

Министерство образования Республики Беларусь

БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

Кафедра “Экспериментальная и теоретическая физика“

КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОБЩЕЙ ФИЗИКЕ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ И
ИНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

В трех частях

Часть 2

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

Минск 2002

УДК 53 (075.4)

Бумай Ю.А., Вилькоцкий В.А., Доманевский Д.С., Журавкевич Е.В., Малаховская В.Э., Новоселов А.М., Чапланов А.М., Черный В.В. Контрольные работы и методические указания по общей физике для студентов заочного отделения инженерно-технических и инженерно-педагогических специальностей. Часть II “Электричество и магнетизм” - Мн.:БГПА, 2001.- 53 с.

Методическое пособие предназначено для самостоятельной работы и контроля знаний по разделам “Электричество и магнетизм” учебной дисциплины ”Общая физика” для студентов заочного отделения инженерно-технических и инженерно-педагогических специальностей БГПА. В пособие включена рабочая программа дисциплины по данным разделам, набор задач и таблицы вариантов контрольных работ, а также основные понятия, формулы и справочные значения физико-химических величин, необходимые для выполнения контрольных работ. Пособие может быть использовано также для контроля знаний по соответствующим разделам общей физики студентов дневной формы обучения.

Рецензент Д.А.Русакевич

© Ю.А.Бумай, В.А.Вилькоцкий, Д.С.Доманевский, В.Э.Малаховская,
Е.В.Журавкевич, В.Э.Малаховская, А.М.Новоселов, А.М.Чапланов,
В.В.Черный 2002

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

1. За время изучения курса общей физики студент заочник должен представить в учебное заведение в зависимости от специальности от трех до шести контрольных работ (по разделу “Электричество и магнетизм” – одну или две контрольные работы). Работа сдается на проверку не позднее чем за месяц до начала экзаменационной сессии.

2. Перед выполнением контрольных работ необходимо ознакомиться с материалом, указанным в рабочей программе, изучить соответствующие разделы рекомендованной учебной литературы. Необходимо иметь в виду, что формулы и основные положения, приведенные в данном пособии, носят справочный характер. За разъяснением вызывающих трудности вопросов курса необходимо обратиться к лектору или преподавателю - консультанту на кафедру, осуществляющую преподавание физики для данной специальности. В период подготовки к выполнению контрольных работ и самопроверки рекомендуется решение задач из любого из рекомендованных сборников задач по курсу общей физики.

3. Номера задач, которые студент должен включить в свою контрольную работу, определяются по таблице вариантов. Выбор номера варианта осуществляется по последней цифре номера персональной зачетной книжки. В отдельных случаях вариант назначается преподавателем индивидуально.

4. Контрольные работы нужно выполнять черными или синими чернилами в школьной тетради, на обложке которой привести необходимые сведения по следующему образцу:

Студент ***** факультета БГПА

Ф. И. О.

Шифр специальности ***** Группа *****

Адрес: г. ***** , ул. ***** дом ***, кв. ***

Контрольная работа N *** по физике

5. Условия задач в контрольной работе необходимо переписывать полностью, без сокращений. Для замечаний преподавателя в конце задачи оставлять свободную страницу. Каждую задачу необходимо начинать с новой страницы.

6. В конце контрольной работы указать, каким учебником или учебным пособием студент пользовался при изучении физики и решении задач (название учебника, автор, год издания). Это делается для того, чтобы рецензент в случае необходимости мог выяснить, откуда появилась та или иная формула, используемая при решении задачи, правильность ее понимания студентом, или указать, что следует студенту изучить для завершения контрольной работы. Табличные значения физических величин, необходимых для решения большинства задач, приведены в конце пособия в приложении. При отсутствии значения физической величины в данном пособии можно использовать значения этой величины из другой справочной литературы с обязательной ссылкой на нее при оформлении задачи.

7. Для специальностей, требующих представления нескольких контрольных работ в течение семестра, каждую из работ необходимо высылать на рецензию в отдельной тетради. Во избежание повторения одних и тех же ошибок очередную работу желательно высылать только после получения рецензии на предыдущую.

8. Если контрольная работа при рецензировании не зачтена, студент обязан представить ее на повторную рецензию, включив в нее те задачи, решения которых оказались неверными. Условие неправильно решенных задач

необходимо переписывать полностью. Повторную работу необходимо представить вместе с той, которая не зачтена (в той тетради, где имеются комментарии преподавателя). На обложке должна быть четкая надпись **”Повторно”**.

