Глава 4. Постоянный ток .....	32
4.1. Законы Кирхгофа .....	32
Примеры решения задач .....	33
Домашние задания .....	34
4.2. Электрический ток в металлах .....	36
Примеры решения задач .....	38
Домашние задания .....	39
4.3. Электрический ток в жидкостях .....	40
Примеры решения задач .....	41
Домашние задания .....	42
Глава 5. Электромагнетизм .....	44
5.1. Магнитное поле .....	44
Примеры решения задач .....	45
Домашние задания .....	47
5.2. Движение в магнитном поле .....	49
Примеры решения задач .....	49
Домашние задания .....	52
5.3. Движение в совместных электрическом и магнитном полях .....	54
Примеры решения задач .....	54
Домашние задания .....	56
5.4. Электромагнитная индукция .....	58

Примеры решения задач .....	59
Домашние задания.....	62
Глава 6. Электрический колебательный контур.....	67
6.1. Собственные колебания .....	67
Примеры решения задач .....	68
Домашние задания.....	70
6.2. Затухающие колебания .....	71
Примеры решения задач .....	72
Домашние задания.....	73
Глава 7. Электромагнитные волны .....	76
7.1. Основные законы, уравнения и формулы .....	76
7.2. Эффект Доплера в оптике.....	77
Примеры решения задач .....	77
Домашние задания.....	79
Задачи для самостоятельной подготовки .....	81
Электрическое поле.....	81
Постоянный ток .....	82
Электромагнетизм .....	83
Приложение .....	85
Библиографический список.....	90

## Методические указания по выполнению заданий

Решение физических задач является необходимой составной частью изучения курса физики. Знакомясь с основными физическими законами, нужно учиться применять их к решению конкретных задач.

При практическом исследовании из всей совокупности физических величин, характеризующих какой-либо процесс или объект, одни удаётся измерить непосредственно, другие вычисляются косвенным путем на основании известных зависимостей. При использовании различных методов исследования те величины, которые измерялись непосредственно в одном случае, оказываются неизвестными, искомыми в другом. Поэтому надо уметь подходить к анализу одного и того же явления с различных сторон, базируясь на различных совокупностях исходных данных.

Но нахождение аналитического выражения, определяющего искомую величину через исходные данные, решение задачи в общем виде – это только часть дела. Ни одна задача, с которой в своей практической деятельности встречается инженер или научный сотрудник, не может считаться полностью решенной, пока не получено численное значение искомой величины. Только тогда теоретический результат имеет практическую ценность, когда он может быть сопоставлен с экспериментальным. Поэтому умение вычислять результат с требуемой точностью по полученной формуле является совершенно необходимым. При подстановке исходных данных в окончательную формулу необходимо следить за используемыми единицами измерения, уметь оценить порядок получаемого результата.

Помещенные в данном сборнике задачи сгруппированы по главам, охватывающим основные разделы общего курса физики. К каждой задаче, сформулированной в общем виде, дается в форме таблицы по 5 наборов числовых данных, обозначенных соответствующими номерами /Шифрами/. Величина, числовое значение которой требуется определить в данном Шифре, обозначается знаком «?». Величины, обозначенные «→», для решения данного Шифра не требуются, определять их не нужно.

Единицы измерения, в которых необходимо выразить определяемую величину, указаны в заголовке соответствующей графы таблицы числовых данных. Во многих случаях используются единицы, дольные или кратные по отношению к единицам системы СИ, а также другие единицы, применяемые в науке и технике. Таблицы единиц измерения физических величин, соотношения между различными единицами, приставки для образования кратных и дольных единиц, а также значения основных физических и астрономических постоянных содержатся в приложении /табл. 1–3/.

В домашние задания, выполняемые студентами при изучении курса физики, включаются задачи из настоящего сборника. Сроки

сдачи домашних заданий устанавливаются семестровым графиком учебных занятий студентов. Номер варианта и номер задач, входящих в каждое задание, определяются маршрутом выполнения домашних заданий в соответствии с порядковыми номерами студентов по списку группы. Номер Шифра выбирается также в соответствии с номером студента по списку согласно таблице:

Шифр	1	2	3	4	5
№№ СТУДЕНТОВ	01, 06, 11, 16, 21, 26	02, 07, 12, 17, 22, 27	03, 08, 13, 18, 23, 28	04, 09, 14, 19, 24, 29	05, 10, 15, 20, 25, 30

Задание должно быть оформлено в отдельной тонкой тетради школьного типа, на обложке которой указываются: группа, фамилия, порядковый номер студента по списку группы, номер задания, номер варианта, номер задач по сборнику, Шифр.

При решении каждой задачи необходимо записать условия, дать чертеж, поясняющий задачу. На чертеже указать все рассматриваемые объекты, обозначения, векторы, систему координат. Разъяснить роль идеализации и допущений, сделанных в задаче.

Следует обосновать использование тех или иных физических законов и дать их математическую запись применительно к рассматриваемой задаче. Выбрать при этом наиболее удобную для решения систему единиц /желательно систему СИ/. Решить полученную систему уравнений и записать ответ /если возможно / в аналитическом виде. Затем произвести проверку размерности результата, а также дать анализ полученного ответа.

Числовые данные следует подставлять в формулу только после того, как задача решена в общем виде. При этом их надо предварительно выразить в единицах одной системы /например, СИ / – той же системы, в которой записаны все формулы. В случае, когда и в числитель, и в знаменатель формулы входят однородные величины /например, длина / с одинаковыми показателями степени, их допускается выражать в любых, но обязательно одинаковых единицах.

После подстановки числовых данных производится вычисление значения неизвестной величины. При расчетах следует руководствоваться правилами приближенных вычислений /например, если множители содержат по 4 значащих цифры, то и произведение следует округлить до 3 значащих цифр, избегая лишних десятичных знаков /.

Получив результат, необходимо указать сокращенное наименование или размерность единицы измерения искомой величины в той системе, в которой производилось вычисление. Затем, если нужно, выразить ответ в тех единицах, которые указаны в заголовке соответствующей графы таблицы числовых данных.

## ГЛАВА 3. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

### 3.1. Электрические поля точечных и распределенных зарядов. Взаимодействие зарядов

#### Основные законы, уравнения и формулы

Величина заряда зависит от плотности распределения заряда и от размеров заряженного тела:

$$\left. \begin{aligned} Q &= \iiint_V \rho dV, \\ Q &= \iint_S \sigma dS, \\ Q &= \int_\ell \lambda dl \end{aligned} \right\} \quad (3.1.1)$$

В формулах (3.1.1)  $\rho$ ,  $\sigma$  и  $\lambda$  – *объемная, поверхностная и линейная плотности* распределения заряда в объеме  $V$ , по поверхности  $S$  и на длине  $\ell$  соответственно.

Электрическая сила, действующая со стороны поля напряженностью  $\vec{E}$  на заряд  $Q$ , равна

$$\vec{F}^э = Q \cdot \vec{E}. \quad (3.1.2)$$

Напряженность кулоновского электрического поля неподвижного точечного заряда

$$\vec{E}(\vec{r}) = k \frac{Q}{\epsilon r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}, \quad (3.1.3)$$

где заряд  $Q$  – источник поля,  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды.

**Закон Кулона:** Электрическая сила, действующая между двумя *точечными* зарядами  $Q_1$  и  $Q_2$ :



$$\vec{F}_{1 \rightarrow 2} = k \frac{Q_1 Q_2}{\epsilon r^2} \frac{\vec{r}_{12}}{r}, \quad (3.1.4)$$

Силовая (векторная) характеристика электрического поля  $\vec{E}$  и энергетическая (скалярная) характеристика поля – потенциал  $\varphi$  связаны друг с другом соотношением:

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi,$$

где  $\text{grad}\varphi$  (*градиент потенциала*) – вектор, направленный в сторону быстрого увеличения потенциала поля.

Потенциал поля точечного заряда  $Q$ :

$$\varphi = k \frac{Q}{\epsilon r}. \quad (3.1.5)$$

**Принцип суперпозиции полей:**  $\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i$ ,  $\varphi = \sum_i \varphi_i$ . (3.1.6)

где  $\vec{E}_i$  – напряженность и  $\varphi_i$  – потенциал электрических полей, которые создавались бы каждым из зарядов этой системы в отсутствие остальных.

**Теорема Гаусса:** Поток  $\Phi$  вектора  $\vec{E}$  через произвольную замкнутую поверхность  $S$ :

$$\Phi = \oiint_S (\vec{E} d\vec{S}) = \frac{q}{\epsilon_0}, \quad (3.1.7)$$

где  $q$  – суммарный заряд внутри поверхности  $S$ ,  $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k}$  – электрическая постоянная.

### Примеры решения задач

**Пример 3.1.1.** Пять точечных зарядов расположены в вакууме так, как показано на рис. 3.1 ( $q_1, q_2, q_3, q_4$  находятся в вершинах квадрата со стороной  $a = 1$  м, а  $q_5$  – в его середине). Определите величину силы, действующей на заряд  $q_5$ , если  $q_1 = q_2 = -1$  мкКл,  $q_3 = q_4 = q_5 = +1$  мкКл.