

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра физики

ФИЗИКА

Часть II

Раздел I

**ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК.
ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ**

Методические указания
к решению задач и контрольные задания по физике
для студентов- заочников всех направлений подготовки

Казань
2013

УДК 537
ББК 22.343
Ф95

Ф95 Физика. Ч. II. Р. I. Электростатика. Постоянный электрический ток. Электромагнетизм: Методические указания к решению задач и контрольные задания по физике для студентов-заочников всех направлений подготовки / Сост. В.Л. Фурер. Под ред. В.В. Алексеева. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2013. – 34 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Данные методические указания являются составной частью методического обеспечения организации самостоятельной работы студентов-заочников. Приведены условия задач и основные формулы, необходимые для их решения.

Илл. 7; табл. 5

Рецензент
Доцент кафедры автоматики и электротехники
В.С. Дериновский

УДК 537
ББК 22.343

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2013

© Фурер В.Л., 2013

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА КУРСА ФИЗИКИ
ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ
СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ЗАОЧНЫХ ОТДЕЛЕНИЙ И ВУЗОВ

Электростатика, постоянный ток, электромагнетизм

1. Электрические свойства тел. Элементарный заряд. Закон сохранения электрического заряда.
2. Закон Кулона. Электрическая постоянная.
3. Электрическое поле. Напряженность поля. Принцип суперпозиции полей. Силовые линии поля.
4. Поток вектора напряженности. Теорема Остроградского-Гаусса и ее применение.
5. Работа сил электрического поля при перемещении зарядов.
6. Потенциал электростатического поля. Связь потенциала и напряженности.
7. Вычисление потенциала и разности потенциалов в точках полей создаваемых одним зарядом, заряженной плоскостью, двумя плоскостями.
8. Проводник в электрическом поле.
9. Свободные и связанные заряды. Электрический диполь. Электрический момент диполя. Диполь в однородном электрическом поле. Поляризация диэлектриков. Вектор электрического смещения.
10. Емкость проводника. Конденсаторы. Соединения конденсаторов. Энергия системы зарядов, заряженного конденсатора, электрического поля. Объемная плотность энергии.
11. Электрический ток, сила тока, плотность тока. Закон Ома для участка цепи. Сопротивление проводников.
12. Источники тока. Электродвижущая сила (ЭДС). Закон Ома для полной цепи. Закон Кирхгофа.
13. Работа и мощность тока. Закон Джоуля-Ленца. КПД источника тока.
14. Элементарная классическая теория электропроводности металлов.
15. Магнитное поле, магнитная индукция. Силовые линии магнитного поля. Магнитная проницаемость. Принцип суперпозиции магнитных полей.
16. Закон Био-Савара-Лапласа для элемента тока. Поле прямолинейного и кругового токов. Магнитный момент кругового тока. Закон Ампера.
17. Циркуляция вектора магнитной индукции. Магнитный поток. Работа перемещения контура с током в магнитном поле.
18. Магнитное поле движущегося заряда. Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в однородном магнитном поле.
19. Отклонение движущихся заряженных частиц электрическим и магнитным полями. Масс-спектрометры.
20. Магнитное поле в веществе. Понятие об элементарных токах. Намагничивание вещества, намагниченность, магнитная проницаемость. Напряженность магнитного поля.

21. Деление вещества на диамагнетики и парамагнетики.
22. Ферромагнитные вещества и их характеристики. Домены. Гистерезис. Точка Кюри.
23. Электромагнитная индукция. Индукционный ток. Правило Ленца. ЭДС индукции. Закон электромагнитной индукции Фарадея.
24. Явление самоиндукции. Индуктивность, взаимная индукция.
25. Энергия магнитного поля соленоида. Плотность энергии магнитного поля.
26. Уравнение Максвелла. Первое уравнение Максвелла для стационарных полей. Ток смещения. Система уравнений Максвелла в интегральной форме для произвольных полей.

Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики: В 5 кн.: учеб. пособие для вузов / И.В. Савельев. – М.: АСТ: Астрель, 2004.
2. Фриш С.Э. Курс общей физики: учебник: в 3-х т / С.Э. Фриш, А.В. Тиморева. – СПб.: Лань, 2007. –Т. 1, 2,3
3. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Высшая школа.
4. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики: для студентов техн. вузов. – СПб.: Книжный мир, 2007.
5. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики с решениями: учебное пособие для студентов вузов. – М.: Высшая школа, 2008.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ И ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

1. За время изучения курса общей физики студент-заочник должен представить в учебное заведение четыре контрольные работы.
2. Номера задач, которые студент должен включить в свою контрольную работу, определяются по таблицам вариантов.
3. Контрольные работы нужно выполнить чернилами в школьной тетради, на обложке которой необходимо четко привести следующие сведения: фамилию, имя, отчество; факультет, шифр, подробный адрес, номер выполняемой контрольной работы.
4. Условия задач в контрольной работе надо переписать полностью без сокращений. Для замечаний преподавателя на страницах тетради оставлять поля.
5. В конце контрольной работы указать, каким учебным пособием или учебником студент пользовался при изучении физики (название учебника, автор, год издания). Это делается для того, чтобы рецензент в случае

необходимости мог указать, что следует студенту изучить для завершения контрольных работ.

6. Высылать на рецензию следует одновременно не более одной работы. Во избежание одних и тех же ошибок очередную работу следует высылать только после получения рецензии на предыдущую.

7. Если контрольная работа при рецензировании не зачтена, студент обязан представить ее на повторную рецензию, включив в нее те задачи, решения которых оказались неверными. Повторную работу необходимо представить вместе с незачтенной.

8. Зачтенные контрольные работы предъявляются экзаменатору. Студент должен быть готов во время экзамена дать пояснения по существу решения задач, входящих в контрольные работы.

9. Решения задач следует сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями; в тех случаях, когда это возможно, дать чертеж, выполненный с помощью чертежных принадлежностей.

10. Решить задачи надо в общем виде, т.е. выразить искомую величину в буквенных обозначениях величин, заданных в условии задачи. При таком способе решения не производятся вычисления промежуточных величин.

11. После получения расчетной формулы для проверки правильности ее следует подставить в правую часть формулы вместо символов величин обозначения единиц этих величин, произвести с ними необходимые действия и убедиться в том, что полученная при этом единица соответствует искомой величине. Если никакого соответствия нет, то это означает, что задача решена неверно.

12. Числовые значения величин при подстановке их в расчетную формулу следует выражать только в единицах СИ. В виде исключения допускается выражать в любых, но одинаковых единицах числовые значения однородных величин, стоящих в числителе и знаменателе дроби и имеющих одинаковые степени.

13. При подстановке в расчетную формулу, а также при записи ответа числовые значения величин следует записывать как произведение десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти. Например, вместо 3520 надо записать $3,52 \cdot 10^3$, вместо 0,00129 записать $1,29 \cdot 10^{-3}$ и т.п.

14. Вычисления по расчетной формуле надо проводить с соблюдением правил приближенных вычислений («Задачник» по физике А.Г. Чертова, А.А. Воробьева Приложение о приближенных вычислениях). Как правило, окончательный ответ следует записывать с тремя значащими

цифрами. Это относится и к случаю, когда результат получен с применением калькулятора.

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

Закон Кулона:

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2},$$

где F – сила взаимодействия точечных зарядов Q_1 и Q_2 ; r – расстояние между зарядами; ϵ – диэлектрическая проницаемость; ϵ_0 – электрическая постоянная.

Напряженность электрического поля и потенциал

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}, \varphi = \frac{W_p}{Q},$$

где W_p – потенциальная энергия положительного точечного заряда Q , находящегося в данной точке поля (при условии, что потенциальная энергия заряда, удаленного в бесконечность, равна нулю).

Напряженность и потенциал поля, создаваемого системой точечных зарядов (принцип суперпозиции электрических полей):

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i, \varphi = \sum_{i=1}^N \varphi_i,$$

где \vec{E}_i, φ_i – напряженность и потенциал в данной точке поля, создаваемого i -м зарядом.

Напряженность и потенциал поля, создаваемого точечным зарядом:

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}, \varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r},$$

где r – расстояние от заряда до точки, в которой определяются напряженность и потенциал.

Линейная плотность заряда:

$$\tau = \frac{Q}{l}.$$

Поверхностная плотность заряда:

$$\sigma = \frac{Q}{S}.$$

Напряженность поля, создаваемого прямой бесконечной равномерно заряженной линией или бесконечно длинным цилиндром:

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0\epsilon r},$$

где r – расстояние от нити или оси цилиндра до точки, напряженность поля в которой определяется.

Напряженность поля, создаваемого бесконечной равномерно заряженной плоскостью:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon}$$

Связь потенциала с напряженностью:

а) $E_l = -\frac{\partial\varphi}{\partial l}$ – в общем случае;

б) $E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}$ – в случае однородного поля.

Работа сил поля по перемещению заряда Q из точки поля с потенциалом φ_1 в точку с потенциалом φ_2 :

$$A = Q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Емкость:

$$C = \frac{Q}{\varphi} \quad \text{или} \quad C = \frac{Q}{U},$$

где φ – потенциал проводника (при условии, что в бесконечности потенциал проводника принимается равным нулю); U – разность потенциала пластин конденсатора.

Емкость плоского конденсатора:

$$C = \frac{\epsilon_0\epsilon S}{d},$$

где S – площадь пластины (одной) конденсатора; d – расстояние между пластинами.

Емкость батареи конденсаторов:

а) $\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}$ – при последовательном соединении;

б) $C = \sum_{i=1}^N C_i$ – при параллельном соединении, где N – число конденсаторов в батарее.

Энергия заряженного конденсатора:

$$W = \frac{QU}{2}, W = \frac{CU^2}{2}, W = \frac{Q^2}{2C}.$$

Сила постоянного тока:

$$I = \frac{Q}{t},$$

где Q – заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время t .

Плотность тока:

$$j = \frac{I}{S},$$

где S – площадь поперечного сечения проводника.

Связь плотности тока со средней скоростью $\langle v \rangle$ направленного движения заряженных частиц:

$$j = Qn\langle v \rangle,$$

где Q – заряд частицы; n – концентрация заряженных частиц.

Закон Ома:

а) $I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R}$ – для участка цепи, не содержащего ЭДС, где $\varphi_1 - \varphi_2 = U$ – разность потенциалов (напряжение) на концах участка цепи; R – сопротивление участка;

б) $I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon}{R}$ – для участка цепи, содержащего ЭДС, где ε – ЭДС источника тока; R – полное сопротивление участка (сумма внешних и внутренних сопротивлений);

в) $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$ – для замкнутой (полной) цепи, где R – внешнее сопротивление цепи; r – внутреннее сопротивление источника тока.

Сопротивление R и проводимость G проводника

$$R = \rho \frac{l}{S}, G = \gamma \frac{S}{l},$$

где ρ – удельное сопротивление; γ – удельная проводимость; l – длина проводника; S – площадь поперечного сечения проводника.

Сопротивление системы проводников:

а) $R = \sum R_i$ – при последовательном соединении;

б) $\frac{1}{R} = \sum \frac{1}{R_i}$ – при параллельном соединении, где R_i – сопротивление

i -го проводника.

Работа тока:

$$A = IUt, A = I^2 R t, A = \frac{U^2 t}{R}.$$

Первая формула справедлива для любого участка цепи, на концах которого поддерживается напряжение U , последние две – для участка, не содержащего ЭДС.

Мощность тока:

$$P = IU, P = I^2 R, P = \frac{U^2}{R}.$$

Закон Джоуля-Ленца

$$Q = I^2 R t.$$

Закон Ома в дифференциальной форме:

$$\vec{j} = \gamma \vec{E},$$

где γ – удельная проводимость; \vec{E} – напряженность электрического поля; j – плотность тока.

Связь магнитной индукции \vec{B} с напряженностью \vec{H} магнитного поля

$$\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H},$$

где μ – магнитная проницаемость среды, μ_0 – магнитная постоянная ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м. В вакууме $\mu = 1$).

Закон Био-Савара-Лапласа

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu I [d\vec{l} \times \vec{r}]}{4\pi r^3} \text{ или } dB = \frac{\mu_0 \mu I dl \sin \alpha}{4\pi r^2},$$

где $d\vec{B}$ – магнитная индукция поля, создаваемого элементом проводника длиной dl с током I ; \vec{r} – радиус-вектор, проведенный от элемента проводника к точке, в которой определяется магнитная индукция; α – угол между радиус-вектором с направлением тока в элементе проводника.

Магнитная индукция поля прямого тока, текущего по прямому проводнику бесконечной длины

$$B = \frac{\mu \mu_0 I}{2\pi r_0}$$

где r_0 – расстояние от оси проводника до точки, в которой определяется магнитная индукция.

Магнитная индукция в центре кругового тока:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2R},$$

где R – радиус кругового витка.

Магнитная индукция поля внутри соленоида:

$$B = \mu\mu_0 In,$$

где n – число витков, приходящихся на единицу длины соленоида.

Сила, действующая на элемент проводника с током в магнитном поле (Закон Ампера)

$$d\vec{F} = I[d\vec{l} \times \vec{B}] \text{ или } dF = IBdl \sin \alpha,$$

где dl – длина элемента, α – угол между направлением тока и вектором магнитной индукции \vec{B} . В случае однородного магнитного поля и прямого проводника закон Ампера имеет вид:

$$F = IBl \sin \alpha.$$

Магнитный момент плоского контура с током:

$$p_m = IS,$$

где I – сила тока в контуре; S – площадь контура. Вектор \vec{p}_m направлен перпендикулярно к плоскости контура и связан с направлением тока правилом правого винта: при вращении винта в направлении тока его поступательное движение показывает направление магнитного момента контура.

Вращающий момент сил, действующий на контур с током, помещенный в однородное магнитное поле:

$$\vec{M} = [\vec{p}_m \times \vec{B}], \text{ или } M = p_m B \sin \alpha,$$

где α – угол между векторами \vec{p}_m и \vec{B} .

Сила взаимодействия двух прямых параллельных токов:

$$F = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi d},$$

где d – расстояние между токами; l – длина отрезка проводника, на которую действует сила \vec{F} .

Сила, действующая на заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле (сила Лоренца):

$$\vec{F} = q \cdot [\vec{v} \times \vec{B}], \text{ или } F = qvB \sin \alpha,$$

где q – заряд частицы; \vec{v} – ее скорость; α – угол между векторами \vec{v} и \vec{B} .

Магнитный поток в случае однородного магнитного поля и плоской поверхности

$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

где S – площадь контура; α – угол между нормалью к плоскости контура и вектором магнитной индукции.

Потокосцепление (полный поток) для контура или соленоида, имеющих число витков N , плотно прилегающих друг к другу:

$$\Psi = N\Phi.$$

Работа по перемещению проводника или замкнутого контура с током:

$$A = I \cdot \Delta\Phi,$$

где $\Delta\Phi$ – поток магнитной индукции, пересекаемый проводником при его движении или изменение магнитного потока, сцепленного с контуром.

ЭДС индукции:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Psi}{dt}.$$

Разность потенциалов на концах проводника, движущегося со скоростью \vec{v} в магнитном поле:

$$U = Blv \sin \alpha,$$

где l – длина проводника, α – угол между векторами \vec{v} и \vec{B} .

Индуктивность контура:

$$L = \frac{\Psi}{I},$$

где Ψ – полный магнитный поток через контур, создаваемый током I .

Индуктивность соленоида:

$$L = \mu\mu_0 n^2 V,$$

где n – число витков, приходящихся на единицу длины соленоида; V – объем соленоида.

ЭДС самоиндукции:

$$\varepsilon_L = -L \frac{dI}{dt}.$$

Энергия магнитного поля контура с током:

$$W = \frac{LI^2}{2}.$$

Объемная плотность энергии магнитного поля:

$$\omega = \frac{B^2}{2\mu\mu_0}.$$

Примеры решения задач

Пример 1. Два точечных электрических заряда $Q_1 = 1 \text{ нКл}$ и $Q_2 = -2 \text{ нКл}$ находятся в воздухе на расстоянии $d = 10 \text{ см}$ друг от друга. Определить напряженность \vec{E} и потенциал φ поля, создаваемого этими зарядами в точке А, удаленной от заряда на расстояние $r_1 = 9 \text{ см}$ и от заряда $r_2 = 7 \text{ см}$.

Решение. Согласно принципу суперпозиции электрических полей, каждый заряд создает поле независимо от присутствия в пространстве других зарядов. Поэтому напряженность \vec{E} электрического поля в искомой точке может быть найдена как геометрическая сумма напряженностей \vec{E}_1 и \vec{E}_2 полей, создаваемых каждым зарядом в отдельности: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$.

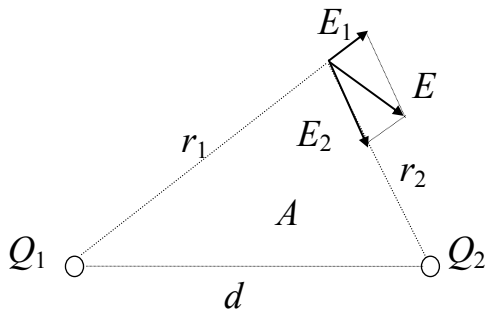


Рис. 1

Напряженности электрического поля, создаваемого в воздухе ($\epsilon = 1$) зарядами Q_1 и Q_2

$$E_1 = \frac{|Q_1|}{4\pi \epsilon_0 r_1^2}, \quad (1)$$

$$E_2 = \frac{|Q_2|}{4\pi \epsilon_0 r_2^2}. \quad (2)$$

Вектор \vec{E}_1 (рис. 1) направлен по силовой линии от заряда Q_1 , так как этот заряд положителен; вектор \vec{E}_2 направлен также по силовой линии, но к заряду Q_2 , так как этот заряд отрицателен.

Модуль вектора \vec{E} найдем по теореме косинусов:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos\alpha}, \quad (3)$$

где α – угол между векторами \vec{E}_1 и \vec{E}_2 , который может быть найден из треугольника со сторонами r_1 , r_2 и d :

$$\cos\alpha = \frac{d^2 - r_1^2 - r_2^2}{2r_1r_2}.$$

В данном случае во избежание громоздких записей удобно значение $\cos\alpha$ вычислить отдельно:

$$\cos \alpha = \frac{(0,1)^2 - (0,09)^2 - (0,07)^2}{2 \cdot 0,09 \cdot 0,07} = -0,238.$$

Подставляя выражения из (1) и (2) в (3) и вынося общий множитель $1/(4\pi \epsilon_0)$ за знак корня, получаем:

$$E = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \sqrt{\frac{Q_1^2}{r_1^2} + \frac{Q_2^2}{r_2^2} + 2 \frac{|Q_1||Q_2|}{r_1^2 r_2^2} \cos \alpha} \quad (4)$$

В соответствии с принципом суперпозиции электрических полей потенциал φ результирующего поля, создаваемого двумя зарядами Q_1 и Q_2 , равен алгебраической сумме потенциалов:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 \quad (5)$$

Потенциал электрического поля, создаваемого в вакууме точечным зарядом Q на расстоянии r от него, выражается формулой:

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi \epsilon_0 r}. \quad (6)$$

В нашем случае, согласно формулам (5) и (6), получим:

$$\varphi = \frac{Q_1}{4\pi \epsilon_0 r_1} + \frac{Q_2}{4\pi \epsilon_0 r_2},$$

или

$$\varphi = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \left(\frac{Q_1}{r_1} + \frac{Q_2}{r_2} \right).$$

Проверим размерность:

$$[E] = \frac{Кл}{Ф/м \cdot м^2} = \frac{Кл}{Ф \cdot м} = В/м; [\varphi] = \frac{К}{Ф/м \cdot м} = В.$$

Произведем вычисления:

$$E = \frac{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9}{4\pi} \sqrt{\frac{(10^{-9})^2}{(0,09)^4} + \frac{(2 \cdot 10^{-9})^2}{(0,07)^4} + 2 \frac{10^{-9} \cdot 2 \cdot 10^{-9}}{(0,09)^2 \cdot (0,07)^2} (-0,238)} В/м =$$

$$= 3,58 \cdot 10^3 В/м = 3,58 кВ/м.$$

$$\varphi = \frac{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9}{4\pi} \left(\frac{10^{-9}}{0,09} - \frac{2 \cdot 10^{-9}}{0,07} \right) В = -157 В.$$

Пример 2. На пластинах плоского конденсатора находится заряд $Q = 10 \text{ нКл}$. Площадь каждой пластины конденсатора $S = 100 \text{ см}^2$, диэлектрик – воздух. Определить силы F , с которыми притягиваются пластины. Поле между пластинами считать однородным.

Решение. Заряд Q одной пластины находится в поле напряженностью E , созданном зарядом другой пластины конденсатора. Следовательно, на первый заряд действует сила:

$$F = Q \cdot E \quad (1)$$

Так как

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} = \frac{Q}{2\varepsilon_0 S}$$

где σ – поверхностная плотность заряда пластины, то формула (1) примет вид:

$$F = \frac{Q^2}{2\varepsilon_0 S}$$

Проверим размерность:

$$[F] = \frac{\text{Кл} \cdot \text{Кл}}{\text{Ф/м} \cdot \text{м}^2} = \frac{\text{Кл} \cdot \text{Кл}}{\text{Ф} \cdot \text{м}} = \frac{\text{В} \cdot \text{Кл}}{\text{м}} = \frac{\text{Дж}}{\text{м}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}} = \text{Н}.$$

Произведем вычисления:

$$F = \frac{10^{-16}}{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-12}} \text{ Н} = 5,65 \cdot 10^{-4} \text{ Н} = 565 \text{ мкН}.$$

Пример 3. Определить ускоряющую разность потенциалов U , которую должен пройти в электрическом поле электрон, обладающий скоростью $v_1 = 10^6 \text{ м/с}$, чтобы скорость его возросла в 2 раза.

Решение. Ускоряющую разность потенциалов можно найти, вычислив работу A сил электростатического поля. Эта работа определяется произведением элементарного заряда e на разность потенциалов U :

$$A = eU. \quad (1)$$

Работа сил электростатического поля в данном случае равна изменению кинетической энергии электрона

$$A = T_2 - T_1 = \frac{m v_2^2}{2} - \frac{m v_1^2}{2}, \quad (2)$$

где T_1 и T_2 – кинетическая энергия электрона до и после прохождения ускоряющего поля; m – масса электрона; v_1 и v_2 – начальная и конечная скорости его.

Приравняв правые части равенств (1) и (2), получим:

$$eU = \frac{m v_2^2}{2} - \frac{m v_1^2}{2} = \frac{m n^2 v_1^2}{2} - \frac{m v_1^2}{2},$$

где $n = \frac{v_2}{v_1}$.

Отсюда искомая разность потенциалов:

$$U = \frac{m v_1^2 (n^2 - 1)}{2e}.$$

Проверим размерность: $[U] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2}{\text{Кл}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Кл}} = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В}.$

Произведем вычисления:

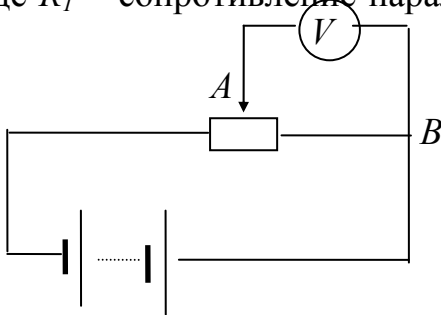
$$U = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (10^6)^2}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} (2^2 - 1) \text{В} = 8,53 \text{В}.$$

Пример 4. Потенциометр сопротивлением $R = 100 \text{ Ом}$ подключен к батарее с ЭДС $\varepsilon = 150 \text{ В}$ и внутренним сопротивлением $r = 50 \text{ Ом}$. Определить: 1) показание вольтметра сопротивлением $R_v = 500 \text{ Ом}$, соединенного с одной из клемм потенциометра и подвижным контактом, установленным посередине потенциометра; 2) разность потенциалов между теми же точками потенциометра при отключении вольтметра.

Решение. 1. Показание вольтметра, подключенного к точкам А и В (рис. 2), определим по формуле

$$U_1 = I_1 \cdot R_1,$$

где R_1 – сопротивление параллельно соединенных вольтметра и половины потенциометра; I_1 – суммарная сила тока в ветвях этого соединения (она равна силе тока в неразветвленной части цепи).



Силу тока найдем по закону Ома для полной цепи:

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{R_2 + r}, \quad (1)$$

где R_2 – сопротивление внешней цепи. Это сопротивление есть сумма двух сопротивлений:

$$R_2 = \frac{R}{2} + R_v. \quad (2)$$

Рис. 2

Сопротивление R_1 найдем по формуле параллельного соединения проводников,

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_v} + \frac{2}{R},$$

откуда

$$R_1 = \frac{R R_v}{R + 2 R_v}.$$

Подставив в (1) выражение R_2 из (2) и найдем:

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{R/2 + R_1 + r}.$$

В данном случае решение задачи в общем виде было бы громоздким. Поэтому удобно вычисление величин провести отдельно:

$$R_1 = \frac{100 \cdot 500}{100 + 2 \cdot 500} \text{ Ом} = 45,5 \text{ Ом};$$

$$I_1 = \frac{150}{50 + 45,5 + 50} \text{ А} = 1,03 \text{ А};$$

$$U_1 = 1,03 \cdot 45,5 \text{ В} = 46,9 \text{ В}.$$

2. Разность потенциалов между точками А и В при отключенном вольтметре равна произведению силы тока I_2 на половину сопротивления потенциометра:

$$U_2 = I_2 \cdot \frac{R}{2}, \quad (3)$$

где I_2 – сила тока в цепи при отключенном вольтметре. Ее определим по формуле:

$$I_2 = \frac{\varepsilon}{R + r}.$$

Подставив I_2 в выражение (3) найдем:

$$U_2 = \frac{\varepsilon}{R + r} \cdot \frac{R}{2}.$$

Проверяем размерность:

$$\frac{1\text{В} \cdot 1\text{Ом}}{1\text{Ом}} = 1\text{В}.$$

Произведем вычисления:

$$U_2 = \frac{150}{100 + 50} \cdot \frac{100}{2} \text{ В} = 50 \text{ В}.$$

Пример 5. Сила тока в проводнике сопротивлением $R = 20 \text{ Ом}$ нарастает в течение времени $\Delta t = 2 \text{ с}$ по линейному закону от $I_0 = 0$ до $I = 6 \text{ А}$ (рис. 3). Определить теплоту Q_1 , выделившуюся в этом проводнике за первую секунду, и Q_2 – за вторую, а также найти отношение Q_2/Q_1 .

Решение. Закон Джоуля-Ленца в виде $Q = I^2 R t$ справедлив для постоянного тока. Если же сила тока в проводнике изменяется, то указанный закон справедлив для бесконечно малого интервала времени и записывается в виде

$$dQ = I^2 R dt \quad (1)$$

Здесь сила тока I является некоторой функцией времени. В данном случае

$$I = kt, \quad (2)$$

где k – коэффициент пропорциональности, характеризующий скорость изменения силы тока:

$$k = \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{6 \text{ А}}{2 \text{ с}} = 3 \frac{\text{А}}{\text{с}}.$$

С учетом (2) формула (1) примет вид

$$dQ = k^2 R t^2 dt. \quad (3)$$

Для определения теплоты, выделившейся за конечный интервал времени Δt , выражение (3) надо проинтегрировать в пределах от t_1 до t_2 :

$$Q = k^2 R \int_{t_1}^{t_2} t^2 dt = \frac{1}{3} k^2 R (t_2^3 - t_1^3).$$

Произведем вычисления:

$$Q_1 = \frac{1}{3} \cdot 3^2 \cdot 20 \cdot (1 - 0) \text{ Дж} = 60 \text{ Дж};$$

$$Q_2 = \frac{1}{3} \cdot 3^2 \cdot 20 \cdot (8 - 1) \text{ Дж} = 420 \text{ Дж}.$$

Следовательно,

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{420}{60} = 7.$$

т.е. за вторую секунду выделится теплоты в семь раз больше, чем за первую.

Пример 6. Два параллельных бесконечно длинных провода D и C , по которым текут в одном направлении токи силой $I = 60 \text{ А}$, расположены на

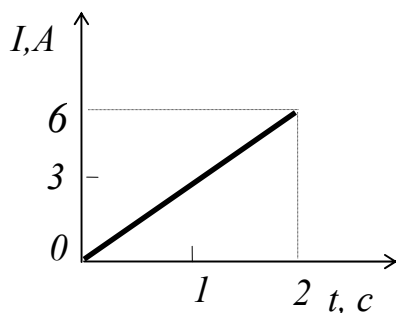


Рис. 3

расстоянии $d = 10 \text{ см}$ друг от друга. Определить магнитную индукцию поля, создаваемого проводниками с током в точке A , отстоящей от оси одного проводника на расстоянии $r_1 = 5 \text{ см}$, от другого $r_2 = 12 \text{ см}$.

Решение. Для нахождения магнитной индукции \vec{B} в точке A , определим, используя правило буравчика, направления магнитных индукций \vec{B}_1 и \vec{B}_2 полей, создаваемых каждым проводником с током в отдельности, и сложим их геометрически (по правилу параллелограмма):

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2.$$

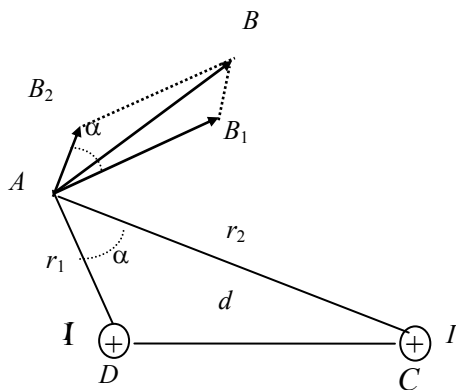


Рис. 4

Модуль вектора \vec{B} может быть найден по теореме косинусов:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + 2B_1B_2 \cos \alpha}, \quad (1)$$

где α – угол между векторами \vec{B}_1 и \vec{B}_2 . Значения магнитных индукций \vec{B}_1 и \vec{B}_2 выражаются через силу тока I и расстояния r_1 и r_2 от проводов до точки A :

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_1}; B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_2}.$$

Подставляя \vec{B}_1 и \vec{B}_2 в формулу (1), получим:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2} + \frac{2}{r_1 r_2} \cos \alpha}. \quad (2)$$

Проверим размерность:

$$[B] = \frac{(\text{Гн/м}) \cdot \text{А}}{\text{м}} = \frac{\text{Гн} \cdot \text{А}}{\text{м}^2} = \frac{(\text{Вб/м}) \cdot \text{А}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Вб}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}^2}{\text{м}^2} = \text{Тл}.$$

Вычислим $\cos \alpha$. Заметим, что $\alpha = \angle DAC$ (как углы с взаимно перпендикулярными сторонами). Поэтому по теореме косинусов запишем

$$d^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos \alpha,$$

где d – расстояние между проводниками.

Подставляя данные, вычислим значение косинуса

$$\cos \alpha = \frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{2r_1 r_2} = \frac{5^2 + 12^2 - 10^2}{2 \cdot 5 \cdot 12} = \frac{23}{40}.$$

Подставим в формулу (2) числовые значения физических величин (в системе СИ) и определим искомую магнитную индукцию

$$B = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 60}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{1}{(0,05)^2} + \frac{1}{(0,12)^2} + \frac{2}{0,05 \cdot 0,12}} \cdot \frac{23}{40} \text{Тл} = 3,08 \cdot 10^{-4} \text{Тл}.$$

Пример 7. Шины генератора представляют собой две параллельные полосы длиной по $l = 2 \text{ м}$, отстоящие друг от друга на расстоянии $d = 20 \text{ см}$. Определить силу взаимного отталкивания шин в случае короткого замыкания, когда по ним течет ток силой $I = 10000 \text{ А}$.

Решение. Поскольку расстояние между проводниками во много раз меньше их длины, то можно воспользоваться формулой силы взаимодействия двух параллельных бесконечно длинных проводников

$$F = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi d},$$

где I_1, I_2 – силы тока; l – длина проводника, на которую приходится сила; d – расстояние между проводами. Известно, что проводники с током отталкиваются, если токи по ним текут в противоположных направлениях друг к другу (рис. 5). Заметив, что $I_1 = I_2 = I$, получим

$$F = \frac{\mu_0 I^2 l}{2\pi d}.$$

Проверим размерность:

$$[F] = \frac{(\text{Гн/м}) \cdot \text{А}^2 \cdot \text{м}}{\text{м}} = \frac{\text{Гн} \cdot \text{А}^2}{\text{м}} = \frac{(\text{Вб/А}) \cdot \text{А}^2}{\text{м}} = \frac{\text{Вб} \cdot \text{А}}{\text{м}} = \frac{\text{Дж}}{\text{м}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}} = \text{Н}.$$

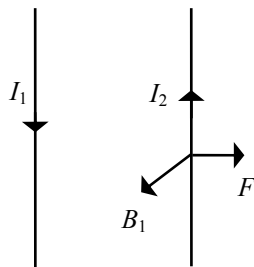


Рис. 5

Подставив численные значения физических величин, произведем вычисления:

$$F = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (10^3)^2 \cdot 2,5}{2\pi \cdot 0,2} = 2,5 \text{ Н}.$$

Пример 8. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,1 \text{ Тл}$ равномерно вращается рамка, содержащая $N = 1000$ витков. Площадь рамки $S = 150 \text{ см}^2$. Рамка делает

$\nu = 10 \text{ об/с}$. Определить мгновенное значение ЭДС, соответствующее углу поворота рамки в $\omega t = 30^\circ$.

Решение. Мгновенное значение ЭДС индукции определяется законом Фарадея:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Psi}{dt}, \quad (1)$$

где Ψ – потокосцепление. Потокосцепление Ψ связано с магнитным потоком соотношением:

$$\Psi = N\Phi \quad (2)$$

где N – число витков, пронизываемых магнитным потоком. Подставляя выражение в формулу (1), получим:

$$\varepsilon_i = -N \frac{d\Phi}{dt}, \quad (3)$$

При вращении рамки (рис. 6) магнитный поток Φ , пронизывающий рамку в момент времени t , изменяется по закону:

$$\Phi = BS \cos \omega t,$$

где B – магнитная индукция; S – площадь рамки; ω – круговая (или циклическая) частота. Подставив в формулу (3) выражение Φ и продифференцировав по времени, найдем мгновенное значение ЭДС индукции:

$$\varepsilon_i = NBS\omega \sin \omega t.$$

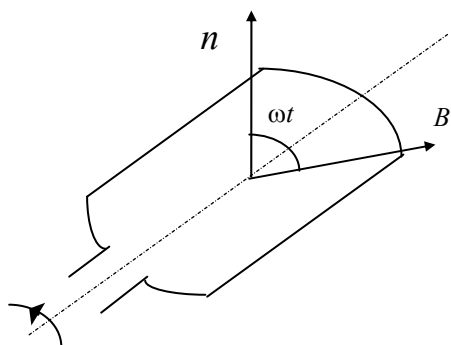


Рис. 6

Круговая частота ω связана с числом оборотов в секунду соотношением $\omega = 2\pi\nu$. Поэтому для ЭДС индукции имеем

$$\varepsilon_i = 2\pi\nu NBS \sin \omega t.$$

Проверим размерность:

$$[\varepsilon] = (1/c) \cdot Tл \cdot м^2 = Bб/c = B.$$

Подставляя все данные в единицах

СИ и, учитывая, что $\omega t = 30^\circ = \frac{\pi}{6}$,

получим

$$\varepsilon_i = 2 \cdot 3,14 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot 0,5B = 47,1B.$$

Пример 9. Плоский квадратный контур со стороной $a = 10$ см, по которому течет ток $I = 100$ А, свободно установился в однородном магнитном поле ($B = 1$ Тл). Определить работу A , совершенную внешними силами при повороте контура относительно оси, проходящей через середину его противоположных сторон, на угол $\varphi = 90^\circ$. При повороте контура сила тока в нем поддерживается неизменной.

Решение. Работа внешних сил по перемещению контура с током в магнитном поле равна произведению силы тока в контуре на изменение магнитного потока, пронизывающего контур,

$$A = -I\Delta\Phi = I(\Phi_1 - \Phi_2), \quad (1)$$

где Φ_1 – магнитный поток, пронизывающий контур до перемещения; Φ_2 – то же, после перемещения. Знак «минус» здесь стоит в связи с тем, что работа внешних сил по повороту контура противоположна по знаку работе сил, стремящихся ориентировать контур по полю. Нетрудно заметить, что $\Phi_1 = BS$, $\Phi_2 = 0$. Поэтому

$$A = IBS = IBSa^2. \quad (2)$$

Проверим размерность: $[A] = A \cdot \text{Тл} \cdot \text{м}^2 = A \cdot \text{Вб} = \text{Дж}$.

Выразив числовые значения величин в единицах СИ, и подставив в выражение (2), вычислим искомую работу:

$$A = 100 \cdot 1 \cdot (0,1)^2 \text{ Дж} = 1 \text{ Дж}.$$

Пример 10. Соленоид с сердечником из немагнитного материала содержит $N = 1200$ витков провода, плотно прилегающих друг к другу. При силе тока $I = 4 \text{ А}$, магнитный поток $\Phi = 6 \text{ мкВб}$. Определить индуктивность L соленоида и энергию W магнитного поля соленоида.

Решение. Индуктивность L связана с потокоцеплением Ψ и силой тока I соотношением:

$$\Psi = LI \quad (1)$$

Потокоцепление может быть определено через поток Φ , число витков N (при условии, что витки плотно прилегают друг к другу):

$$\Psi = N\Phi \quad (2)$$

Из формул (1) и (2) находим индуктивность соленоида:

$$L = \frac{N\Phi}{I} \quad (3)$$

Энергия магнитного поля соленоида

$$W = \frac{LI^2}{2}.$$

Подставив сюда L , используя формулу (3), получим

$$W = \frac{N\Phi I}{2}. \quad (4)$$

Проверим размерность: $[L] = \frac{\text{Вб}}{\text{А}} = \text{Гн}$, $[W] = \text{Вб} \cdot \text{А} = \text{Дж}$.

Произведем вычисления:

$$L = \frac{1200 \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{4} \text{ Гн} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ Гн};$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot 1200 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \text{ Дж} = 1,44 \text{ Дж}.$$

Контрольная работа 2*

Таблица вариантов

Вариант	Номера задач									
0	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290
1	201	211	221	231	241	251	261	271	281	291
2	202	212	222	232	242	252	262	272	282	292
3	203	213	223	233	243	253	263	273	283	293
4	204	214	224	234	244	254	264	274	284	294
5	205	215	225	235	245	255	265	275	285	295
6	206	216	226	236	246	256	266	276	286	296
7	207	217	227	237	247	257	267	277	287	297
8	208	218	228	238	248	258	268	278	288	298
9	209	219	229	239	249	259	269	279	289	299

* Для выбора номеров задач используйте вариант, равный последней цифре номера вашей зачетки. Например, номер зачетки 11-03-323, ваш вариант 3, и нужно решать задачи с номерами 203, 213, 223, 233, 243, 253, 263, 273, 283, 293.

200. Определить напряженность поля, создаваемого протоном на расстоянии $r = 5 \cdot 10^{-11}$ м от него.

201. Найти напряженность электрического поля в точке, лежащей посередине между точечными зарядами $q_1 = 8$ нКл и $q_2 = -6$ нКл. Расстояние между зарядами $d = 10$ см.

202. На каком расстоянии d от точечного заряда $q = 0,1$ нКл, находящегося в воде, напряженность электрического поля, создаваемого этим зарядом равна $E = 0,25$ В/м? Диэлектрическая проницаемость воды $\epsilon = 81$.

203. Напряженность электрического поля, создаваемого точечным зарядом в вакууме на расстоянии $l = 10$ см, равна $E = 25$ В/м. Определите величину заряда.

204. Найти напряженность электрического поля, созданного заряженной сферой с зарядом $q = 2$ мкКл в среде с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 4$ на расстоянии $l = 30$ см от центра сферы. Радиус сферы $r < l$.

205. Одинаковые по величине, но противоположные по знаку заряды $q = 20$ нКл расположены в вершинах острых углов равнобедренного прямоугольного треугольника на расстоянии $l = 2$ м друг от друга. Определить напряженность создаваемого ими электрического поля в вершине прямого угла этого треугольника. Среда – вакуум.

206. Равномерно заряженные пластины находятся в вакууме на большом расстоянии друг от друга. Напряженность поля в точке между пластинами $E_1 = 500 \text{ В/м}$, а с внешней стороны одной из пластин $E_2 = 300 \text{ В/м}$. Определить поверхностную плотность заряда пластин.

207. Частица, несущая заряд $q = 3 \cdot 10^{-3} \text{ Кл}$ перемещается в электрическом поле из одной точки в другую. Найти разность потенциалов между этими точками, если кинетическая энергия частицы изменилась на величину $\Delta W_k = 15 \text{ Дж}$.

208. Металлический шарик диаметром $d = 1 \text{ см}$ заряжен отрицательно до потенциала $\varphi = 300 \text{ В}$. Сколько электронов находится на поверхности шарика?

209. Найти разность потенциалов между точками 1 и 2 однородного электростатического поля напряженностью $E = 100 \text{ В/см}$, если расстояние между этими точками $l = 10 \text{ см}$, а угол между силовыми линиями поля и отрезком равен $\alpha = 30^\circ$.

210. В однородном электрическом поле с напряженностью $E = 1 \text{ МВ/м}$, направленном вертикально вниз, висит на невесомой нити шарик массой $m = 2 \text{ г}$, несущий заряд $q = 10 \text{ нКл}$. Найти силу натяжения нити.

211. Алюминиевый шарик массой $m = 3 \text{ г}$, несущий заряд $q = 10^{-4} \text{ Кл}$, помещен в масло. Определить значение напряженности направленного вверх электрического поля, если известно, что шарик плавает. Плотность масла $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$, плотность алюминия $\rho_0 = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

212. С каким ускорением движется электрон в поле с напряженностью $E = 10 \text{ кВ/м}$?

213. На сколько надо изменить расстояние между пластинами плоского воздушного конденсатора, чтобы его емкость увеличилась в 4 раза? Начальное расстояние между пластинами конденсатора равно $d = 2 \text{ мм}$.

214. В однородном электрическом поле с напряженностью $E = 1 \text{ кВ/м}$, переместили заряд $q = -25 \text{ нКл}$ в направлении силовой линии на $l = 2 \text{ см}$. Найти работу поля, изменение потенциальной энергии взаимодействия зарядов и поля, и напряжение между начальной и конечной точками перемещения.

215. Во сколько раз изменится емкость плоского воздушного конденсатора, если площадь его пластин увеличить в 3 раза, а расстояние между его пластинами увеличить в 5 раз?

216. На сколько изменится емкость плоского воздушного конденсатора, расстояние между пластинами которого $d = 4 \text{ мм}$, площадь пластины $S = 0,5 \text{ м}^2$, если пространство между пластинами заполнить керосином с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 2$?

217. Площадь каждой из пластин плоского конденсатора $S = 200 \text{ см}^2$, а расстояние между ними $d = 1 \text{ см}$. Какова энергия поля, если напряженность поля $E = 500 \text{ кВ/м}$?

218. Во сколько раз отличаются емкости двух плоских воздушных конденсаторов: один имеет круглые пластины диаметром $D = 10 \text{ см}$, а другой квадратные размером $D \times D$. Расстояние между пластинами первого конденсатора равно $d_1 = 2 \text{ мм}$, а второго $d_2 = 10 \text{ мм}$.

219. Какую работу надо совершить, чтобы перенести точечный заряд $Q = 6 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$ из бесконечности в точку, находящуюся на расстоянии $d = 10 \text{ см}$ от поверхности металлического шара радиусом $R = 2 \text{ см}$ и имеющего потенциал $\varphi = 200 \text{ В}$?

220. Электрическое поле создано двумя точечными зарядами $q_1 = 10 \text{ нКл}$ и $q_2 = -20 \text{ нКл}$, находящимися на расстоянии $d = 20 \text{ см}$ друг от друга. Определить напряженность E поля в точке, удаленной от первого заряда на расстояние $r_1 = 30 \text{ см}$ и от второго заряда на расстояние $r_2 = 50 \text{ см}$.

221. Какая совершается работа при перенесении точечного заряда $Q = 20 \text{ нКл}$ из бесконечности в точку, находящуюся на расстоянии $d = 0,01 \text{ м}$ от поверхности шара радиусом $R = 0,01 \text{ м}$ с поверхностной плотностью заряда $\sigma = 20 \text{ мкКл/м}^2$?

222. Электростатическое поле создается шаром радиусом $R = 8 \text{ см}$, равномерно заряженным с объемной плотностью $\rho = 10 \text{ нКл/м}^3$. Определить разность потенциалов $\Delta\varphi$ между двумя точками этого поля, лежащими на расстояниях $r_1 = 10 \text{ см}$ и $r_2 = 15 \text{ см}$ от центра шара.

223. Шар радиусом $R_1 = 6 \text{ см}$ заряжен до потенциала $\varphi_1 = 300 \text{ В}$, а шар радиусом $R_2 = 4 \text{ см}$ – до потенциала $\varphi_2 = 500 \text{ В}$. Определить потенциал φ шаров после того, как их соединили металлическим проводником. Емкостью соединительного проводника пренебречь.

224. Сплошной парафиновый шар радиусом $R = 10 \text{ см}$ равномерно заряжен с объемной плотностью $\rho = 10 \text{ нКл/м}^3$. Определить энергию W электрического поля, сосредоточенную в самом шаре.

225. Конденсаторы емкостями $C_1 = 2 \text{ мкФ}$, $C_2 = 5 \text{ мкФ}$ и $C_3 = 10 \text{ мкФ}$ соединены последовательно и находятся под напряжением $U = 850 \text{ В}$. Определить напряжение и заряд на каждом из конденсаторов.

226. Два конденсатора емкостями $C_1 = 2 \text{ мкФ}$ и $C_2 = 5 \text{ мкФ}$ заряжены до напряжения $U_1 = 100 \text{ В}$ и $U_2 = 150 \text{ В}$ соответственно. Определить напряжение на обкладках конденсаторов после их соединения обкладками, имеющие разноименные заряды.

227. Два одинаковых плоских воздушных конденсатора емкостью $C = 100 \text{ нФ}$ каждый соединены в батарею последовательно. Определить, на

сколько изменится емкость C батареи, если пространство между пластинами одного конденсатора заполнить парафином.

228. Два одинаковых плоских конденсатора соединены параллельно и заряжены до напряжения $U_0 = 240 \text{ В}$. После отключения от источника тока расстояние между пластинами одного из конденсаторов уменьшили в три раза. Каким станет напряжение U на конденсаторах?

229. Батарея аккумуляторов замкнута на лампу. При этом напряжение на зажимах батареи $U_1 = 20 \text{ В}$. При параллельном подключении еще одной такой же лампы напряжение падает до $U_1 = 15 \text{ В}$. Определите сопротивление R каждой лампы. Считайте, что сопротивление лампы не зависит от ее накала. Внутреннее сопротивление батареи $r = 1 \text{ Ом}$.

230. К аккумулятору с внутренним сопротивлением $r = 0,01 \text{ Ом}$ подключен резистор с сопротивлением $R = 10 \text{ Ом}$. Вольтметр дает одинаковые показания при последовательном и параллельном подключении к резистору. Определите сопротивление вольтметра R_v .

231. Реостат подключен к источнику тока. При изменении сопротивления реостата от $R_1 = 4,0 \text{ Ом}$, до $R_2 = 9,5 \text{ Ом}$ сила тока в цепи изменяется от $I_1 = 8,0 \text{ А}$, до $I_2 = 3,6 \text{ А}$. Определите ЭДС ε источника тока и его внутреннее сопротивление r .

232. Электрический нагреватель питается от N одинаковых аккумуляторов, каждый из которых имеет внутреннее сопротивление r . Нагреватель потребляет одинаковую мощность при последовательном и параллельном соединении аккумуляторов. Определите сопротивление нагревателя R .

233. Аккумуляторная батарея имеет ЭДС $\varepsilon = 12 \text{ В}$ и внутреннее сопротивление $r = 0,1 \text{ Ом}$. Сколько лампочек мощностью $P = 25 \text{ Вт}$ каждая, рассчитанных на напряжение $U = 10 \text{ В}$, можно подключить к этому источнику ЭДС, чтобы они горели нормальным накалом?

234. К источнику ЭДС подключаются поочередно резисторы с сопротивлениями R_1 и R_2 . В обоих случаях на резисторах выделяется одинаковая мощность. Определите внутреннее сопротивление источника r .

235. Имеются два резистора с сопротивлениями $R_1 = 2,0 \text{ Ом}$ и $R_2 = 4,5 \text{ Ом}$. Их подключают к источнику тока сначала параллельно, а потом последовательно. При какой величине внутреннего сопротивления r источника тока в обоих случаях по внешней цепи выделяется одинаковая мощность?

236. Определить ток $I_{кз}$ короткого замыкания аккумуляторной батареи, если при токе $I_1 = 5 \text{ А}$ нагрузка потребляет мощность $P_1 = 30 \text{ Вт}$, а при токе $I_2 = 10 \text{ А}$ – мощность $P_2 = 40 \text{ Вт}$.

237. Электрический чайник имеет две обмотки. При включении одной из них вода закипает через $t_1 = 12$ мин, при включении другой – через $t_2 = 24$ мин. Через сколько времени закипит вода в чайнике, если включить обе обмотки параллельно? Последовательно? Теплообменом с воздухом пренебречь.

238. Амперметр, накоротко присоединенный к гальваническому элементу с ЭДС $\varepsilon = 1,6$ В и внутренним сопротивлением $r = 0,2$ Ом, показывает ток $I = 4$ А. Каково будет показание амперметра, если его зашунтировать сопротивлением $R_{ш} = 0,1$ Ом.

239. Какова электродвижущая сила элемента, если при измерении напряжения на его зажимах вольтметром с внутренним сопротивлением $R_1 = 20$ Ом мы получаем $U_1 = 1,37$ В, а при замыкании элемента на $R_2 = 10$ Ом получаем ток $I_2 = 0,132$ А?

240. Гальванический элемент дает на внешнее сопротивление $R_1 = 4$ Ом ток $I_1 = 0,2$ А. Если же внешнее сопротивление $R_2 = 7$ Ом, то элемент дает ток $I_2 = 0,14$ А. Какой ток даст элемент, если его замкнуть накоротко?

241. При поочередном подключении к источнику ЭДС двух электрических нагревателей с сопротивлениями $R_1 = 3$ Ом и $R_2 = 48$ Ом в них выделяется одинаковая мощность $P = 1,2$ кВт. Определите силу тока $I_{кз}$ при коротком замыкании источника.

242. Электрический утюг, рассчитанный на напряжение $U_0 = 120$ В, имеет мощность $P = 300$ Вт. При включении утюга в сеть напряжение на розетке падает с $U_1 = 127$ В до $U_2 = 115$ В. Определить сопротивление подводящих проводов. Считать, что сопротивление утюга не меняется.

243. Электродвигатель подъемного крана работает под напряжением $U = 380$ В и потребляет силу тока $I = 20$ А. Каков КПД установки, если груз массой $m = 1$ т кран поднимает на высоту $h = 19$ м за $t = 50$ с?

244. ЭДС источника тока $\varepsilon = 2$ В, внутреннее сопротивление $r = 1$ Ом. Определить силу тока, если внешняя цепь потребляет мощность $P = 0,75$ Вт.

245. Определить ток короткого замыкания $I_{кз}$ для аккумуляторной батареи, если при токе нагрузки $I_1 = 5$ А она отдает во внешнюю цепь мощность $P_1 = 9,5$ Вт, а при токе нагрузки в $I_2 = 8$ А – $P_2 = 14,4$ Вт.

246. Два источника с одинаковыми ЭДС $\varepsilon = 120$ В соединены параллельно. Определить напряжение на зажимах источников и мощность, развиваемую каждым из них, если сопротивление внешней цепи $R = 10$ Ом, а внутренние сопротивления источников: $r_1 = 0,5$ Ом и $r_2 = 0,6$ Ом.

247. Элемент, ЭДС которого ε и внутреннее сопротивление r , замкнут на внешнее сопротивление R . Наибольшая мощность во внешней цепи

$P = 9 \text{ Вт}$. Сила тока, текущего при этих условиях по цепи, $I = 3 \text{ А}$. Найти величины ε и r .

248. Два потребителя подключаются к батарее: один раз последовательно, другой – параллельно. В каком случае к.п.д. будет больше?

249. Элемент замыкается один раз на сопротивление $R_1 = 4 \text{ Ом}$, другой раз на $R_2 = 9 \text{ Ом}$. В том и другом случаях количество теплоты Q , выделяющееся в сопротивлениях за одно и то же время, оказывается одинаковым. Каково внутреннее сопротивление элемента?

250. Какой ток пойдет по подводящим проводам при коротком замыкании, если на двух плитках с сопротивлениями $R_1 = 200 \text{ Ом}$ и $R_2 = 500 \text{ Ом}$ выделяется при поочередном включении одинаковая мощность $P = 200 \text{ Вт}$?

251. По двум длинным параллельным проводам, расстояние между которыми равно $d = 16 \text{ см}$, текут в противоположных направлениях токи силой $I = 30 \text{ А}$, каждый. Определить магнитную индукцию \vec{B} в точке, расстояние которой от обоих проводов одинаково и равно $r = 10 \text{ см}$.

252. Расстояние между двумя длинными параллельными проводами $d = 5 \text{ см}$. По проводам текут в одном направлении токи силой $I = 30 \text{ А}$, каждый. Найти магнитную индукцию \vec{B} в точке, находящейся на расстоянии $r_1 = 4 \text{ см}$ от одного и $r_2 = 3 \text{ см}$ от другого провода.

253. По двум длинными параллельным проводам, расстояние между которыми равно $d = 40 \text{ см}$, текут в одном направлении токи силой по $I = 150 \text{ А}$. Найти магнитную индукцию \vec{B} в удаленной на $r_1 = 30 \text{ см}$ от одного и $r_2 = 50 \text{ см}$ от другого провода.

254. Два длинных параллельных провода находятся на расстоянии $d = 5 \text{ см}$ один от другого. По проводам текут в противоположных направлениях токи силой по $I = 10 \text{ А}$ каждый. Определить магнитную индукцию \vec{B} в точке, находящейся на расстоянии $r_1 = 2 \text{ см}$ от одного и $r_2 = 3 \text{ см}$ от другого провода.

255. По двум параллельным бесконечно длинным проводникам, находящимся на расстоянии $d = 10 \text{ см}$ друг от друга, текут токи противоположного направления $I = 30 \text{ А}$. Определить магнитную индукцию \vec{B} поля в точке, расположенной посередине между проводниками.

256. По двум длинным параллельным проводам текут в противоположных направлениях токи $I_1 = 10 \text{ А}$ и $I_2 = 15 \text{ А}$. Расстояние между проводами $d = 10 \text{ см}$. Определить магнитную индукцию в точке, удаленной от первого провода на $r_1 = 8 \text{ см}$ и от второго на $r_2 = 6 \text{ см}$.

257. Два круговых витка радиусом $R = 4 \text{ см}$ каждый расположены в параллельных плоскостях на расстоянии $d = 0,1 \text{ м}$ друг от друга. По виткам в одном направлении текут токи $I_1 = I_2 = 2 \text{ А}$. Найти магнитную ин-

дукцию \vec{B} на оси витков в точке, находящейся на равном расстоянии от них.

258. Два круговых витка радиусом $R = 4$ см каждый расположены в параллельных плоскостях на расстоянии $d = 0,1$ м друг от друга. По виткам в противоположных направлениях текут токи $I_1 = I_2 = 2$ А. Найти магнитную индукцию \vec{B} на оси витков в точке, находящейся на равном расстоянии от них.

259. Ток $I = 20$ А, протекая по проволочному кольцу из медной проволоки сечением $S = 1,0$ мм², создает в центре кольца магнитную индукцию $B = 0,12$ мТл. Какая разность потенциалов приложена к концам проволоки, образующей кольцо? Удельное сопротивление медного проводника $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

260. Два круговых витка радиусом $R = 4$ см каждый расположены в параллельных плоскостях на расстоянии $d = 5$ см друг от друга. По виткам в одном направлении текут токи $I_1 = I_2 = 4$ А. Найти магнитную индукцию \vec{B} в центре одного из витков.

261. Два круговых витка радиусом $R = 4$ см каждый расположены в параллельных плоскостях на расстоянии $d = 5$ см друг от друга. По виткам в противоположных направлениях текут токи $I_1 = I_2 = 4$ А. Найти магнитную индукцию \vec{B} в центре одного из витков.

262. Кольцо из тонкого провода содержит $N = 80$ витков. Радиус кольца $R = 20$ см. Определить магнитную индукцию \vec{B} в центре кольца, если по проводу течет ток $I = 0,6$ А.

263. Чему равна магнитная индукция поля на оси кругового витка в точке, расположенной на расстоянии $d = 40$ см от центра, если в центре витка, радиус которого $R = 30$ см, индукция $B = 25$ мкТл?

264. Два круговых витка расположены в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях так, что центры этих витков совпадают. Радиус каждого витка $R = 2$ см и токи, текущие по виткам, $I_1 = I_2 = 5$ А. Найти индукцию магнитного поля \vec{B} в центре этих витков.

265. Длинный прямой соленоид из проволоки диаметром $d = 1$ мм, намотан так, что витки плотно прилегают друг к другу. Какова магнитная индукция \vec{B} внутри соленоида при силе тока $I = 4$ А.

266. Найти магнитную индукцию поля \vec{B} в центре соленоида длиной $l = 20$ см и диаметром $d = 4$ см, содержащего $N = 400$ витков, если сила тока в обмотке соленоида $I = 2$ А.

267. Длинный прямой соленоид намотан из проволоки диаметром $d = 1$ мм так, что витки плотно прилегают друг к другу. По соленоиду течет

ток силой $I = 10 \text{ А}$. Найти индукцию \vec{B} магнитного поля соленоида на его оси на одинаковом расстоянии от его концов.

268. Из проволоки диаметром $d = 1 \text{ мм}$ надо намотать соленоид, внутри которого индукция магнитного поля должна быть равна $B = 30,14 \text{ мТл}$. Предельная сила тока, которую можно пропускать по проволоке, равна $I = 6 \text{ А}$. Из какого числа слоев будет состоять обмотка соленоида, если витки наматывать плотно друг к другу? Диаметр катушки считать малым по сравнению с ее длиной.

269. Обмотка соленоида содержит $N = 2$ слоя, плотно прилегающих друг к другу витков провода диаметром $d = 0,2 \text{ мм}$. Определить магнитную индукцию \vec{B} на оси соленоида, если по проводу идет ток $I = 0,5 \text{ А}$.

270. Катушка длиной $l = 30 \text{ см}$ состоит из $N = 1000$ витков. Найти индукцию магнитного поля \vec{B} внутри катушки, если ток, проходящий по катушке, равен $I = 2 \text{ А}$. Диаметр катушки считать малым по сравнению с ее длиной.

271. Электрон движется в однородном магнитном поле индукция которого $B = 5 \text{ мТл}$ со скоростью $v = 10000 \text{ км/с}$, направленной перпендикулярно к линиям индукции. Определить силу F , с которой поле действует на электрон.

272. Между полюсами электромагнита создается однородное магнитное поле, индукция которого равна $B = 0,1 \text{ Тл}$. По проводу длиной $l = 70 \text{ см}$, помещенному перпендикулярно силовым линиям, течет ток силой $I = 70 \text{ А}$. Найти силу F , действующую на провод.

273. По двум параллельным проводам длиной $l = 2,5 \text{ м}$ каждый текут одинаковые токи силой $I_1 = I_2 = 1000 \text{ А}$. Расстояние между проводами $d = 20 \text{ см}$. Определить силу взаимодействия проводов.

274. По двум параллельным проводам длиной $l = 3 \text{ м}$ каждый текут одинаковые токи силой $I_1 = I_2 = 500 \text{ А}$. Определить расстояние между проводами, если сила взаимодействия проводов равна $F = 10 \text{ Н}$.

275. Частица, несущая один элементарный заряд, влетела в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,2 \text{ Тл}$ под углом $\alpha = 30^\circ$ к направлению линий индукции. Определить силу Лоренца \vec{F}_L , если скорость частицы $v = 10,6 \text{ м/с}$.

276. На проводник длиной $l = 1 \text{ м}$ с током $I = 3 \text{ А}$, в однородном поле с магнитной индукцией $B = 0,15 \text{ Тл}$ действует сила $F = 0,2 \text{ Н}$. Вычислить угол α между направлением тока и вектором магнитной индукции.

277. Электрон движется в вакууме со скоростью $v = 10 \text{ м/с}$ в однородном магнитном поле с магнитной индукцией $B = 0,2 \text{ Тл}$. Чему равна си-

ла \vec{F}_L , действующая на электрон, если угол между направлением скорости электрона и линиями индукции равен $\alpha = 30^\circ$?

278. Каково расстояние между параллельными проводами, если при силе тока $I = 100 \text{ A}$ в каждом, провода взаимодействуют с силой $F = 0,5 \text{ Н/м}$?

279. В магнитном поле, индукция которого равна $B = 0,05 \text{ Тл}$, вращается стержень длиной $l = 1 \text{ м}$. Ось вращения, проходящая через один из концов стержня, параллельна силовым линиям магнитного поля. Найти поток магнитной индукции Φ , пересекаемый стержнем при каждом обороте.

280. Плоский контур с током $I = 10 \text{ A}$ свободно установился в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,1 \text{ Тл}$. Площадь контура $S = 100 \text{ см}^2$. Поддерживая ток в контуре неизменным, его повернули относительно оси, лежащей в плоскости контура, на угол $\alpha = 60^\circ$. Определить совершенную при этом работу.

281. В однородном магнитном поле, индукция которого $B = 0,1 \text{ Тл}$, помещена квадратная рамка. Ее плоскость составляет с направлением магнитного поля угол $\alpha = 45^\circ$. Стороны рамки $a = 4 \text{ см}$. Определить магнитный поток Φ , пронизывающий рамку.

282. Плоский контур площадью $S = 20 \text{ см}^2$ находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,03 \text{ Тл}$. Определить магнитный поток Φ , пронизывающий контур, если плоскость его составляет угол $\alpha = 60^\circ$ с направлением линий индукции.

283. В однородном магнитном поле перпендикулярно линиям индукции расположен плоский контур площадью $S = 100 \text{ см}^2$. Поддерживая в контуре постоянную силу тока $I = 50 \text{ A}$, его переместили в область пространства, где поле отсутствует. Определить индукцию B магнитного поля, если при перемещении контура была совершена работа $A = 0,4 \text{ Дж}$.

284. Кольцо радиусом $R = 10 \text{ см}$ находится в однородном поле, индукция которого $B = 1,25 \text{ мТл}$. Плоскость кольца составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с линиями напряженности. Вычислить величину магнитного потока Φ , пронизывающего кольцо.

285. Катушка диаметром $d = 10 \text{ см}$, имеющая $N = 100$ витков, находится в магнитном поле. Чему будет равно среднее значение ЭДС индукции в этой катушке, если индукция магнитного поля увеличивается в течение $\Delta t = 0,1 \text{ с}$ с 0 до 2 Тл ?

286. Круговой проволочный виток площадью $S = 100 \text{ см}^2$ находится в однородном магнитном поле, индукция которого $B = 1 \text{ Тл}$. Плоскость витка перпендикулярна направлению магнитного поля. Чему будет равно

среднее значение ЭДС индукции, возникающей в витке при выключении поля в течение $\Delta t = 0,01$ с?

287. В однородном магнитном поле, индукция которого $B = 0,1$ Тл движется проводник длиной $l = 10$ см. Скорость движения проводника $v = 15$ м/с и направлена она перпендикулярно магнитному полю. Чему равна индуцированная в проводнике ЭДС?

288. Прямой проводник длиной $l = 40$ см движется в однородном магнитном поле со скоростью $v = 5$ м/с перпендикулярно к линиям индукции. ЭДС индукции между концами проводника равна $0,6$ В. Определить индукцию B магнитного поля.

289. Проводник длиной $l = 1$ м движется со скоростью $v = 5$ м/с перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля. Определить магнитную индукцию B , если на концах проводника возникает разность потенциалов $U = 0,02$ В.

290. Магнитный поток, пронизывающий контур проводника, равномерно изменился на $\Delta\Phi = 0,6$ Вб так, что ЭДС индукции оказалась равной $\varepsilon_i = 1,2$ В. Найти время Δt изменения магнитного потока. Найти силу I индукционного тока, если сопротивление проводника $R = 0,24$ Ом.

291. Круговой проволочный виток радиусом $R = 5$ см находится в однородном магнитном поле. Плоскость витка перпендикулярна направлению магнитного поля. При выключении поля в течение $\Delta t = 0,01$ с в витке возникает ЭДС, равная 1 В. Найти индукцию магнитного поля B .

292. Соленоид сечением $S = 10$ см² содержит $N = 1000$ витков. При силе тока $I = 5$ А магнитная индукция поля внутри соленоида равна $B = 0,05$ Тл. Определить индуктивность соленоида L .

293. На картонный каркас длиной $l = 0,8$ м и диаметром $D = 4$ см намотан в один слой провод диаметром $d = 0,25$ мм так, что витки плотно прилегают друг другу. Вычислить индуктивность L получившегося соленоида.

294. Индуктивность соленоида, намотанного в один слой на немагнитный каркас, равна $L = 0,5$ мГн. Длина соленоида равна $l = 0,6$ м, диаметр $d = 2$ см. Определить отношение числа витков соленоида к его длине.

295. По катушке индуктивностью $L = 8$ мкГн течет ток $I = 6$ А. Определить среднее значение ЭДС самоиндукции, возникающей в контуре, если сила тока изменится практически до нуля за время $\Delta t = 5$ мс.

296. Соленоид содержит $N = 4000$ витков провода, по которому течет ток $I = 20$ А. Определить магнитный поток и потокосцепление, если индуктивность его равна $L = 0,4$ Гн.

297. Индуктивность соленоида, намотанного в один слой на немагнитный каркас, равна $L = 1,6$ мГн. Длина соленоида $l = 1$ м, сечение

$S = 20 \text{ см}^2$. Сколько витков приходится на каждый сантиметр длины соленоида?

298. Соленоид содержит $N = 100$ витков. Сила тока в обмотке соленоида равна $I = 1 \text{ А}$, а магнитный поток $\Phi = 0,01 \text{ Вб}$. Определить энергию магнитного поля W .

299. Индуктивность катушки равна $L = 0,5 \text{ Гн}$. Определить ЭДС самоиндукции, если за время $\Delta t = 0,1 \text{ с}$ сила тока в катушке, равномерно изменяясь, уменьшилась с 25 до 5 А.

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. Основные физические величины

Физическая величина	Значение
Ускорение свободного падения g	$9,81 \text{ м/с}^2$
Гравитационная постоянная G	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{кг} \cdot \text{с}$
Элементарный заряд e	$1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Скорость света в вакууме c	$3,00 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Электрическая постоянная ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$

2. Диэлектрическая проницаемость

Вещество	Проницаемость	Вещество	Проницаемость
Вода	81	Парафин	2,0
Масло	2,2	Стекло	7,0

3. Удельное сопротивление металлов

Металл	Удельное сопротивление, Ом·м	Металл	Удельное сопротивление, Ом·м
Железо	$9,8 \cdot 10^{-8}$	Нихром	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Медь	$1,7 \cdot 10^{-8}$	Серебро	$1,6 \cdot 10^{-8}$

4. Масса и энергия покоя некоторых частиц

Частица	M_0		F_0	
	кг	а.е.м.	Дж	МэВ
Электрон	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,00055	$8,16 \cdot 10^{-14}$	0,51
Протон	$1,627 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$1,50 \cdot 10^{-10}$	938
Нейтрон	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1,51 \cdot 10^{-10}$	939
Дейтрон	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3,00 \cdot 10^{-10}$	1876
α -частица	$6,64 \cdot 10^{-27}$	4,00149	$5,96 \cdot 10^{-10}$	3733
Нейтральный мезон	$2,41 \cdot 10^{-28}$	0,14498	$2,16 \cdot 10^{-11}$	135

5. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Приставка		Множитель	Приставка		Множитель
наименование	обозначение		наименование	обозначение	
Экса	Э	10^{18}	деци	д	10^{-1}
Пэта	П	10^{15}	санτι	с	10^{-2}
Тера	Т	10^{12}	милли	м	10^{-3}
Гига	Г	10^9	микро	мк	10^{-6}
Мега	М	10^6	нано	н	10^{-9}
Кило	к	10^3	пико	п	10^{-12}
Гекто	г	10^2	фемто	ф	10^{-15}
Дека	да	10^1	атто	а	10^{-18}

ФИЗИКА

Часть II

Раздел I

**ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК.
ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ**

Методические указания
к решению задач и контрольные задания по физике
для студентов- заочников всех направлений подготовки

Составитель: Фурер Виктор Львович