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

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

11. Решать задачу 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.

12. После получения расчетной формулы для проверки ее правильности следует подставить в правую часть формулы размерности величин, произвести с ними необходимые действия и убедиться в том, что полученная при этом размерность является размерностью искомой величины, т.е. совпадает с размерностью левой части. Если такого соответствия нет, то это означает, что задача решена неверно.

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

14. 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 4630 надо записать $4,63 \cdot 10^3$, вместо 0,00532 записать

$5,32 \cdot 10^{-3}$ и т.п.

15. Вычисления по расчетной формуле надо проводить с соблюдением правил приближенных вычислений (см., например, приложение о приближенных вычислениях в “Задачнике по физике” А.Г. Чертова, А.А. Воробьева). Как правило, окончательный ответ следует записывать с количеством значащих цифр после запятой соответствующих используемому при расчетах числу с наименьшим количеством значащих цифр после запятой. Это относится и к случаю, когда расчеты проводятся с применением калькуляторов, имеющих большое количество разрядов.

РАЗДЕЛ “ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ” РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ КУРСА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

Рабочая программа предназначена для специальностей инженерно-технического (приборостроительного, машиностроительного) и инженерно-педагогического профиля.

Электрическое поле в вакууме. Определение элементарного заряда. Закон сохранения заряда. Закон Кулона. Электрическое поле. Напряженность поля. Линии напряженности. Поток вектора напряженности. Теорема Гаусса и ее применение к расчету напряженности полей. Работа сил электрического поля при перемещении зарядов. Циркуляция вектора напряженности. Потенциальный характер электростатического поля. Потенциал. Потенциал точечного заряда, системы точечных зарядов. Эквипотенциальные поверхности. Потенциал диполя. Градиент потенциала. Связь между напряженностью и потенциалом.

Электрическое поле в диэлектриках. Проводники и диэлектрики. Свободные и связанные заряды. Полярные и неполярные диэлектрики.

Поляризация ориентационная и деформационная. Вектор поляризации. Напряженность поля в диэлектрике. Электрическое смещение. Теорема Гаусса для поля в диэлектрике. Диэлектрическая проницаемость и ее физический смысл. Электрическое поле на границе двух диэлектриков. Сегнетоэлектрики. Пьезоэлектрический и электрострикционный эффекты.

Проводники в электростатическом поле. Распределение зарядов в проводниках. Связь между напряженностью поля у поверхности проводника и поверхностной плотностью заряда. Емкость проводников. Конденсаторы. Электростатический генератор.

Энергия электростатического поля. Энергия системы неподвижных точечных зарядов. Энергия заряженного проводника. Энергия электростатического поля. Пондеромоторные силы. Теория близко и дальнего действия.

Постоянный электрический ток. Сила и плотность тока. Электродвижущая сила и напряжение. Классическая теория электропроводности. Вывод закона Ома из электронной теории. Закон Ома. Дифференциальная форма закона Ома. Закон Ома для неоднородного участка цепи. Вывод законов Джоуля - Ленца и Видемана-Франца из электронной теории. Закон Джоуля - Ленца. Дифференциальная форма закона Джоуля - Ленца. Зависимость сопротивления металлов от температуры. Сверхпроводимость. Трудности классической теории. Законы Кирхгофа для разветвленных цепей. Определение заряда электрона. Опыт Милликена. Экспериментальные доказательства электронной природы тока в металлах. Опыты Манделъштама и Папалекси, Стюарта и Толмэна.

Элементы зонной теории твердых тел. Принцип Паули и энергетические зоны в кристаллах. Вырождение электронного газа. Понятие о статистике Ферми. Деление твердых тел на изоляторы, металлы, полупроводники. Основные свойства диэлектриков.

Электропроводность газов. Ионизация газа и рекомбинация ионов. Несамостоятельный и самостоятельный разряд. Газоразрядная плазма. Виды разрядов - тлеющий, дуговой, искровой, коронный.

Металлы, полупроводники. Квантовая теория электропроводности металлов. Полупроводниковые материалы. Собственная, электронная и дырочная проводимости. Дефекты кристаллической структуры и возникновение локальных энергетических уровней. Примеси и механизм проводимости. Фотопроводимость. Полупроводниковые приборы. Квантовая теория контактных явлений. Контактная разность потенциалов. Работа выхода. Законы Вольта. Термоэлектричество. Явление Пельтье и Томсона. Применение контактных явлений. Термоэлектронная эмиссия и ее практическое применение.

Магнитное поле. Магнитное взаимодействие токов. Закон Ампера. Магнитная индукция. Опыты Эйхенвальда и Иоффе. Закон Био-Савара-Лапласа. Поле прямого и кругового токов. Магнитный момент кругового тока. Циркуляция магнитной индукции. Вихревой характер магнитного поля. Поле соленоида. Поток вектора магнитной индукции. Работа перемещения контура с током в магнитном поле. Магнитное поле движущихся зарядов. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях. Сила Лоренца. Эффект Холла.

Электромагнитная индукция. Возникновение индукционного тока. Закон Ленца. ЭДС индукции. Закон Фарадея. Вывод ЭДС индукции из закона сохранения энергии. Электронный механизм возникновения ЭДС. Индуктивность. Самоиндукция и взаимоиנדукция. Энергия магнитного поля.

Магнитные свойства вещества. Намагничивание вещества. Напряженность магнитного поля. Циркуляция напряженности магнитного поля. Магнитная проницаемость и магнитная восприимчивость. Виды магнетиков. Диамагнетизм. Парамагнетизм. Ферромагнетизм. Гистерезис. Спин электрона.

Опыты Эйнштейна и де Гааза, Иоффе и Капицы, как доказательство спиновой природы ферромагнетиков. Доменная природа ферромагнетиков. Точка Кюри. Магнитострикция.

Электромагнитные колебания. Понятие о переменном токе. Колебательный разряд конденсатора. Собственные колебания в контуре без активного сопротивления. Контур с омическим сопротивлением, индуктивностью и емкостью. Затухающие колебания. Вынужденные электрические колебания. Резонанс напряжений и токов.

Электромагнитные волны. Ток смещения. Вихревое электрическое поле. Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной формах. Скорость распространения электромагнитных волн в средах. Вектор Пойнтинга. Опыты Герца. Открытие радиосвязи А.С. Поповым. Шкала электромагнитных волн.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.,2. М.: Наука, 1977-1979.
2. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. М.: Наука, 1972-1974, Т.2; Киев: Дніпро, 1994, Т.2.
3. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 1985.
4. Детлаф А.А., Яворский Б.М., Милковская Л.Б. Курс физики. Т.2. М.: Высшая школа, 1973-1979.
5. Чертов А.Г., Воробьев А.А., Федоров М.Ф. Задачник по физике. М.: Высшая школа, 1981.
6. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. М.: Наука, 1979.
7. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общему курсу физики. М.: Наука, 1982.

Дополнительная

1. Калашников С.Г. Электричество. М.: Наука, 1976.
2. Фейнман Р., Лейтон С. Фейнмановские лекции по физике. М.: Мир, 1977, вып. 5,6.
3. Иродов И.Е. Основные законы электромагнетизма. М.: Высш. Школа, 1983.
4. Китайгородский А.И. Введение в физику. М.: Наука 1973.
5. Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности. М.: Наука, 1977.
6. Чертов А.Г. Единицы физических величин. М.: Высшая школа, 1977.
7. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. М.: Наука, 1979.
8. Кошкин Н., Васильчикова Е. Элементарная физика. Справочник. М.: АО Столетие, 1996.

УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. Электростатика, постоянный ток

1.1. Основные понятия и формулы

Закон Кулона

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

где F — сила взаимодействия точечных зарядов q_1 и q_2 ; r — расстояние между зарядами; ϵ — относительная диэлектрическая проницаемость среды, в которой находятся заряды; ϵ_0 — электрическая постоянная.

Напряженность электрического поля и потенциал

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q} \quad \varphi = \frac{\Pi}{q},$$

где Π — потенциальная энергия точечного заряда q , находящегося в данной точке поля (при условии, что потенциальная энергия заряда, удаленного в бесконечность, равна нулю).

Сила, действующая на точечный заряд q , находящийся в электрическом поле, и потенциальная энергия этого заряда

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} \quad \Pi = q\varphi.$$

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

$$\mathbf{E} = \sum_{i=1}^N \mathbf{E}_i \quad \varphi = \sum_{i=1}^N \varphi_i$$

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

Напряженность и потенциал поля, создаваемого точечным зарядом q на расстоянии r

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

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

$$\text{а) } E=0 \quad \varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R} \quad (\text{при } r < R),$$

$$\text{б) } E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R^2} \quad \varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R} \quad (\text{при } r = R),$$

$$\text{в) } E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} \quad \varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r} \quad (\text{при } r > R).$$

Линейная плотность заряда

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

Поверхностная плотность заряда

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

Напряженность и потенциал поля, создаваемого системой распределенных зарядов, находят, разбивая систему на точечные заряды и используя принцип суперпозиции электрических полей (т.е. проводя интегрирование).

Для расчета электростатических полей сложных заряженных объектов используется также теорема Гаусса:

$$\oint_S \mathbf{E} d\mathbf{S} = \frac{\sum q_i}{\epsilon_0} \quad (\text{в вакууме}),$$

$$\oint_S \mathbf{D} d\mathbf{S} = \sum q_i \quad (\text{при наличии диэлектрика}),$$

где $\mathbf{D} = \epsilon\epsilon_0 \mathbf{E}$ – электрическое смещение, S – замкнутая поверхность, окружающая заряды q_i , $\oint_S \mathbf{E} d\mathbf{S}$ и $\oint_S \mathbf{D} d\mathbf{S}$ – **потоки векторов \mathbf{E} и \mathbf{D} через поверхность S .**

Напряженность поля, создаваемого бесконечной равномерно

заряженной прямой линией или бесконечно длинным цилиндром

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

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

Напряженность поля, создаваемого бесконечной равномерно заряженной плоскостью

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

Связь потенциала с напряженностью:

а) $\mathbf{E} = -grad\varphi$ или $\mathbf{E} = -\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\mathbf{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\mathbf{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\mathbf{k}\right)$ в общем случае ($\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ — единичные вектора, направленные вдоль осей X, Y, Z , соответственно);

б) $E = (\varphi_1 - \varphi_2)/d$ в случае однородного поля;

в) $E = -\frac{\partial\varphi}{\partial r}$ в случае поля, обладающего центральной или осевой симметрией.

Электрический момент диполя

$$\mathbf{p} = q\mathbf{l},$$

где q — заряд, \mathbf{l} — плечо диполя (векторная величина, направленная от отрицательного заряда к положительному и численно равная расстоянию между зарядами).

Момент силы, действующей на диполь во внешнем электрическом поле

$$\mathbf{M} = [\mathbf{p}\mathbf{E}] \text{ или } M = pE \sin \alpha.$$

Потенциальная энергия диполя во внешнем электрическом поле

$$\Pi = -(\mathbf{p}\mathbf{E}) \text{ или } \Pi = -pE \cos \alpha,$$

где α — угол между \mathbf{p} и \mathbf{E} .

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

$$A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Емкость

$$C = q/\varphi \text{ или } C = q/U,$$

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

Емкость плоского конденсатора

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

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

Емкость батареи N 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.

Энергия заряженного конденсатора:

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

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 однородного участка цепи (не **содержащего ЭДС**),

где $\varphi_1 - \varphi_2 = U$ разность потенциалов (**напряжение**) на концах участка цепи; R — **сопротивление** участка;

б) $I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 \pm \mathcal{E}}{R}$ для неоднородного участка цепи (участка, **содержащего ЭДС**),

где \mathcal{E} — **ЭДС** источника тока; R — полное сопротивление участка (сумма внешних и внутренних сопротивлений);

в) $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$ для замкнутой (полной) цепи,

где R — внешнее сопротивление цепи; r — внутреннее сопротивление цепи.

Правила Кирхгофа:

а) $\sum_i I_i = 0$ — первое правило;

б) $\sum_i I_i R_i = \sum_i \mathcal{E}_i$ — второе правило,

где $\sum_i I_i$ — алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле; $\sum_i I_i R_i$ — алгебраическая сумма произведений сил токов на сопротивления участков в замкнутом контуре; $\sum_i \mathcal{E}_i$ — алгебраическая сумма ЭДС в замкнутом контуре.

Сопротивление R и проводимость G проводника

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

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

Сопротивление системы проводников:

а) $R = \sum_i R_i$ при последовательном соединении;

б) $\frac{1}{R} = \sum_i \frac{1}{R_i}$ при параллельном соединении,

где R_i — сопротивление i -го проводника.

Работа тока:

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

Мощность тока:

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

Закон Джоуля—Ленца

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

Закон Ома в дифференциальной форме

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

где γ — удельная электрическая проводимость; \mathbf{E} — напряженность электрического поля; \mathbf{j} — плотность тока.

1.2. Контрольные задачи к разделу 1

300. Точечные заряды $q_1=20$ мкКл, $q_2= -10$ мкКл находятся на расстоянии $d=5$ см друг от друга. Определить напряженность поля в точке, удаленной на $r_1=3$ см от первого и на $r_2=4$ см от второго заряда. Определить также силу F , действующую в этой точке на точечный заряд $q=1$ мкКл.

301. Три одинаковых точечных заряда $q_1=q_2=q_3=2$ нКл находятся в вершинах равностороннего треугольника со сторонами $a=10$ см. Определить модуль и направление силы \mathbf{F} , действующей на один из зарядов со стороны двух других.

302. Два положительных точечных заряда q и $9q$ закреплены на расстоянии $d=100$ см друг от друга. Определить, в какой точке на прямой,

проходящей через заряды, следует поместить третий заряд так, чтобы он находился в равновесии. Указать, какой знак должен иметь этот заряд для того, чтобы равновесие было устойчивым, если перемещения зарядов возможны только вдоль прямой, проходящей через закрепленные заряды.

303. Два одинаково заряженных шарика подвешены в одной точке на нитях одинаковой длины. При этом нити разошлись на угол α . Шары погружают в масло. Какова плотность ρ масла, если угол расхождения нитей при погружении в масло остается неизменным? Плотность материала шариков $\rho_0 = 1,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, диэлектрическая проницаемость масла $\epsilon = 2,2$.

304. Четыре одинаковых заряда $q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = 40 \text{ нКл}$ закреплены в вершинах квадрата со стороной $a = 10 \text{ см}$. Найти силу F , действующую на один из этих зарядов со стороны трех остальных.

305. Точечные заряды $q_1 = 30 \text{ мкКл}$ и $q_2 = -20 \text{ мкКл}$ находятся на расстоянии $d = 20 \text{ см}$ друг от друга. Определить напряженность электрического поля E в точке, удаленной от первого заряда на расстояние $r_1 = 30 \text{ см}$, а от второго — на $r_2 = 15 \text{ см}$.

306. В вершинах правильного треугольника со стороной $a = 10 \text{ см}$ находятся заряды $q_1 = 10 \text{ мкКл}$, $q_2 = 20 \text{ мкКл}$ и $q_3 = 30 \text{ мкКл}$. Определить силу F , действующую на заряд q_1 со стороны двух других зарядов.

307. В вершинах квадрата находятся одинаковые заряды $q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = 8 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}$. Какой отрицательный заряд q нужно поместить в центре квадрата, чтобы сила взаимного отталкивания положительных зарядов была уравновешена силой притяжения отрицательного заряда?

308. На расстоянии $d = 20 \text{ см}$ находятся два точечных заряда: $q_1 = -50 \text{ нКл}$ и $q_2 = 100 \text{ нКл}$. Определить силу F , действующую на заряд $q_3 = -10 \text{ нКл}$, удаленный от обоих зарядов на одинаковое расстояние, равное d .

309. Расстояние d между двумя точечными зарядами $q_1 = 2 \text{ нКл}$ и $q_2 = 4 \text{ нКл}$ равно 60 см . Определить точку, в которую нужно поместить третий заряд

q_3 так, чтобы система зарядов находилась в равновесии. Определить заряд q_3 и его знак. Устойчивое или неустойчивое будет равновесие?

310. Тонкий бесконечный прямолинейный стержень несет равномерно распределенный заряд $\tau=0,1$ мкКл/м. На расстоянии $d=0,4$ м от стержня находится точечный заряд $q=0,01$ мкКл. Определить напряженность E электрического поля в точке, расположенной на одинаковом расстоянии от стержня и заряда $d_1 = 0,2$ м.

311. Два параллельные бесконечные прямолинейные стержня заряжены с линейными плотностями $\tau_1=+1$ мкКл/м и $\tau_2= -2$ мкКл/м. Расстояние между ними равно $d=0,5$ м. Определить напряженность E электрического поля, создаваемого стержнями в точке, находящейся на расстоянии $d_1=1$ м от каждого из стержней.

312. Две бесконечные прямолинейные параллельные нити находятся на расстоянии $d=0,5$ м друг от друга. Линейные плотности электрического заряда на них составляют $\tau_1=3$ мкКл/м и $\tau_2= -2$ мкКл/м. Найти силу, действующую на единицу длины нитей.

313. