

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКА

Задания для аудиторных практических занятий
и самостоятельной работы студентов

Часть 2

Электричество и магнетизм

Учебное пособие

Ростов-на-Дону 2012

УДК 530.1

Ф 48

Авторский коллектив:

С.И. Егорова, В.С. Ковалева, В.С. Кунаков,

Г.Ф. Лемешко, Ю.М. Наследников

Ф 48 Физика: Задания для аудиторных практических заня-
тий и самостоятельной работы студентов. Часть 2. Электри-
чество и магнетизм: учеб. пособие / С.И. Егорова и др. – Ро-
стов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2012. – 52 с.

Цель пособия – обеспечение личносно-ориентированного
подхода к практическим занятиям по общему курсу физики с уче-
том степени подготовки студентов и количества аудиторных ча-
сов, выделяемых на лекционные и практические занятия.

Пособие предназначено для обучения и контроля работы
студентов на практических занятиях по разделу «электричество и
магнетизм» в течение первого и второго семестров обучения.

УДК 530.1

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Донского государственного технического университета

Научный редактор д-р техн. наук, проф. В.С. Кунаков

© Издательский центр ДГТУ, 2012

Общие методические указания

При решении и оформлении задач необходимо соблюдать следующие требования:

1. Записать краткое условие задачи, выразить все известные величины в одной и той же системе единиц (как правило, в СИ). При необходимости ввести дополнительные постоянные физические величины.

2. Решение задач следует сопровождать краткими, но исчерпывающими объяснениями. При необходимости дать чертеж или график.

3. Решать задачу надо в общем виде, т.е. выразить искомую величину в буквенных обозначениях величин, заданных в условии задачи. Произвести вычисления по расчетной формуле с соблюдением правил приближенных вычислений.

Результаты контроля аудиторной и самостоятельной работы студентов на практических занятиях учитываются лектором при приеме экзаменов и дифференцированных зачетов.

1. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Основные формулы и законы

- Закон Кулона

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

где F – модуль силы взаимодействия двух точечных зарядов q_1 и q_2 ; r – расстояние между зарядами; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ – электрическая постоянная, ϵ – диэлектрическая проницаемость среды, в которой находятся заряды (для вакуума $\epsilon = 1$)

- Напряженность и потенциал электростатического поля

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}; \quad \varphi = \frac{W_n}{q_0}, \quad \text{или} \quad \varphi = \frac{A_\infty}{q_0},$$

где \vec{F} – сила, действующая на точечный положительный заряд q_0 , помещенный в данную точку поля; W_n – потенциальная энергия заряда q_0 ; A_∞ – работа по перемещению заряда q_0 из данной точки поля в бесконечность.

- Напряженность и потенциал электростатического поля, создаваемого точечным зарядом q на расстоянии r от него

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}; \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}.$$

- Поток вектора напряженности через площадку dS

$$d\Phi_E = \vec{E}d\vec{S} = E_n dS,$$

где $d\vec{S} = dS \cdot \vec{n}$ – вектор, модуль которого равен dS , а направление совпадает с нормалью \vec{n} к площадке; E_n – составляющая вектора \vec{E} по направлению нормали \vec{n} к площадке.

- Поток вектора напряженности через произвольную поверхность S

$$\Phi_E = \int_S \vec{E}d\vec{S} = \int_S E_n dS.$$

- Напряженность и потенциал поля, создаваемого системой точечных зарядов (принцип суперпозиции (наложения) электростатических полей)

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i; \quad \varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i,$$

где \vec{E}_i , φ_i – соответственно напряженность и потенциал поля, создаваемого зарядом q_i , n – число зарядов, создающих поле.

- Связь между напряженностью и потенциалом электростатического поля

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi, \text{ или } \vec{E} = -\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\vec{k}\right),$$

где \vec{i} , \vec{j} , \vec{k} – единичные векторы координатных осей.

- В случае поля, обладающего центральной или осевой симметрией,

$$E = -\frac{d\varphi}{dr}.$$

- Для однородного поля (поля плоского конденсатора)

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d},$$

где $(\varphi_1 - \varphi_2)$ - разность потенциалов между пластинами конденсатора, d - расстояние между ними.

- Электрический момент диполя (дипольный момент)

$$\vec{p} = |q| \vec{l},$$

где \vec{l} – плечо диполя (векторная величина, направленная от отрицательного заряда к положительному).

- Линейная, поверхностная и объемная плотность зарядов, т.е. заряд, приходящийся соответственно на единицу длины, площади и объема:

$$\tau = \frac{dq}{dl}; \quad \sigma = \frac{dq}{dS}; \quad \rho = \frac{dq}{dV}.$$

- Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме

$$\Phi_E = \oint_S E_n dS = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^N q_i = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho dV,$$

где $\sum_{i=1}^n q_i$ – алгебраическая сумма зарядов, заключенных внутри замкнутой поверхности S ; N – число зарядов; ρ – объемная плотность зарядов.

- Напряженность поля, создаваемая равномерно заряженной бесконечной плоскостью,

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

- Напряженность и потенциал поля, создаваемого проводящей заряженной сферой радиусом R с зарядом q на расстоянии r от центра сферы,

$$E = 0; \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon R} \frac{q}{r} \quad \text{при } r < R \quad (\text{внутри сферы});$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} \frac{q}{r}; \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon r} \frac{q}{r} \quad \text{при } r \geq R \quad (\text{вне сферы}).$$

- Напряженность поля, создаваемого равномерно заряженной бесконечной цилиндрической поверхностью радиусом R на расстоянии r от оси цилиндра,

$$E = 0 \quad \text{при} \quad r < R \quad (\text{внутри цилиндра});$$

$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\tau}{\epsilon r} \quad \text{при} \quad r \geq R \quad (\text{вне цилиндра}).$$

- Работа, совершаемая силами электростатического поля при перемещении заряда q из точки 1 (потенциал φ_1) в точку 2 (потенциал φ_2),

$$A_{12} = q (\varphi_1 - \varphi_2), \text{ или } A_{12} = q \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{l} = q \int_1^2 E_l \cdot dl,$$

где E_l – проекция вектора \vec{E} на направление элементарного перемещения $d\vec{l}$.

- Вектор поляризации диэлектрика

$$\vec{P} = \frac{\sum_{i=1}^N \vec{p}_i}{V},$$

где V – объем диэлектрика; \vec{p}_i – дипольный момент i -й молекулы, N – число молекул.

- Связь между вектором поляризации и напряженностью электростатического поля в той же точке внутри диэлектрика

$$\vec{P} = \epsilon_0 \vec{E},$$

где ϵ_0 – диэлектрическая восприимчивость вещества.

- Связь диэлектрической проницаемости ϵ с диэлектрической восприимчивостью ϵ_0

$$\epsilon = 1 + \epsilon_0.$$

- Связь между напряженностью E поля в диэлектрике и напряженностью E_0 внешнего поля

$$E = \frac{E_0}{\epsilon}.$$

- Связь между векторами электрического смещения и напряженности электростатического поля

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}.$$

- Связь между векторами \vec{D} , \vec{E} и \vec{P}

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}.$$

- Теорема Гаусса для электростатического поля в диэлектрике

$$\Phi_D = \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \oint_S D_n dS = \sum_{i=1}^n q_i,$$

где $\sum_{i=1}^n q_i$ – алгебраическая сумма заключенных внутри замкнутой поверхности S свободных электрических зарядов; D_n – составляющая вектора \vec{D} по направлению нормали \vec{n} к площадке $d\vec{S}$; $d\vec{S} = dS \vec{n}$ – вектор, модуль которого равен dS , а направление совпадает с нормалью \vec{n} к площадке. Интегрирование ведется по всей поверхности.

- Электроемкость уединенного проводника и конденсатора

$$C = \frac{q}{\varphi}, \quad C = \frac{q}{U},$$

где q – заряд, сообщенный проводнику; φ – потенциал проводника; U – разность потенциалов между пластинами конденсатора.

- Электроемкость плоского конденсатора

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

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

- Электроемкость батареи конденсаторов: при последовательном (а) и параллельном (б) соединениях

$$\text{а) } \frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}, \quad \text{б) } C = \sum_{i=1}^n C_i,$$

где C_i – электроемкость i -го конденсатора; n – число конденсаторов.

- Энергия уединенного заряженного проводника

$$W = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{q\varphi}{2} = \frac{q^2}{2C}.$$

- Потенциальная энергия системы точечных зарядов

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i \varphi_i,$$

где φ_i – потенциал, создаваемый в той точке, где находится заряд q_i , всеми зарядами, кроме i -го, n – число зарядов.

- Энергия заряженного конденсатора

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C},$$

где q – заряд конденсатора; C – его электроёмкость; U – разность потенциалов между обкладками.

- Сила притяжения между двумя разноименно заряженными обкладками плоского конденсатора

$$|F| = \frac{\sigma^2 S}{2\varepsilon_0 \varepsilon} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2 S}{2}.$$

- Энергия электростатического поля плоского конденсатора

$$W = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} Sd = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S U^2}{2d} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} V,$$

где S – площадь одной пластины; U – разность потенциалов между пластинами; $V = Sd$ – объем области между пластинами конденсатора.

- Объемная плотность энергии электростатического поля

$$w = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} = \frac{ED}{2},$$

где E – напряжённость поля, D – электрическое смещение.

Задания

1.1. Сила гравитационного притяжения двух водяных одинаково заряженных капель радиусами 0,1 мм уравнивается кулоновской силой отталкивания. Определите заряд капель. Плотность воды равна 1 г/см³. [0,36 аКл].

1.2. Во сколько раз сила гравитационного взаимодействия между двумя протонами меньше силы их кулоновского отталкивания? Заряд протона численно равен заряду электрона. [в $1,25 \cdot 10^{38}$ раза].

1.3. Три одинаковых точечных заряда $q_1 = q_2 = q_3 = 2$ нКл находятся в вершинах равностороннего треугольника со сторонами 10 см. Определите модуль и направление силы, действующей на один из зарядов со стороны двух других. [6,2 мкН].

1.4. В вершинах равностороннего треугольника находятся одинаковые положительные заряды $q = 2$ нКл. Какой отрицательный заряд q_1 необходимо поместить в центр треугольника, чтобы сила притяжения со стороны заряда q_1 уравнивала силы отталкивания положительных зарядов? [1,15 нКл].

1.5. Четыре одинаковых точечных заряда $q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = 2$ нКл находятся в вершинах квадрата со стороной 10 см. Определите силу, действующую на один из зарядов со стороны трех других. [7 мкН].

1.6. Два шарика одинакового радиуса и массы подвешены на двух нитях так, что их поверхности соприкасаются. После соприкосновения шарикам заряда $4 \cdot 10^{-7}$ Кл они оттолкнулись друг от друга и разошлись на угол 60° . Найдите массу каждого шарика, если длина нити 20 см. [$1,56 \cdot 10^{-3}$ кг].

1.7. Два шарика массой 1 кг каждый подвешены на нитях, верхние концы которых соединены вместе. Длина каждой нити 10 см. Какие одинаковые заряды надо сообщить шарикам, чтобы нити разошлись на угол 60° ? [7,6 мкКл].

1.8. К бесконечно заряженной плоскости с поверхностной плотностью заряда $8,85$ нКл/см² прикреплен на нити одноименно заряженный шарик с массой 1 г и зарядом 2 нКл. Какой угол с плоскостью образует нить, на которой висит шарик? [45°].

1.9. С какой силой, приходящейся на единицу площади, отталкиваются две одноименно заряженные бесконечно протяженные плоскости? Поверхностная плотность заряда на каждой плоскости 2 мКл/м²? [0,2 Н/м²].

1.10. С какой силой, приходящейся на единицу длины, отталкиваются две одноименно заряженные бесконечно длинные нити с одинаковой линейной плотностью заряда 2 мКл/м, находящихся на расстоянии 2 см друг от друга? [3,6 Н/м].

1.11. С какой силой электрическое поле заряженной бесконечной плоскости действует на каждый метр заряженной бесконечно длинной нити, помещенной в это поле? Поверхностная плотность заряда на плоскости равна 2 мкКл/м^2 и линейная плотность заряда на плоскости 2 мкКл/м . $[0,2 \text{ Н/м}]$.

1.12. Тонкий прямой стержень длиной 15 см равномерно заряжен с линейной плотностью $0,10 \text{ мКл/м}$. На продолжении оси стержня на расстоянии 10 см от ближайшего конца находится точечный заряд 10 нКл . Определите силу взаимодействия стержня и заряда. $[56 \text{ нН}]$.

1.13. На тонком стержне длиной 20 см находится равномерно распределенный электрический заряд. На продолжении оси стержня, на расстоянии 10 см от ближнего конца, находится точечный заряд 40 нКл , который взаимодействует со стержнем с силой 6 мН . Определите линейную плотность заряда на стержне. $[2,5 \text{ нКл/м}]$.

1.14. Два точечных заряда $q_1 = 4 \text{ нКл}$ и $q_2 = -2 \text{ нКл}$ находятся друг от друга на расстоянии 60 см . Определите напряженность поля в точке, расположенной посередине между зарядами. $[0,6 \text{ кВ/м}]$.

1.15. Чему равна напряженность поля в точке, расположенной посередине между точечными зарядами $q_1 = 4 \text{ нКл}$ и $q_2 = 2 \text{ нКл}$? Расстояние между зарядами равно 60 см . $[0,2 \text{ кВ/м}]$.

1.16. Определите напряженность поля в точке, находящейся на прямой, соединяющей заряды $q_1 = 10 \text{ нКл}$ и $q_2 = -8 \text{ нКл}$, на расстоянии 8 см справа от отрицательного заряда. Расстояние между зарядами равно 20 см . $[10 \text{ кВ/м}]$.

1.17. Определите напряженность поля в точке, находящейся на прямой, соединяющей заряды $q_1 = 10 \text{ нКл}$ и $q_2 = -8 \text{ нКл}$, на расстоянии 8 см слева от отрицательного заряда. Расстояние между зарядами равно 20 см . $[17,5 \text{ кВ/м}]$.

1.18. Расстояние между двумя точечными зарядами $q_1 = 2 \text{ нКл}$ и $q_2 = -3 \text{ нКл}$, расположенными в вакууме, равно 25 см . Определите напряженность поля, создаваемого этими зарядами в точке, удаленной от первого заряда на расстояние 20 см и от второго заряда на 15 см . $[1,3 \text{ кВ/м}]$.

1.19. Расстояние между одноименными одинаковыми зарядами $q = 2 \text{ нКл}$ равно 10 см . Определите напряженность поля, создаваемого этими зарядами в точке, находящейся на расстоянии 8 см от первого и 6 см от второго заряда. $[5,7 \text{ кВ/м}]$.

1.20. В вершинах квадрата со стороной 5 см находятся одинаковые положительные заряды $q = 2$ нКл. Определите напряженность электростатического поля: 1) в центре квадрата; 2) в середине одной из сторон квадрата. [1) 0; 2) 10,3 кВ/м].

1.21. Электростатическое поле создается двумя бесконечными параллельными плоскостями, заряженными равномерно одноименными зарядами с поверхностной плотностью соответственно $\sigma_1 = 2$ нКл/м² и $\sigma_2 = 4$ нКл/м². Определите модуль напряженности электростатического поля: 1) между плоскостями; 2) за пределами плоскостей. [1) 113 В/м; 2) 339 В/м].

1.22. Электростатическое поле создается двумя бесконечными параллельными плоскостями, заряженными равномерно разноименными зарядами с поверхностной плотностью $\sigma_1 = 1$ нКл/м² и $\sigma_2 = -2$ нКл/м². Определите модуль напряженности электростатического поля: 1) между плоскостями; 2) за пределами плоскостей. [1) 169 В/м; 2) 56,5 В/м].

1.23. На металлической сфере радиусом 15 см находится заряд $q = 2$ нКл. Определите напряженность электростатического поля: 1) на расстоянии 10 см от центра сферы; 2) на поверхности сферы; 3) на расстоянии 20 см от центра сферы. Постройте график зависимости напряженности поля от расстояния. [1) 0; 2) 800 В/м; 3) 450 В/м].

1.24. Кольцо радиусом 5 см из тонкой проволоки равномерно заряжено с линейной плотностью $\tau = 14$ нКл/м. Определите напряженность поля на оси, проходящей через центр кольца, в точке, удаленной на расстояние 10 см от центра кольца. [2,83 кВ/м].

1.25. Поле создано двумя равномерно заряженными концентрическими сферами радиусами $R_1 = 5$ см и $R_2 = 8$ см. Заряды сфер соответственно равны $q_1 = 2$ нКл и $q_2 = -1$ нКл. Определите напряженность электростатического поля в точках, лежащих от центра сфер на расстояниях: 1) $r_1 = 3$ см; 2) $r_2 = 6$ см; 3) $r_3 = 10$ см. [1) 0; 2) 5 кВ/м; 3) 0,9 кВ/м].

1.26. Определите поток Φ_E вектора напряженности электростатического поля через сферическую поверхность, охватывающую точечные заряды $q_1 = 5$ нКл и $q_2 = -2$ нКл. [339 В·м].

1.27. Определите поток Φ_E вектора напряженности электростатического поля через сферическую поверхность, охватывающую точечные заряды $q_1 = 5$ нКл и $q_2 = 2$ нКл. [790 В·м].

1.28. На некотором расстоянии от бесконечной равномерно заряженной плоскости с поверхностной плотностью $0,1 \text{ нКл/см}^2$ расположена круглая пластинка. Нормаль к плоскости пластинки составляет с линиями напряженности угол 30° . Определите поток Φ_E вектора напряженности через эту пластинку, если ее радиус равен 15 см . [$3,46 \text{ кВ}\cdot\text{м}$].

1.29. Электростатическое поле создается положительным точечным зарядом. Определите числовое значение и направление градиента потенциала этого поля, если на расстоянии 10 см от заряда потенциал равен 100 В . [1 кВ/м , направлен к заряду].

1.30. Электростатическое поле создается бесконечной плоскостью, заряженной равномерно с поверхностной плотностью 5 нКл/м^2 . Определите числовое значение и направление градиента потенциала этого поля. [282 В/м , направлен к плоскости].

1.31. Электростатическое поле создается бесконечной прямой нитью, заряженной равномерно с линейной плотностью 50 пКл/см . Определите числовое значение и направление градиента потенциала в точке на расстоянии $0,5 \text{ м}$ от нити. [180 В/м , направлен к нити].

1.32. Расстояние между двумя точечными зарядами $q_1 = 1 \text{ нКл}$ и $q_2 = -3 \text{ нКл}$, расположенными в вакууме, равно 20 см . Определите потенциал поля, создаваемого этими зарядами в точке, удаленной от первого заряда на расстояние 15 см и от второго заряда на 10 см . [-150 В].

1.33. Электростатическое поле создается в вакууме бесконечным цилиндром радиусом 8 мм , равномерно заряженным с линейной плотностью 10 нКл/м . Определите разность потенциалов между двумя точками этого поля, расположенными на расстояниях 2 мм и 7 мм от поверхности этого цилиндра. [73 В].

1.34. Металлический шар радиусом 5 см имеет заряд $q = 10 \text{ нКл}$. Определите потенциал электростатического поля: 1) на поверхности шара; 2) на расстоянии 2 см от его поверхности. [1) $1,8 \text{ кВ}$; 2) $1,29 \text{ кВ}$].

1.35. Тонкое кольцо радиусом 5 см из тонкой проволоки имеет равномерно распределенный заряд $q = 10 \text{ нКл}$. Определите потенциал φ электростатического поля: 1) в центре кольца; 2) на оси, проходящей через центр кольца, в точке, удаленной на расстояние 10 см от центра кольца. [1) $1,8 \text{ кВ}$; 2) 805 В].

1.36. Электростатическое поле создается бесконечной плоскостью, равномерно заряженной с поверхностной плотностью $\sigma = 1 \text{ нКл/м}^2$. Определите разность потенциалов между двумя точками этого поля, расположенными на расстоянии 20 и 50 см от плоскости. [16,9 В].

1.37. Электростатическое поле создается равномерно заряженной сферической поверхностью радиусом 10 см с зарядом $q=15 \text{ нКл}$. Определите разность потенциалов между двумя точками этого поля, расположенными на расстоянии 5 см и 15 см от поверхности сферы. [360 В].

1.38. Электростатическое поле создается сферой радиусом 5 см, равномерно заряженной с поверхностной плотностью 1 нКл/м^2 . Определите разность потенциалов между двумя точками поля, расположенными на расстоянии 10 см и 15 см от центра сферы. [0,94 В].

1.39. Электростатическое поле создается равномерно заряженным шаром радиусом 1 м и зарядом 50 нКл. Определите разность потенциалов для точек, расположенных от центра шара на расстоянии 1,5 и 2 м. [75 В].

1.40. Электростатическое поле создается шаром радиусом 8 см, равномерно заряженным с объемной плотностью 10 нКл/м^3 . Определите разность потенциалов между двумя точками этого поля, расположенными на расстояниях 10 и 15 см от центра шара. [0,64 В].

1.41. Электростатическое поле создается в вакууме непроводящим шаром радиусом 10 см, равномерно заряженным с объемной плотностью 20 нКл/м^3 . Определите разность потенциалов между точками, расположенными внутри шара на расстоянии 2 и 8 см от его центра. [2,26 В].

1.42. Электростатическое поле создается положительно заряженной с постоянной поверхностной плотностью 10 нКл/м^2 бесконечной плоскостью. Какую работу надо совершить для того, чтобы перенести электрон вдоль линии напряженности с расстояния 2 см до 1 см от плоскости? [$9,04 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$].

1.43. Под действием электростатического поля равномерно заряженной бесконечной плоскости точечный заряд $q=1 \text{ нКл}$ переместился вдоль силовой линии на расстояние 1 см; при этом совершена работа 5 мкДж. Определите поверхностную плотность заряда на плоскости. [$8,85 \text{ мКл/м}^2$].

1.44. Электростатическое поле создается положительно заряженной бесконечной нитью с постоянной линейной плотностью заряда 1 нКл/см . Какую скорость приобретет электрон, приблизившись к нити вдоль линии напряженности с расстояния $1,5 \text{ см}$ до 1 см от нити? Начальная скорость электрона равна нулю. [16 Мм/с].

1.45. Одинаковые заряды $q = 100 \text{ нКл}$ расположены в вершинах квадрата со стороной 10 см . Определите потенциальную энергию этой системы. [$4,87 \text{ мДж}$].

1.46. Сферическая поверхность имеет равномерно распределенный заряд. Определите радиус поверхности сферы, если потенциал в центре шара равен 200 В , а в точке, лежащей от его центра на расстоянии 50 см , 40 В . [10 см].

1.47. Определите линейную плотность бесконечно длинной заряженной нити, если работа сил поля по перемещению заряда $q = 1 \text{ нКл}$ с расстояния 5 см до 2 см в направлении, перпендикулярном нити, равна 50 мкДж . [$3,03 \text{ мКл/м}$].

1.48. Электростатическое поле создается положительно заряженной бесконечной нитью. Протон, двигаясь от нити под действием поля вдоль линии напряженности с расстояния 1 см до расстояния 5 см , изменил свою скорость от 1 до 10 Мм/с . Определите линейную плотность заряда нити. [$17,8 \text{ мКл/м}$].

1.49. Определите ускоряющую разность потенциалов, которую должен пройти в электрическом поле электрон, чтобы его скорость возросла от 1 Мм/с до 5 Мм/с . [$68,3 \text{ В}$].

1.50. Какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти в электрическом поле электрон, чтобы получить скорость 8 Мм/с ? [182 В].

1.51. Определите ускоряющую разность потенциалов, которую должен пройти в электрическом поле электрон, обладающий скоростью 1 Мм/с , чтобы скорость его возросла в 2 раза. [$8,5 \text{ В}$].

1.52. Определите поверхностную плотность зарядов на пластинах плоского слюдяного ($\varepsilon=7$) конденсатора, заряженного до разности потенциалов 200 В , если расстояние между его пластинами равно $0,5 \text{ мм}$. [$24,8 \text{ мКл/м}^2$].

1.53. Расстояние между пластинами плоского конденсатора 5 мм . После зарядки конденсатора до разности потенциалов 500 В между пластинами конденсатора поместили стеклянную пластинку ($\varepsilon=7$), полностью заполняющую пространство конденсатора.

Определите: 1) диэлектрическую восприимчивость стекла; 2) поверхностную плотность связанных зарядов на стеклянной пластинке. [1) 6; 2) 759 нКл/м²].

1.54. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено двумя слоями диэлектрика — слюдяной пластиной ($\varepsilon_1=7$) толщиной $d_1 = 1$ мм и парафиновой пластиной ($\varepsilon_2=2$) толщиной $d_2 = 0,5$ мм. Определите: 1) напряженности электростатических полей в слоях диэлектрика; 2) электрическое смещение, если разность потенциалов между пластинами конденсатора $U = 500$ В. [1) $E_1 = 182$ кВ/м, $E_2 = 637$ кВ/м; 2) $D = 11,3$ мКл/м²].

1.55. Расстояние между пластинами плоского конденсатора $d = 5$ мм, разность потенциалов $U = 1,2$ кВ. Определите: 1) поверхностную плотность заряда на пластинах конденсатора; 2) поверхностную плотность связанных зарядов на диэлектрике, если известно, что диэлектрическая восприимчивость диэлектрика, заполняющего пространство между пластинами, $\varepsilon = 1$. [1) 4,25 мКл/м²; 2) 2,12 мКл/м²].

1.56. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено стеклом ($\varepsilon = 7$). Расстояние между пластинами $d = 5$ мм, разность потенциалов $U = 1$ кВ. Определите: 1) напряженность поля в стекле; 2) поверхностную плотность заряда на пластинах конденсатора; 3) поверхностную плотность связанных зарядов на стекле. [1) 200 кВ/м; 2) 12,4 мКл/м²; 3) 10,6 мКл/м²].

1.57. Определите расстояние между пластинами плоского конденсатора, если между ними приложена разность потенциалов $U=150$ В, причем площадь каждой пластины $S=100$ см², ее заряд $q=10$ нКл. Диэлектриком является слюда ($\varepsilon=7$). [9,29 мм].

1.58. На пластинах плоского конденсатора находится заряд 10 нКл. Площадь каждой пластины конденсатора равна 100 см², диэлектрик – воздух. Определите силу, с которой притягиваются пластины. Поле между пластинами считать однородным. [565 мкН].

1.59. Разность потенциалов между пластинами плоского конденсатора $U=100$ В. Площадь каждой пластины $S=200$ см², расстояние между пластинами $d=0,5$ мм, пространство между ними заполнено парафином ($\varepsilon =2$). Определите силу притяжения пластин друг к другу. [7,08 мН].

1.60. Шар, погруженный в масло ($\varepsilon = 2,2$), имеет поверхностную плотность заряда $\sigma = 1 \text{ мкКл/м}^2$ и потенциал $\varphi = 500 \text{ В}$. Определите: 1) радиус шара; 2) заряд шара; 3) электрическую емкость шара; 4) энергию шара. [1) 9,74 мм; 2) 1,19 нКл; 3) 2,38 пФ; 4) 0,3 мкДж].

1.61. К пластинам плоского воздушного конденсатора приложена разность потенциалов $U_1 = 500 \text{ В}$. Площадь пластин $S = 200 \text{ см}^2$, расстояние между ними $d = 1,5 \text{ мм}$. **После отключения** конденсатора от источника напряжения пространство между пластинами заполнили парафином ($\varepsilon = 2$). Определите разность потенциалов U_2 между пластинами после внесения диэлектрика. Определите также электроемкости конденсатора C_1 и C_2 до и после внесения диэлектрика. [$U_2 = 250 \text{ В}$, $C_1 = 118 \text{ пФ}$, $C_2 = 236 \text{ пФ}$].

1.62. К пластинам плоского воздушного конденсатора приложена разность потенциалов $U_1 = 500 \text{ В}$. Площадь пластин $S = 200 \text{ см}^2$, расстояние между ними $d = 1,5 \text{ мм}$. **При включенном** источнике питания в пространство между пластинами конденсатора внесли парафин ($\varepsilon = 2$). Определите разность потенциалов U_2 между пластинами после внесения диэлектрика. Определите также электроемкости конденсатора C_1 и C_2 до и после внесения диэлектрика. [$U_2 = 500 \text{ В}$, $C_1 = 118 \text{ пФ}$, $C_2 = 236 \text{ пФ}$].

1.63. Плоский воздушный конденсатор электроемкостью $C = 10 \text{ пФ}$ заряжен до разности потенциалов $U_1 = 500 \text{ В}$. **После отключения** конденсатора от источника тока расстояние между пластинами конденсатора было увеличено в 3 раза. Определите: 1) разность потенциалов на обкладках конденсатора после их раздвижения; 2) работу внешних сил по раздвижению пластин. [1) 1,5 кВ; 2) 2,5 мкДж].

1.64. К пластинам плоского воздушного конденсатора приложено напряжение $U_1 = 500 \text{ В}$. Площадь пластин $S = 200 \text{ см}^2$, расстояние между ними $d_1 = 1,5 \text{ мм}$. Пластины раздвинули до расстояния $d_2 = 15 \text{ мм}$. Найдите энергии W_1 и W_2 конденсатора до и после раздвижения пластин, если источник тока перед раздвижением **отключался**. [$W_1 = 14,8 \text{ мкДж}$, $W_2 = 148 \text{ мкДж}$].

1.65. К пластинам плоского воздушного конденсатора приложено напряжение $U_1 = 500 \text{ В}$. Площадь пластин $S = 200 \text{ см}^2$, расстояние между ними $d_1 = 1,5 \text{ мм}$. Пластины раздвинули до расстояния $d_2 = 15 \text{ мм}$. Найдите энергии W_1 и W_2 конденсатора до и

после раздвижения пластин, если источник тока перед раздвижением **не отключался**. [$W_1 = 14,8$ мкДж, $W_2 = 1,48$ мкДж].

1.66. Расстояние между пластинами заряженного плоского конденсатора уменьшили в 2 раза. Во сколько раз изменилась энергия и плотность энергии поля, если конденсатор остался **присоединенным** к источнику постоянного напряжения? [увеличилась в 2 раза, увеличилась в 4 раза].

1.67. Емкость батареи, образованной двумя последовательно соединенными конденсаторами, равна 100 пФ, а заряд батареи 20 нКл. Определите емкость второго конденсатора, а также разности потенциалов на обкладках каждого конденсатора, если емкость первого конденсатора 200 пФ. [$C_2 = 200$ пФ, $\Delta\varphi_1 = 100$ В, $\Delta\varphi_2 = 100$ В].

1.68. К батарее с напряжением 300 В подключены два плоских конденсатора с емкостями 2 пФ и 3 пФ. Определите заряд и напряжение на пластинах конденсаторов при последовательном их соединении. [0,36 нКл; 0,36 нКл; 180 В; 120 В].

1.69. К батарее с напряжением 300 В подключены два плоских конденсатора с емкостями 2 пФ и 3 пФ. Определите заряд и напряжение на пластинах конденсаторов при параллельном их соединении. [0,6 нКл; 0,9 нКл; 300 В; 300 В].

1.70. Конденсаторы с емкостями 2 мкФ, 5 мкФ и 10 мкФ соединены последовательно и находятся под напряжением 800 В. Определите напряжение и заряд на каждом из конденсаторов. [1 мКл; 1 мКл; 1 мКл; 500 В; 200 В; 100 В].

2. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Основные формулы и законы

- Сила тока

$$I = \frac{dq}{dt}; \quad I = \frac{q}{t} \text{ (если } I = \text{const) }.$$

- Плотность тока

$$\vec{j} = \frac{\vec{I}}{S}, \quad \vec{j} = ne\langle\vec{v}\rangle,$$

где S – площадь поперечного сечения проводника, $\langle \vec{v} \rangle$ – средняя скорость упорядоченного движения зарядов в проводнике, n – концентрация зарядов, e – элементарный заряд.

- Зависимость сопротивления от параметров проводника

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

где l – длина проводника, S – площадь поперечного сечения проводника, $\rho = \frac{1}{\gamma}$ – удельное сопротивление, γ – удельная проводимость.

- Зависимость удельного сопротивления от температуры для металлических проводников

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t),$$

где α – температурный коэффициент сопротивления, ρ_0 – удельное сопротивление при 0°C , t – температура проводника.

- Сопротивление системы проводников: при последовательном (а) и параллельном (б) соединениях

$$\text{а) } R = \sum_{i=1}^n R_i, \quad \text{б) } \frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i},$$

где R_i – сопротивление i -го проводника, n – число проводников.

- Сопротивления, необходимые для расширения пределов измерения приборами силы тока ($R_{\text{шунта}}$) и напряжения ($R_{\text{доб.}}$) в n раз

$$R_{\text{шунта}} = \frac{R}{n-1}, \quad R_{\text{доб.}} = R(n-1).$$

- Законы Ома:
для однородного участка цепи

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R},$$

для неоднородного участка цепи

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{1,2}}{R},$$

для замкнутой цепи

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

где U – напряжение на однородном участке цепи, $(\varphi_1 - \varphi_2)$ – разность потенциалов на концах участка цепи, \mathcal{E} – ЭДС источника, r – внутреннее сопротивление источника тока, в дифференциальной форме

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

где \vec{j} – плотность тока, γ – удельная проводимость, \vec{E} – напряжённость поля.

- Сила тока короткого замыкания

$$I = \frac{\mathcal{E}}{r}.$$

- Работа тока за время t

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

- Закон Джоуля-Ленца (количество теплоты, выделяемой при прохождении тока через проводник)

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

- Мощность тока, выделяемая в нагрузке (полезная),

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

- Полная мощность, выделяемая в цепи,

$$P = \mathcal{E} I.$$

- Мощность, теряемая в источнике,

$$P = I^2 r.$$

- Коэффициент полезного действия источника тока

$$\eta = \frac{P_{\text{полезная}}}{P_{\text{полная}}} = \frac{R}{R + r}.$$

- Правила Кирхгофа

$$1) \sum_i I_i = 0 \text{ – для узлов;}$$

$$2) \sum_i I_i R_i = \sum_k \mathcal{E}_k \text{ – для контуров,}$$

где $\sum_i I_i$ – алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле,

$\sum_k \mathcal{E}_k$ – алгебраическая сумма ЭДС в контуре.

Задания

2.1. В сеть включены четыре последовательно соединённых резистора одинакового сопротивления. Как изменится сопротивление цепи, если эти резисторы соединить параллельно? [уменьшится в 16 раз].

2.2. В сеть с напряжением 120 В включены две лампы сопротивлением 200 Ом каждая. Какой ток пойдёт через каждую лампу при параллельном и последовательном их соединениях? [0,6 А; 0,3 А].

2.3. Общее сопротивление двух последовательно соединённых проводников 5 Ом, а параллельно соединённых 1,2 Ом. Определите сопротивление каждого проводника. [3 Ом и 2 Ом].

2.4. Сопротивление одного из последовательно включённых проводников в n раз больше сопротивления другого. Во сколько раз изменится сила тока в цепи (напряжение постоянно), если проводники включить параллельно? [увеличится в $(n+1)^2/n$ раз].

2.5. На концах медного провода длиной 5 м поддерживается напряжение 1 В. Определите плотность тока в проводе (удельное сопротивление меди $1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$). [$1,18 \cdot 10^7 \text{ А/м}^2$].

2.6. Во сколько раз изменится сопротивление проводника (без изоляции), если его свернуть пополам и скрутить? [уменьшится в 4 раза].

2.7. Гальванический элемент даёт на внешнее сопротивление 0,5 Ом силу тока 0,2 А. Если внешнее сопротивление заменить на 0,8 Ом, то ток в цепи 0,15 А. Определите силу тока короткого замыкания. [0,45А] .

2.8. Резистор сопротивлением 5 Ом, вольтметр и источник тока соединены параллельно. Вольтметр показывает напряжение 10 В. Если заменить резистор другим с сопротивлением 12 Ом, то вольтметр покажет напряжение 12 В. Определите ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока. Током через вольтметр пренебречь. [14 В; 2 Ом].

2.9. Найдите внутреннее сопротивление и ЭДС источника тока, если при силе тока 30 А мощность во внешней цепи равна 180 Вт, а при силе тока 10 А эта мощность равна 100 Вт. [0,2 Ом; 12 В].

2.10. Определите силу тока в цепи, состоящей из двух элементов с ЭДС, равными 1,6 В и 1,2 В и внутренними сопротивлениями 0,6 Ом и 0,4 Ом соответственно, соединённых одноимёнными полюсами. [0,4 А] .

2.11. Электрическую лампу сопротивлением 240 Ом, рассчитанную на напряжение 120 В, надо питать от сети напряжением 220 В. Какой длины нихромовый проводник с площадью поперечного сечения 0,55 мм² надо включить последовательно с лампой? (удельное сопротивление нихрома $1,1 \cdot 10^{-6}$ Ом·м). [100 м].

2.12. Цепь состоит из трёх последовательно соединённых проводников, подключённых к источнику напряжения 24 В. Сопротивление первого проводника 4 Ом, второго 6 Ом, а напряжение на концах третьего проводника 4 В. Найдите силу тока в цепи, сопротивление третьего проводника и напряжения на концах первого и второго проводников. [2 А; 2 Ом; 8 В; 12 В].

2.13. К источнику тока с ЭДС 12 В присоединена нагрузка. Напряжение на клеммах источника 8 В. Определите КПД источника тока. [68%] .

2.14. Внешняя цепь источника тока потребляет мощность 0,75 Вт. Определите силу тока в цепи, если ЭДС источника 2 В и внутреннее сопротивление 1 Ом. [0,5 А и 1,5 А] .

2.15. Источник тока с ЭДС 12 В и внутренним сопротивлением 1 Ом подключён к нагрузке сопротивлением 9 Ом. Найдите: 1) силу тока в цепи, 2) мощность, выделяемую во внешней части цепи, 3) мощность, теряемую в источнике тока, 4) полную мощность источника тока, 5) КПД источника тока. [1)1,2 А; 2)12,96 Вт; 3)1,44 Вт; 4)14,4 Вт; 5)90%].

2.16. Обмотка электрического кипятильника имеет две секции. Если включена одна секция, вода закипает через 10 мин, если другая, то через 20 мин. Через сколько минут закипит вода, если обе секции включить последовательно? Напряжение на зажимах кипятильника и КПД установки считать во всех случаях одинаковыми. [30 мин].

2.17. Обмотка электрического кипятильника имеет две секции. Если включена одна секция, вода закипает через 10 мин, если другая, то через 20 мин. Через сколько минут закипит вода, если обе секции включить параллельно? Напряжение на зажимах кипятильника и КПД установки считать во всех случаях одинаковыми. [6,67 мин] .

2.18. Амперметр сопротивлением 0,18 Ом предназначен для измерения силы тока до 10 А. Какое сопротивление надо взять и как его включить, чтобы этим амперметром можно было измерять силу тока до 100 А? [0,02 Ом, параллельно].

2.19. Вольтметр сопротивлением 2000 Ом предназначен для измерения напряжения до 30 В. Какое сопротивление надо взять и как его включить, чтобы этим вольтметром можно было измерять напряжение до 75 В? [3000 Ом, последовательно].

2.20. Ток в проводнике сопротивлением 100 Ом равномерно нарастает от 0 до 10 А в течение 30 с. Чему равно количество теплоты, выделившееся за это время в проводнике? [100 кДж].

2.21. Ток в проводнике сопротивлением 12 Ом равномерно убывает от 5 А до 0 в течение 10 с. Какое количество теплоты выделяется в проводнике за это время? [1 кДж].

2.22. По проводнику сопротивлением 3 Ом течёт равномерно возрастающий ток. Количество теплоты, выделившееся в проводнике за 8 с, равно 200 Дж. Определите заряд, протекший за это время по проводнику. В начальный момент времени ток был равен нулю. [20 Кл].

2.23. Ток в проводнике сопротивлением 15 Ом равномерно возрастает от 0 до некоторого максимума в течение 5 с. За это время в проводнике выделилось количество 'теплоты 10 кДж. Найдите среднее значение силы тока в проводнике за этот промежуток времени. [10 А] .

2.24. Ток в проводнике равномерно увеличивается от нуля до некоторого максимального значения в течение 10 с. За это время в проводнике выделилось количество теплоты 1 кДж. Определите скорость нарастания тока в проводнике, если сопротивление его 3 Ом. [1А/с].

2.25. На рис. 2.1 $I_1 = I_2 = I_3$, $R_1 = 48$ Ом, $R_2 = 24$ Ом, падение напряжения U_2 на сопротивлении R_2 равно 12 В. Пренебрегая внутренним сопротивлением элементов, определите силу тока во всех участках цепи и сопротивление R_3 . [$I_1=0,25$ А, $I_2=0,5$ А, $I_3=0,75$ А, $R_3=16$ Ом].

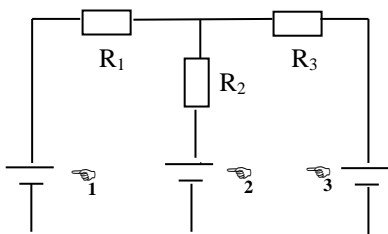


Рис. 2.1.

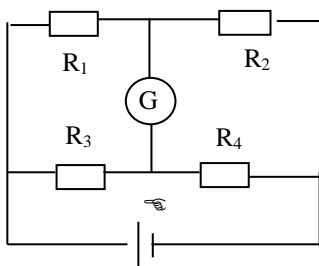


Рис.2.2.

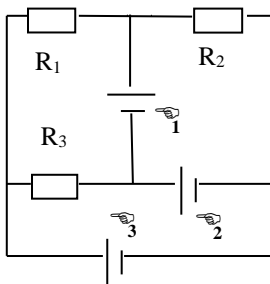


Рис. 2.3

2.26. На рис. 2.2 $\mathcal{E}=2$ В, $R_1= 60$ Ом, $R_2= 40$ Ом, $R_3=R_4= 20$ Ом, $R_G= 100$ Ом. Определите силу тока I_G через гальванометр. [1,49 мА].

2.27. Найдите силу тока в отдельных ветвях мостика Уитстона (рис. 2.2) при условии, что сила тока, идущего через гальванометр, равна нулю. ЭДС источника 2В, $R_1= 30$ Ом, $R_2= 45$ Ом,

$R_3 = 200 \text{ Ом}$. Внутренним сопротивлением источника пренебречь. [$I_1 = I_2 = 26,7 \text{ мА}$, $I_3 = I_4 = 4 \text{ мА}$].

2.28. На рис. 2.3 $\mathcal{E}_1 = 10 \text{ В}$, $\mathcal{E}_2 = 20 \text{ В}$, $\mathcal{E}_3 = 40 \text{ В}$, а сопротивления $R_1 = R_2 = R_3 = 10 \text{ Ом}$. Определите силу токов через сопротивления (I) и через источники (I'). Внутренним сопротивлением источников пренебречь. [$I_1 = 1 \text{ А}$, $I_2 = 3 \text{ А}$, $I_3 = 2 \text{ А}$, $I'_1 = 2 \text{ А}$, $I'_2 = 0$, $I'_3 = 3 \text{ А}$].

2.29. На рис. 2.4 $\mathcal{E}_1 = 2,1 \text{ В}$, $\mathcal{E}_2 = 1,9 \text{ В}$, $R_1 = 45 \text{ Ом}$, $R_2 = 10 \text{ Ом}$, $R_3 = 10 \text{ Ом}$. Найдите силу тока во всех участках цепи. Внутренним сопротивлением элементов пренебречь. [$I_1 = 0,04 \text{ А}$, $I_2 = 0,01 \text{ А}$, $I_3 = 0$].

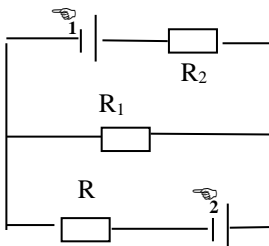


Рис. 2.4

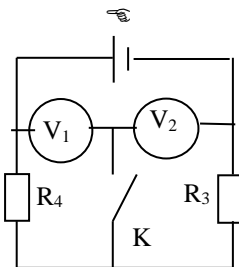


Рис. 2.5

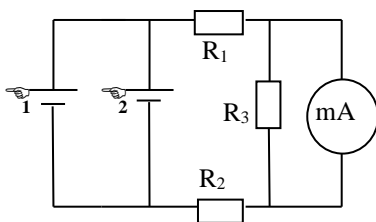


Рис. 2.6

2.30. На рис. 2.5 сопротивления вольтметров равны $R_1 = 3000 \text{ Ом}$ и $R_2 = 2000 \text{ Ом}$; $R_3 = 3000 \text{ Ом}$, $R_4 = 2000 \text{ Ом}$; $\mathcal{E} = 200 \text{ В}$. Найдите показания вольтметров в случаях: а) ключ K разомкнут,

б) ключ K замкнут. Внутренним сопротивлением источника пренебречь. [а) $U_1=120$ В, $U_2=80$ В; б) $U_1=U_2=100$ В].

2.31. На рис. 2.6 $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 1,5$ В, внутренние сопротивления источников $r_1=r_2=0,5$ Ом, $R_1=R_2= 2$ Ом, $R_3= 1$ Ом. Сопротивление миллиамперметра 3 Ом. Найдите показание миллиамперметра. [75 мА].

2.32. На рис. 2.7 $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 110$ В, $R_1=R_2= 200$ Ом, сопротивление вольтметра 1000 В. Найдите показание вольтметра. Внутренним сопротивлением источников пренебречь. [100 В].

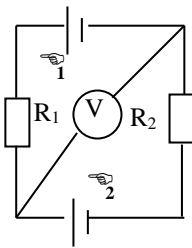


Рис. 2.7

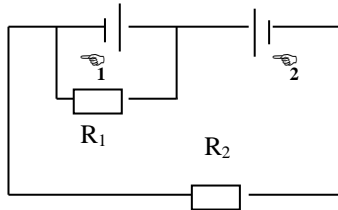


Рис. 2.8

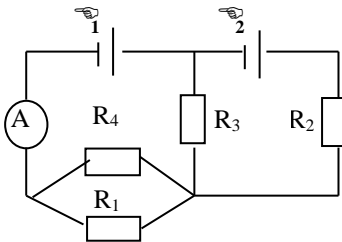


Рис. 2.9

2.33. На рис. 2.8 $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 2$ В, внутренние сопротивления источников равны 0,5 Ом, $R_1= 0,5$ Ом, $R_2= 1,5$ Ом. Найдите силу тока во всех участках цепи. [2,22 А; 0,44 А; 1,78 А].

2.34. На рис. 2.9 $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 100$ В, $R_1= 20$ Ом, $R_2= 10$ Ом, $R_3= 40$ Ом, $R_4= 30$ Ом. Найдите показание амперметра. Внутренним сопротивлением источников и амперметра пренебречь. [1 А].

2.35. Какую силу тока показывает амперметр на рис. 2.10, сопротивление которого $R_A=500$ Ом, если $\mathcal{E}_1 = 1$ В, $\mathcal{E}_2 = 2$ В,

$R_3=1500$ Ом и падение напряжения на сопротивлении R_2 равно 1 В. Внутренним сопротивлением источников пренебречь. [1 мА].

2.36. На рис. 2.11 $\mathcal{E}_1=1,5$ В, $\mathcal{E}_2=1,6$ В, $R_1=1$ кОм, $R_2=2$ кОм. Определите показания вольтметра, если его сопротивление $R_V=2$ кОм. Сопротивлением источников пренебречь. [0,35 В].

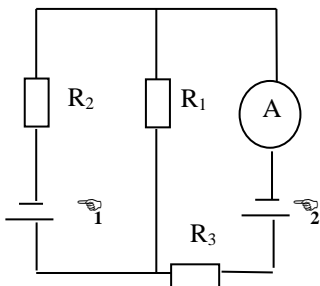


Рис. 2.10

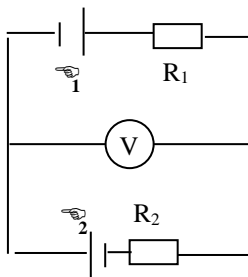


Рис. 2.11

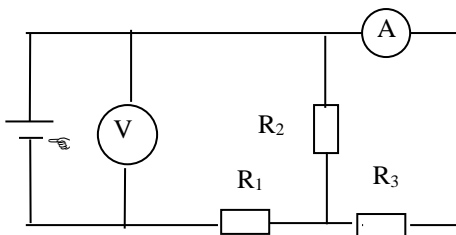


Рис. 2.12

2.37. На рис. 2.12 сопротивления $R_1=50$ Ом, $R_2=6$ Ом, $R_3=3$ Ом. Найдите показание амперметра, если вольтметр показывает 2,1 В. Сопротивлением источника и амперметра пренебречь. [0,2 А].

2.38. Определите ЭДС источника в схеме на рис. 2.13, если сила тока, текущего через него, равна 0,9 А, внутреннее сопротивление источника 0,4 Ом. $R_1=30$ Ом, $R_2=24$ Ом, $R_3=50$ Ом, $R_4=40$ Ом, $R_5=60$ Ом.

2.39. Найдите показания амперметра в схеме на рис. 2.14, если ЭДС равна 19,8 В, внутреннее сопротивление 0,4 Ом, $R_1=30$ Ом, $R_2=24$ Ом, $R_3=50$ Ом, $R_4=40$ Ом, $R_5=60$ Ом.

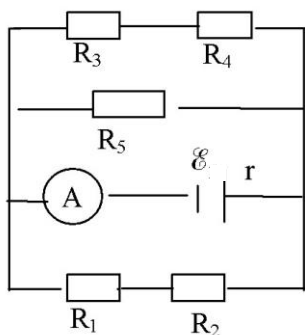


Рис. 2.13

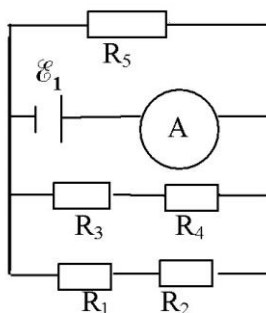


Рис. 2.14

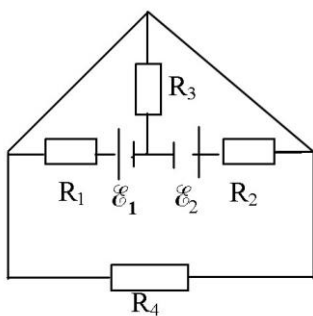


Рис. 2.15

2.40. Найдите величины всех сопротивлений в схеме на рис. 2.15, если через сопротивление R_1 течёт ток $0,4 \text{ мкА}$, через сопротивление R_2 ток $0,7 \text{ мкА}$, через сопротивление R_3 – $1,1 \text{ мкА}$,

через сопротивление R_4 ток не течёт. Внутренним сопротивлением элементов пренебречь. $\mathcal{E}_1 = 1,5 \text{ В}$; $\mathcal{E}_2 = 1,8 \text{ В}$.

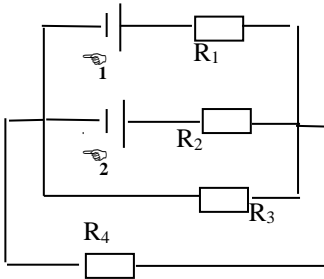


Рис. 2.16

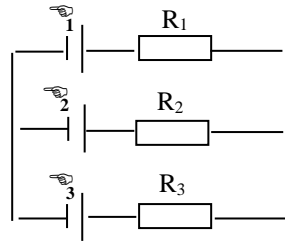


Рис. 2.17

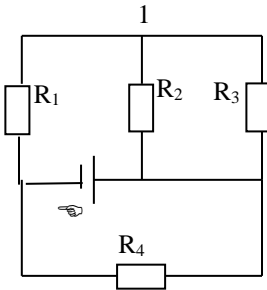


Рис. 2.18

2.41. Определите \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 в схеме на рис. 2.16, если $R_1 = R_4 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = R_3 = 4 \text{ Ом}$. Ток, текущий через сопротивление R_3 , равен 1 А , а через сопротивление R_2 ток не течёт. Внутренние сопротивления элементов $r_1 = r_2 = 0,5 \text{ Ом}$.

2.42. Определите силу тока во всех участках цепи в схеме на рис. 2.17, если $\mathcal{E}_1 = 11 \text{ В}$, $\mathcal{E}_2 = 4 \text{ В}$, $\mathcal{E}_3 = 6 \text{ В}$, $R_1 = 5 \text{ Ом}$, $R_2 = 10 \text{ Ом}$, $R_3 = 2 \text{ Ом}$. Внутренние сопротивления источников $r_1 = r_2 = r_3 = 0,5 \text{ Ом}$.

2.43. В схеме на рис. 2.18 $R_1 = 1 \text{ Ом}$, $R_2 = 2 \text{ Ом}$, $R_3 = 3 \text{ Ом}$, сила тока через источник равна 2 А , разность потенциалов между точками 1 и 2 равна 2 В . Найдите сопротивление R_4 .

3. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Основные формулы

- Сила взаимодействия между двумя прямолинейными параллельными бесконечно длинными проводниками с токами I_1 и I_2 , приходящаяся на единицу длины

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

где r – расстояние между проводниками, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ – магнитная постоянная, μ – магнитная проницаемость изотропной среды (для вакуума $\mu = 1$).

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

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

- Принцип суперпозиции магнитных полей

$$\vec{B} = \sum_i \vec{B}_i, \quad \vec{H} = \sum_i \vec{H}_i,$$

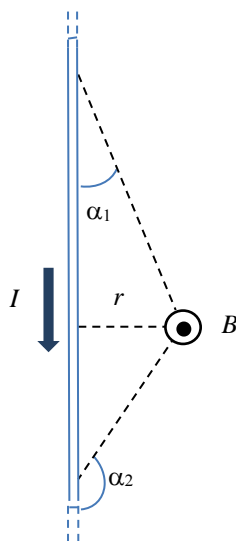
где \vec{B}_i (\vec{H}_i) – магнитная индукция (напряженность), создаваемая каждым током или движущимся зарядом в отдельности.

- Магнитная индукция поля, создаваемая бесконечно длинным прямолинейным проводником с током,

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \cdot \frac{I}{r},$$

где r – расстояние от проводника с током до точки, в которой определяется магнитная индукция.

- Магнитная индукция поля, создава-



емого прямолинейным проводником с током конечной длины

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{I}{r} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2),$$

где α_1, α_2 – углы между элементом тока и радиус-вектором, проведенным из рассматриваемой точки к концам проводника (рис).

- Магнитная индукция поля в центре кругового проводника с током

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

где R – радиус кругового витка.

- Магнитная индукция поля на оси кругового проводника с током

$$B = \frac{\mu_0 \mu I R^2}{2(R^2 + a^2)^{3/2}},$$

где R – радиус кругового витка, a – расстояние от центра витка до точки, в которой определяется магнитная индукция.

- Магнитная индукция поля внутри тороида

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

где n – число витков на единицу длины, $I \cdot n$ – число ампер-витков, R – радиус тороида, r – радиус витка.

- Магнитная индукция поля бесконечно длинного соленоида и внутри тороида, радиус которого значительно больше радиуса витка,

$$B = \mu_0 \mu I n.$$

- Магнитная индукция поля на оси соленоида конечной длины

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{2} I n (\cos \beta_1 - \cos \beta_2),$$

где β_1, β_2 – углы между осью катушки и радиус-вектором, проведенным из данной точки к концам катушки.

- Сила Ампера, действующая на элемент dl проводника с током I в магнитном поле,

$$dF = BI \sin \alpha \cdot dl ,$$

где α – угол между направлениями тока и магнитной индукции поля.

- Магнитный момент контура с током

$$\vec{p}_m = I S \vec{n} \quad или \quad p_m = I S ,$$

где S – площадь контура, \vec{n} – единичный вектор нормали (положительный) к плоскости контура.

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

$$M = p_m B \sin \alpha ,$$

где α – угол между направлением нормали к плоскости контура и магнитной индукцией поля.

- Магнитный поток через площадку dS

$$d\Phi = B_n dS ,$$

где $B_n = B \cos \alpha$, α – угол между направлениями вектора магнитной индукции и нормалью к площадке dS .

- Магнитный поток неоднородного поля через произвольную поверхность.

$$\Phi = \int_s B_n dS ,$$

где интегрирование ведется по всей поверхности.

- Магнитный поток однородного поля через плоскую поверхность

$$\Phi = BS \cos \alpha .$$

- Работа перемещения проводника с током в магнитном поле

$$dA = I \cdot d\Phi ,$$

где $d\Phi$ – поток магнитной индукции, пересеченный проводником при его движении.

- Работа перемещения контура с током в магнитном поле

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

где $\Delta\Phi$ – изменение магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром при его движении.

- Сила Лоренца, действующая на движущуюся заряженную частицу в магнитном поле,

$$F = q B v \sin \alpha ,$$

где q – заряд частицы, v – скорость частицы, α – угол между направлениями скорости частицы и магнитной индукции поля.

- Радиус окружности и период вращения частицы, влетевшей в магнитное поле под углом 90° к линиям индукции,

$$R = \frac{mv}{qB}, \quad T = \frac{2\pi R}{qB}, \quad m - \text{масса частицы, } q - \text{заряд ча-}$$

стицы.

- Шаг винтовой траектории, по которой движется заряженная частица, влетевшая в магнитное поле под углом α к линиям магнитного поля

$$h = T \cdot v \cos \alpha.$$

- ЭДС индукции в контуре при изменении магнитного потока $d\Phi$

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}, \quad \text{или} \quad \mathcal{E} = -N \frac{d\Phi}{dt},$$

где N – общее число витков в контуре.

- Разность потенциалов на концах проводника, движущегося в магнитном поле,

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

где v – скорость движения проводника, l – длина проводника, α – угол между направлениями скорости движения проводника и магнитной индукцией поля.

- ЭДС индукции, возникающая в рамке, содержащей N витков площадью S , при вращении рамки с угловой скоростью ω в однородном магнитном поле

$$\mathcal{E} = BNS\omega \sin \alpha.$$

- Заряд, протекающий в контуре при изменении потока, пронизывающего поверхность, ограниченную контуром

$$q = -\frac{\Delta\Phi}{R}.$$

- ЭДС самоиндукции

$$\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt},$$

где $L = \Phi / I$ – индуктивность контура.

- Индуктивность соленоида

$$L = \mu_0 \mu n^2 l S = \mu_0 \mu \frac{N^2}{l} S ,$$

где S – площадь поперечного сечения соленоида, l – длина соленоида, N – полное число витков.

- Энергия магнитного поля контура с током

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

- Объемная плотность энергии магнитного поля

$$w = \frac{BH}{2} = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu} .$$

Задания

3.1. На рис. 3.1 изображено сечение двух прямолинейных бесконечно длинных проводников с током. Расстояние AC между проводниками равно 10 см, $I_1 = 20$ А, $I_2 = 30$ А. Найдите магнитную индукцию поля, вызванного токами I_1 и I_2 в точках M_1 , M_2 и M_3 . Расстояния $M_1A = 2$ см, $AM_2 = 4$ см и $CM_3 = 3$ см. [0,15 мТл; 0,20 мТл; 0,17 мТл].

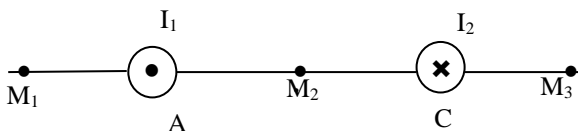


Рис. 3.1.

3.2. Решите предыдущую задачу при условии, что токи текут в одном направлении. [0,25 мТл; 0; 0,23 мТл].

3.3. Два прямолинейных бесконечно длинных проводника расположены перпендикулярно друг к другу и находятся в одной плоскости (рис. 3.2). Найдите магнитную индукцию поля в точках M_1 и M_2 , если $I_1 = 2$ А и $I_2 = 3$ А. Расстояния $AM_1 = AM_2 = 1$ см, $DM_1 = CM_2 = 2$ см. [10^{-5} Тл; $7 \cdot 10^{-5}$ Тл].

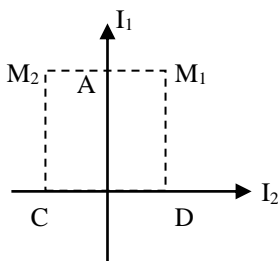


Рис. 3.2

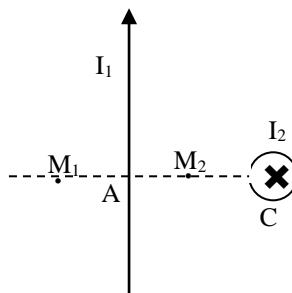


Рис. 3.3

3.4. Два прямолинейных бесконечно длинных проводника расположены перпендикулярно друг к другу и находятся во взаимноперпендикулярных плоскостях (рис. 3.3). Найдите магнитную индукцию поля в точках M_1 и M_2 , если $I_1=2$ А и $I_2=3$ А. Расстояния $AM_1=AM_2=1$ см и $AC=2$ см. [$4,5 \cdot 10^{-5}$ Тл; $7,2 \cdot 10^{-5}$ Тл] .

3.5. На рис. 3.4 изображено сечение трёх прямолинейных бесконечно длинных проводников с током. Расстояния $AC=CD=5$ см; $I_1=I_2=I$; $I_3=2I$. Найдите точку на прямой AD, в которой индукция магнитного поля, вызванного токами I_1 , I_2 , I_3 , равна нулю. [3,3 см от I_1 вправо].

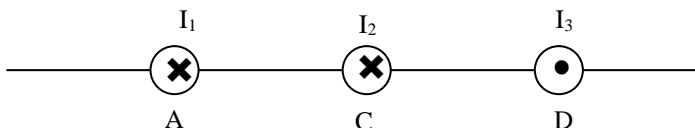


Рис. 3.4

3.6. Решите предыдущую задачу при условии, что все токи текут в одном направлении. [1,8 см и 6,96 см от точки A вправо].

3.7. Расстояние между двумя длинными параллельными проводниками 5 см. По проводам текут токи в одном направлении 30 А каждый. Найдите индукцию магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии 4 см от одного и 3 см от другого провода. [$2,5 \cdot 10^{-4}$ Тл].

3.8. Расстояние между двумя длинными параллельными проводниками 5 см. По проводам текут токи в противоположных

направлениях 10 А каждый. Найдите индукцию магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии 2 см от одного и 3 см от другого провода. [$1,66 \cdot 10^{-4}$ Тл].

3.9. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводникам, расстояние между которыми равно 10 см, текут токи 20 и 30 А в одном направлении. Определите магнитную индукцию поля в точке, удаленной на одинаковое расстояние 10 см от обоих проводников. [872 мТл].

3.10. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводникам, расстояние между которыми равно 25 см, текут токи 20 и 30 А в противоположных направлениях. Определите магнитную индукцию поля в точке, удаленной на расстояние 30 см от первого и 40 см от второго проводника. [9,5 мкТл].

3.11. Определите магнитную индукцию поля на оси тонкого проволочного кольца радиусом 10 см, по которому течет ток 10 А, в точке, расположенной на расстоянии 15 см от центра кольца. [10,7 мкТл].

3.12. Два круговых витка радиусом 4 см каждый расположены в параллельных плоскостях на расстоянии 0,1 м друг от друга. По виткам текут токи $I_1 = I_2 = 2$ А. Найдите магнитную индукцию поля на оси витков в точке, находящейся на равном расстоянии от них. Токи в витках текут в одном направлении. [$1,5 \cdot 10^{-5}$ Тл].

3.13. Решите предыдущую задачу при условии, что токи текут в противоположных направлениях. [0].

3.14. Два круговых витка расположены в двух взаимно перпендикулярных плоскостях так, что центры этих витков совпадают. Радиус каждого витка 2 см, токи, текущие по виткам, $I_1 = I_2 = 5$ А. Найдите индукцию магнитного поля в центре этих витков. [$2,2 \cdot 10^{-4}$ Тл].

3.15. По проводу, согнутому в виде квадрата со стороной, равной 60 см, течет постоянный ток 3 А. Определите магнитную индукцию поля в центре квадрата. [5,66 мкТл].

3.16. По проводнику, изогнутому в виде окружности, течет ток. Магнитное поле в центре окружности $B = 6,28$ мкТл. Не изменяя силу тока в проводнике, ему придали форму квадрата. Определите магнитную индукцию поля в точке пересечения диагоналей этого квадрата. [7,2 мкТл].

3.17. По контуру в виде равностороннего треугольника идёт ток 40 А. Сторона треугольника 30 см. Определите магнитную индукцию в точке пересечения высот. [$1,2 \cdot 10^{-4}$ Тл].

3.18. По проводнику, согнутому в виде прямоугольника со сторонами $a = 8$ см и $b = 12$ см, течет ток силой $I = 50$ А. Определите магнитную индукцию поля в точке пересечения диагоналей прямоугольника. [0,6 мТл].

3.19. По проволоочной рамке, имеющей форму правильного шестиугольника, течет ток силой $I = 2$ А. При этом в центре рамки образуется магнитное поле $B = 41,4$ мкТл. Найдите длину проволоки, из которой сделана рамка. [0,2 м].

3.20. Бесконечно длинный прямой проводник согнут под прямым углом. По проводнику течет ток 100 А. Вычислите индукцию магнитного поля в точке, лежащей на биссектрисе угла на расстоянии 10 см от вершины угла. [$4,82 \cdot 10^{-4}$ Тл].

3.21. Ток в 2А течет по длинному проводнику, согнутому под углом 120° . Найдите магнитную индукцию поля в точке, лежащей на биссектрисе этого угла и отстоящей от вершины угла на расстоянии 10 см. [6,9 мкТл].

3.22. Ток 2 А, протекая по катушке длиной 30 см, создает внутри нее магнитную индукцию поля 8,38 мТл. Сколько витков содержит катушка? Диаметр катушки считать малым по сравнению с ее длиной. [1000].

3.23. Соленоид длиной 0,5 м содержит 1000 витков. Определите магнитную индукцию поля внутри соленоида, если сопротивление его обмотки 120 Ом, а напряжение на её концах 60 В. [1,26 мТл].

3.24. Обмотка соленоида содержит два слоя плотно прилегающих друг к другу витков провода диаметром $d = 0,2$ мм. Определите магнитную индукцию поля на оси соленоида, если по проводу течет ток $I = 0,5$ А. [6,28 мТл].

3.25. Тонкое кольцо массой 15 г и радиусом 12 см несет заряд, равномерно распределенный с линейной плотностью 10 нКл/м. Кольцо равномерно вращается с частотой 8 с^{-1} относительно оси, перпендикулярной плоскости кольца и проходящей через ее центр. Определите отношение магнитного момента кругового тока, создаваемого кольцом, к его моменту импульса. [251 нКл/кг].

3.26. Ток, протекая по проволочному кольцу из медной проволоки сечением $1,0 \text{ мм}^2$, создает в центре кольца магнитную индукцию поля $0,224 \text{ мТл}$. Разность потенциалов, приложенная к концам проволоки, образующей кольцо, равна $0,12 \text{ В}$. Какой ток течет по кольцу? [20 А].

3.27. Бесконечно длинный провод образует круговую петлю, касательную к проводу. Радиус петли равен 8 см . По проводу течет ток силой 5 А . Найдите индукцию магнитного поля в центре петли. [$51,8 \text{ мкТл}$].

3.28. Сила тока в горизонтально расположенном проводнике длиной 20 см и массой 4 г равна 10 А . Найдите индукцию магнитного поля (модуль и направление), в которое нужно поместить проводник, чтобы сила тяжести уравновесилась силой Ампера. [20 мТл].

3.29. Два длинных горизонтальных проводника расположены параллельно друг другу на расстоянии 8 мм . Верхний проводник закреплен неподвижно, а нижний висит свободно под ним. Какой ток нужно пропустить по верхнему проводу для того, чтобы нижний мог висеть, не падая? По нижнему течет ток в 1 А и масса каждого сантиметра длины проводника равна $2,55 \text{ мг}$. [100 А].

3.30. Два прямолинейных длинных проводника находятся на расстоянии 10 см друг от друга. По проводникам текут токи 20 А и 30 А . Какую работу на единицу длины проводников надо совершить, чтобы раздвинуть эти проводники до расстояния 20 см ? [83 мкДж].

3.31. Два бесконечных прямолинейных параллельных проводника с одинаковыми токами, текущими в одном направлении, находятся друг от друга на расстоянии R . Чтобы их раздвинуть до расстояния $3R$, на каждый сантиметр длины проводника затрачивается работа 220 нДж . Определите силу тока в проводниках. [10 А].

3.32. Прямой проводник длиной 20 см , по которому течет ток 40 А , находится в однородном магнитном поле с индукцией $0,5 \text{ Тл}$. Какую работу совершают силы поля, перемещая проводник на 20 см , если направление движения перпендикулярно линиям магнитной индукции и проводнику. [$0,8 \text{ Дж}$].

3.33. В однородном магнитном поле, индукция которого $0,5 \text{ Тл}$, движется равномерно проводник со скоростью 20 см/с

перпендикулярно полю. Длина проводника 10 см. По проводнику течет ток 2А. Найдите мощность, затрачиваемую на перемещение проводника. [20 мВт].

3.34. Магнитная индукция однородного поля 0,4 Тл. В этом поле равномерно со скоростью 15 см/с движется проводник длиной 1 м так, что угол между проводником и индукцией поля равен 30° . По проводнику течет ток 1А. Найдите работу перемещения проводника за 10 с движения. [0,3 Дж].

3.35. Проводник длиной 1м расположен перпендикулярно однородному магнитному полю с индукцией 1,3 Тл. Определите ток в проводнике, если при движении его со скоростью 10 см/с в направлении, перпендикулярном полю и проводнику, за 4 с на перемещение проводника совершается работа 10 Дж. [19А].

3.36. В однородном магнитном поле с индукцией 18 мкТл в плоскости, перпендикулярной линиям индукции, расположена плоская круговая рамка, состоящая из 10 витков площадью 100 см^2 каждый. В обмотке рамки течет ток 3А. Рамку поворачивают на 180° вокруг одного из диаметров. Какая работа при этом совершается? [1,08 мкДж].

3.37. Квадратный контур со стороной 20 см, по которому течет ток 20А, свободно установился в однородном магнитном поле с индукцией 10 мТл. Определите работу, совершаемую при повороте контура вокруг оси, лежащей в плоскости контура, на угол 180° . [16 мДж].

3.38. По круговому витку радиусом 15 см течет ток силой 10А. Виток расположен в однородном магнитном поле с индукцией 40 мТл так, что нормаль к плоскости контура составляет угол 30° с вектором магнитной индукции. Определите изменение потенциальной энергии контура при его повороте на угол 90° в направлении увеличения угла. [0,04 Дж].

3.39. Круглая рамка с током площадью 20 см^2 закреплена параллельно магнитному полю с индукцией 0,2 Тл, и на нее действует вращающий момент 0,6 мН·м. Когда рамку освободили, она повернулась на 90° , и ее угловая скорость стала 20 с^{-1} . Определите силу тока, текущего в рамке. [1,5А].

3.40. Круговой контур помещен в однородное магнитное поле так, что плоскость контура перпендикулярна силовым линиям поля. Магнитная индукция поля 0,2 Тл. По контуру течет ток 2А. Радиус

контура 2 см. Какая работа совершится при повороте контура на 90° ? [50,24 мДж].

3.41. Поток магнитной индукции сквозь площадь поперечного сечения соленоида (без сердечника) 5 мкВб. Длина соленоида 35 см. Определите магнитный момент этого соленоида. [$1\text{А}\cdot\text{м}^2$].

3.42. Заряженная частица движется в магнитном поле по окружности со скоростью 1 Мм/с. Магнитная индукция поля равна 0,3 Тл. Радиус окружности 4 см. Найдите заряд частицы, если известно, что ее кинетическая энергия равна 12 кэВ. [$3,2\cdot 10^{-19}$ Кл].

3.43. Электрон движется по окружности в однородном магнитном поле с индукцией 31,4 мТл. Определите период обращения электрона. [1,1 нс].

3.44. Определите частоту обращения электрона по круговой орбите в магнитном поле с индукцией 1 Тл. [28 ГГц].

3.45. Протон, ускоренный разностью потенциалов 0,5 кВ, влетая в однородное магнитное поле с индукцией 0,1 Тл, движется по окружности. Определите радиус этой окружности. [3,23 см].

3.46. Серпуховской ускоритель протонов ускоряет эти частицы до энергии 76 ГэВ. Ускоренные протоны движутся по окружности радиуса 236 м и удерживаются на ней магнитным полем, перпендикулярным к плоскости орбиты. Найдите необходимое для этого магнитное поле. [1,07 кТл].

3.47. Протон и альфа-частица, ускоренные одинаковой разностью потенциалов, влетают в однородное магнитное поле. Во сколько раз радиус кривизны траектории протона меньше радиуса кривизны траектории альфа-частицы? [1,4].

3.48. Частица, несущая один элементарный заряд, влетела в однородное магнитное поле с индукцией 0,05 Тл. Определите момент импульса, которым обладала частица при движении в магнитном поле, если траектория ее представляла дугу окружности радиусом 0,2 мм. [$3,2\cdot 10^{-28}$ Н·м·с].

3.49. Найдите отношение q/m для заряженной частицы, если она, влетая со скоростью 10^8 см/с в однородное магнитное поле напряженностью в $2\cdot 10^5$ А/м, движется по дуге окружности радиусом 8,3 см. Направление скорости движения частицы перпендикулярно направлению магнитного поля. [48 МКл/кг].

3.50. Альфа-частица со скоростью 2Мм/с влетает в магнитное поле с индукцией 1 Тл под углом 30° . Определите радиус витка винтовой линии, которую будет описывать альфа-частица. [$2,1\text{ см}$].

3.51. Электрон, ускоренный разностью потенциалов 6 кВ , влетает в однородное магнитное поле под углом 30° к направлению поля и начинает двигаться по винтовой линии. Магнитная индукция поля равна 130 мТл . Найдите шаг винтовой линии. [11 см].

3.52. Протон влетел в однородное магнитное поле под углом 60° к направлению линий поля и движется по спирали, радиус которой $2,5\text{ см}$. Магнитная индукция поля равна $0,05\text{ Тл}$. Найдите кинетическую энергию протона. [$1,6 \cdot 10^{-17}\text{ Дж}$].

3.53. Электрон, ускоренный разностью потенциалов 3 кВ , влетает в магнитное поле соленоида под углом 30° к его оси. Число ампер-витков соленоида равно 5000 . Длина соленоида 26 см . Найдите шаг винтовой траектории электрона в магнитном поле соленоида. [$3,94\text{ см}$].

3.54. Магнитное поле с индукцией 126 мкТл направлено перпендикулярно электрическому полю, напряженность которого 10 В/м . Ион, летящий с некоторой скоростью, влетает в эти скрещенные поля. При какой скорости он будет двигаться прямолинейно? [79 км/с].

3.55. Заряженная частица прошла ускоряющую разность потенциалов 104 В и влетела в скрещенные под прямым углом электрическое ($E = 100\text{ В/м}$) и магнитное ($B = 0,1\text{ Тл}$) поля. Определите отношение заряда частицы к ее массе, если, двигаясь перпендикулярно обоим полям, частица не испытывает отклонений от прямолинейной траектории. [$4,8\text{ кКл/кг}$].

3.56. В однородном магнитном поле с индукцией $0,1\text{ Тл}$ равномерно вращается рамка, содержащая 1000 витков. Площадь рамки 150 см^2 . Рамка делает 10 об/с . Определите максимальную ЭДС индукции в рамке. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна направлению поля. [$94,2\text{ В}$].

3.57. Проволочный виток расположен перпендикулярно магнитному полю, индукция которого изменяется по закону $B = B_0(1 + e^{kt})$, где $B_0 = 0,5\text{ Тл}$, $k = 1\text{ с}^{-1}$. Найдите величину ЭДС, индуцируемой в витке в момент времени, равный $2,3\text{ с}$. Площадь витка $0,04\text{ м}^2$. [2 мВ].

3.58. Кольцо из алюминиевого провода помещено в магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Диаметр кольца 20 см, диаметр провода 1 мм. Определите скорость изменения магнитного поля, если сила индукционного тока в кольце 0,5А. Удельное сопротивление алюминия 26 нОм·м. [0,33 Тл/с].

3.59. В магнитном поле, индукция которого 0,25 Тл, вращается стержень длиной 1 м с постоянной угловой скоростью 20 рад/с. Ось вращения проходит через конец стержня параллельно силовым линиям поля. Найдите ЭДС индукции, возникающую на концах стержня. [2,5 В].

3.60. В магнитном поле с индукцией 0,1 Тл помещена квадратная рамка из медной проволоки. Площадь поперечного сечения проволоки 1 мм², площадь рамки 25 см². Нормаль к плоскости рамки параллельна силовым линиям поля. Какой заряд пройдет по рамке при исчезновении магнитного поля? Удельное сопротивление меди 17 нОм·м. [74 мКл].

3.61. Кольцо из проволоки сопротивлением 1 мОм находится в однородном магнитном поле с индукцией 0,4 Тл. Плоскость кольца составляет с линиями индукции угол 90°. Определите заряд, который протечет по кольцу, если его выдернуть из поля. Площадь кольца равна 10 см². [0,4 Кл].

3.62. Медный обруч, имеющий массу 5 кг, расположен в плоскости магнитного меридиана. Какой заряд индуцируется в нем, если его повернуть около вертикальной оси на 90°? Горизонтальная составляющая земного магнитного поля 20 мкТл. Плотность меди 8900 кг/м³, удельное сопротивление меди 17 нОм·м. [5,26 мКл].

3.63. Катушка, содержащая 10 витков, каждый площадью 4 см², находится в однородном магнитном поле. Ось катушки параллельна линиям индукции поля. Катушка присоединена к баллистическому гальванометру с сопротивлением 1000 Ом, сопротивлением катушки можно пренебречь. Когда катушку выдернули из поля, через гальванометр протекло 2 мкКл. Определите индукцию поля. [0,5 Тл].

3.64. На стержень из немагнитного материала длиной 50 см и сечением 2 см² намотан в один слой провод так, что на каждый сантиметр длины стержня приходится 20 витков. Определите энергию магнитного поля соленоида, если сила тока в обмотке 0,5А. [20 мкДж].

3.65. Найдите разность потенциалов на концах оси автомобиля, возникающую при горизонтальном движении его со скоростью 120 км/ч, если длина оси 1,5 м и вертикальная составляющая напряженности земного магнитного поля равна 40 А/м. [2,5 мВ].

3.66. На соленоид длиной 20 см и площадью поперечного сечения 30 см² надет проволочный виток. Обмотка соленоида имеет 320 витков и по ней течет ток 3 А. Какая ЭДС индуцируется в надетом на соленоид витке, когда ток в соленоиде исчезает в течение 0,001 с? [18 мВ].

3.67. Катушка диаметром 10 см, имеющая 500 витков, находится в магнитном поле. Ось катушки параллельна линиям магнитной индукции поля. Чему равно среднее значение ЭДС индукции в катушке, если магнитная индукция поля увеличивается в течение 0,1 с от нуля до 2 Тл? [78,5 В].

3.68. Маховое колесо диаметром 3 м вращается вокруг горизонтальной оси со скоростью 3000 об/мин. Определите ЭДС, индуцируемую между ободом и осью колеса, если плоскость колеса составляет с плоскостью магнитного меридиана угол 60°. Горизонтальная составляющая земного магнитного поля равна 20 мкТл. [3,5 мВ].

3.69. В однородном магнитном поле, индукция которого 0,5 Тл, равномерно с частотой 300 мин⁻¹ вращается катушка, содержащая 200 витков, плотно прилегающих друг к другу. Площадь поперечного сечения катушки 100 см². Ось вращения перпендикулярна оси катушки и направлению магнитного поля. Определите максимальную ЭДС, индуцируемую в катушке. [31,4 В].

4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ. ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Основные формулы и законы

- Связь периода T , частоты ν и циклической частоты ω колебаний

$$T = 1/\nu, \quad T = 2\pi/\omega, \quad \omega = 2\pi\nu.$$

- Период электромагнитных колебаний в идеальном колебательном контуре

$$T = 2\pi\sqrt{LC},$$

где L – индуктивность катушки, C – электроёмкость конденсатора.

- Зависимость заряда на пластинах конденсатора, разности потенциалов между ними и силы тока от времени в идеальном контуре:

$$q = q_m \cos(\omega t + \alpha),$$

$$U = \frac{q}{C} = \frac{q_m}{C} \cos(\omega t + \alpha) = U_m \cos(\omega t + \alpha),$$

$$I = \frac{dq}{dt} = -q_m \omega \sin(\omega t + \alpha) = -I_m \sin(\omega t + \alpha),$$

где q_m – амплитуда заряда, $U_m = q_m / C$ – амплитуда напряжения, $I_m = q_m \omega$ – амплитуда силы тока, α – начальная фаза колебаний.

- Период электромагнитных колебаний в колебательном контуре при наличии сопротивления

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}},$$

где L – индуктивность катушки, C – электроёмкость конденсатора, R – сопротивление контура.

- Зависимость заряда на пластинах конденсатора, разности потенциалов между ними и силы тока от времени в колебательном контуре при наличии сопротивления (затухающие колебания)

$$q = q_m e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha),$$

$$U = U_m e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha),$$

$$I = I_m e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha + \psi)$$

$\beta = R/2L$ – коэффициент затухания, α – начальная фаза колебаний, ψ – разность фаз между током и напряжением в контуре.

- Логарифмический декремент затухания

$$\chi = \beta \cdot T.$$

- Полное сопротивление цепи переменного тока, содержащей последовательно включённые резистор сопротивлением R , катушку индуктивностью L и конденсатор ёмкостью C , на концы которой подаётся переменное напряжение $U = U_m \cos \omega t$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2},$$

где R – активное сопротивление, ωL – реактивное индуктивное сопротивление, $1/(\omega C)$ – реактивное ёмкостное сопротивление цепи.

- Разность фаз между напряжением и силой тока

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\omega L - 1/(\omega C)}{R}.$$

- Действующие (эффективные) значения силы тока и напряжения

$$I_d = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, \quad U_d = \frac{U_m}{\sqrt{2}},$$

где I_m и U_m – амплитудные значения силы тока и напряжения.

- Средняя мощность в цепи переменного тока

$$\langle P \rangle = \frac{1}{2} I_m U_m \cos \psi,$$

где $\cos \psi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}}.$

- Скорость электромагнитной волны в среде

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}},$$

где $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ – скорость электромагнитной волны в вакууме, ϵ – диэлектрическая проницаемость среды, μ – магнитная проницаемость среды.

- Длина электромагнитной волны

$$\lambda = \nu \cdot T.$$

- Плотность энергии электромагнитной волны равна сумме плотностей энергий электрического и магнитного полей

$$w = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2} + \frac{\mu \mu_0 H^2}{2},$$

где $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ – электрическая постоянная, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ – магнитная постоянная, E - напряжённость электрического поля, H - напряжённость магнитного поля.

- Связь между мгновенными значениями напряжённостей электрического и магнитного полей электромагнитной волны

$$\sqrt{\varepsilon \varepsilon_0} E = \sqrt{\mu \mu_0} H.$$

- Энергия, переносимая волной за единицу времени через единичную площадку, расположенную перпендикулярно к направлению распространения волны,

$$S = w \cdot \nu = E \cdot H.$$

Задания

4.1. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью 0,2 мГн и конденсатора, площадь пластин которого 155 см² и расстояние между ними 1,5 мм. Определите диэлектрическую проницаемость диэлектрика, расположенного между пластинами, если длина волны, соответствующая резонансу в контуре, равна 630 м. [6,1].

4.2. Колебательный контур содержит катушку индуктивности в виде соленоида длиной 5 см, площадью поперечного сечения 1,5 см² и числом витков 500. Определите собственную частоту электрических колебаний, если воздушный конденсатор в контуре имеет площадь пластин 100 см², а расстояние между пластинами 1,5 мм. [0,67·10⁶ Гц].

4.3. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью 0,1 Гн и конденсатора ёмкостью 39,5 мкФ. Запишите уравнения зависимости силы тока в контуре и напряжения на конденсаторе от времени, если максимальное значение заряда на конденсаторе равно 3 мкКл.

4.4. Максимальное значение энергии в идеальном колебательном контуре равно 0,2 мДж. При медленном увеличении расстояния между пластинами частота колебаний увеличилась в 2 раза. Определите работу, совершённую при перемещении пластин. [0,6 мДж].

4.5. Колебательный контур содержит катушку, индуктивность которой 10 мкГн , и конденсатор ёмкостью 1 нФ . Определите максимальный магнитный поток, пронизывающий катушку, если общее число витков её равно 100 , а максимальное напряжение равно 100 В . [$0,1 \text{ мкВб}$].

4.6. Через какое время (в долях периода t/T) на конденсаторе идеального колебательного контура заряд будет равен половине амплитудного значения. [$t/T=6$].

4.7. В идеальном колебательном контуре в начальный момент времени ток равен нулю, а заряд имеет максимальное значение, равное q_m . Через какую долю периода, начиная от начального значения, энергия в контуре распределится поровну между катушкой и конденсатором? [$T/8$].

4.8. Зависимость тока от времени в колебательном контуре задана уравнением: $I = -0,02 \sin(400\pi t) \text{ А}$. Индуктивность катушки 1 Гн . Определите: 1) период колебаний, 2) электроёмкость конденсатора, 3) максимальное напряжение на конденсаторе, 4) максимальную энергию электрического и магнитного полей. [1) $5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$; 2) $6,3 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}$; 3) $25,2 \text{ В}$; 4) $0,2 \text{ мДж}$; $0,2 \text{ мДж}$].

4.9. Колебательный контур состоит из катушки, индуктивность которой $0,1 \text{ Гн}$, конденсатора электроёмкостью $0,405 \text{ Ф}$ и сопротивления в 2 Ом . Во сколько раз уменьшится напряжение на конденсаторе за время, равное одному периоду колебаний? [в $1,04$].

4.10. Колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью $2,22 \text{ нФ}$ и катушки из медной проволоки длиной 20 см и радиусом поперечного сечения $0,25 \text{ мм}$. Определите логарифмический декремент затухания колебаний. Удельное сопротивление меди $1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$. [$0,018$].

4.11. Колебательный контур имеет конденсатор ёмкостью $1,1 \text{ нФ}$ и катушку индуктивностью 5 мГн . Логарифмический декремент затухания равен $0,005$. Определите время, в течение которого потеряется 99% энергии в контуре. [$6,8 \text{ мс}$].

4.12. Колебательный контур содержит катушку индуктивностью $0,1 \text{ мГн}$, резистор сопротивлением 3 Ом и конденсатор ёмкостью 10 нФ . Определите среднюю мощность, необходимую для поддержания незатухающих колебаний с амплитудным значением напряжения на конденсаторе 2 В . [$0,6 \text{ мВт}$].

4.13. В цепь колебательного контура, содержащего катушку индуктивностью 0,2 Гн, конденсатор ёмкостью 40 мкФ и резистор сопротивлением 9,7 Ом подключено внешнее переменное напряжение амплитудой 180 В и циклической частотой 314 рад/с. Определите: 1) амплитудное значение силы тока в цепи, 2) разность фаз между током в контуре и внешним напряжением, 3) амплитудное значение напряжения на катушке, 4) амплитудное значение напряжения на конденсаторе. [1) 9,27 А; 2) $\psi = -\pi/3$ (ток опережает напряжение); 3) 589 В; 4) 738 В].

4.14. В цепь переменного тока частотой 50 Гц включена катушка длиной 0,2 м и диаметром 0,05 м, содержащая 500 витков медного провода площадью поперечного сечения 0,6 мм². Определите, какая доля полного сопротивления катушки приходится на реактивное сопротивление. Удельное сопротивление меди 17 нОм .м. [40%].

4.15. В цепь переменного тока частотой 50 Гц последовательно включены резистор сопротивлением 100 Ом и конденсатор ёмкостью 22 мкФ. Определите, какая доля напряжения, приложенного к этой цепи, приходится на напряжение на конденсаторе. [0,823].

4.16. Последовательно соединённые резистор сопротивлением 110 Ом и конденсатор подключены к источнику внешнего переменного напряжения с амплитудой 110 В. Амплитудное значение установившегося тока в цепи равно 0,5 А. Определите разность фаз между током в цепи и внешним сопротивлением. [$\psi = -\pi/3$ (ток опережает напряжение)].

4.17. К генератору переменного тока частотой 5 кГц подключён конденсатор ёмкостью 0,15 мкФ. Определите амплитудное напряжение на зажимах генератора, если амплитудное значение тока равно 3,3 А. [0,7 кВ].

4.18. В цепь переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц последовательно включены резистор сопротивлением 100 Ом, катушка индуктивностью 0,5 Гн и конденсатор ёмкостью 10 мкФ. Определите амплитудные значения: 1) силы тока в цепи, 2) напряжения на активном сопротивлении, 3) напряжения на конденсаторе, 4) напряжения на катушке.

[1) 1,16 А; 2) 116 В; 3) 369 В; 4) 182 В].

4.19. Конденсатор ёмкостью в 1 мкФ и реостат с активным сопротивлением в 3000 Ом включены в цепь переменного тока частотой 50 Гц. Индуктивность реостата ничтожно мала. Найдите полное сопротивление цепи, если конденсатор и реостат включены: 1) последовательно, 2) параллельно. [1) 4380 Ом; 2) 2180 Ом].

4.20. В цепь переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц включены последовательно ёмкость 35,4 мкФ, активное сопротивление 100 Ом и индуктивность 0,7 Гн. Найдите силу тока в цепи и падение напряжения на ёмкости, омическом сопротивлении и индуктивности.

[$I=1,34$ А, $U_C=121$ В, $U_R=134$ В, $U_L=295$ В].

4.21. Катушка индуктивностью 22,6 мГн и активное сопротивление включены параллельно в цепь переменного тока частотой 50 Гц. Найдите активное сопротивление, если известно, что сдвиг фаз между напряжением и током равен $\pi/3$. [12,3 Ом].

4.22. Активное сопротивление и индуктивность соединены параллельно в цепь переменного тока напряжением 127 В и частотой 50 Гц. Найдите активное сопротивление и индуктивность, если мощность, поглощаемая в этой цепи, равна 404 Вт и сдвиг фаз между напряжением и током равен $\pi/3$.

[$R=40$ Ом, $L=0,074$ Гн].

4.23. В цепь переменного тока напряжением 220 В включены последовательно ёмкость, активное сопротивление и индуктивность. Найдите падение напряжения U_R на омическом сопротивлении, если известно, что падение напряжения на конденсаторе $U_C=2U_R$, а падение напряжения на индуктивности $U_L=3U_R$. [156 В].

4.24. В вакууме вдоль оси X распространяется плоская электромагнитная волна. Средняя энергия, переносимая через единицу площади поверхности за единицу времени (интенсивность) равна 21,2 мкВт/м². Определите амплитудное значение напряжённости электрического поля волны. [126 мВ/м].

4.25. Радиолокатор обнаружил в море подводную лодку, отражённый сигнал от которой дошёл до места излучения за 36 мкс. Определите расстояние от локатора до лодки, считая, что диэлектрическая проницаемость воды равна 81. [600 м].

4.26. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна. Определите амплитуду напряжённости магнитного по-

ля волны, если амплитуда напряжённости электрического поля равна 10 В/м. [26,5А/м].

4.27. Электромагнитная волна с частотой 5 МГц переходит из немагнитной среды с диэлектрической проницаемостью 2 в вакуум. Определите приращение её длины волны. [17,6 м].

4.28. После того как между внутренним и внешним проводниками кабеля поместили диэлектрик, скорость распространения электромагнитных волн в кабеле уменьшилась на 63%. Определите диэлектрическую восприимчивость вещества прослойки. [6,3].

4.29. Определите длину электромагнитной волны в вакууме, на которую настроен колебательный контур, если максимальный заряд на обкладках конденсатора 50 нКл, а максимальная сила тока в контуре 1,5 А. Активным сопротивлением контура пренебречь. [62,8 м].

4.30. Длина электромагнитной волны в вакууме, на которую настроен колебательный контур, равна 12 м. Пренебрегая активным сопротивлением контура, определите максимальный заряд на обкладках конденсатора, если максимальная сила тока в контуре 1 А. [6,37 нКл].

Список используемой литературы

1. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики для втузов. – 3-е изд./ Т.И.Трофимова. – М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век», 2003. – 384 с.

2. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. Изд.3. / В.С. Волькенштейн. – М.: Профессия, 2010. – 328 с.

3. Егорова С.И. Физика. Задания для тестового контроля аудиторной и самостоятельной работы студентов на практических занятиях по общему курсу физики. Часть 2-я: учеб.-метод. пособие / С.И. Егорова, В.С. Ковалёва, В.С. Кунаков, Г.Ф. Лемешко, Ю.М. Наследников. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2005.

Содержание

	Общие методические указания.....	3
1.	ЭЛЕКТРОСТАТИКА.....	3
	Основные формулы и законы.....	3
	Задания.....	8
2	ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК.....	17
	Основные формулы и законы.....	17
	Задания.....	20
3.	ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ.....	29
	Основные формулы.....	29
	Задания.....	33
4.	ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ. ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ.....	42
	Основные формулы и законы.....	42
	Задания.....	45
	Список используемой литературы.....	50

Составители: Егорова С.И., Ковалёва В.С.,
Кунаков В.С. и др.

ФИЗИКА

Задания для аудиторных практических занятий и самостоятельной работы студентов

Часть 2

Электричество и магнетизм

Учебное пособие

Редактор Т.В. Колесникова
Компьютерная обработка И.В. Чурина

Тем план 2012 г, поз.

В печать 15.03.2012.

Формат 60х84/16. Бумага тип №3. Офсет.

Объем 3,25 усл.п.л. Заказ № 148 Тираж 500 экз. Цена свободная

Издательский центр ДГТУ

Адрес университета и полиграфического предприятия:

344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1.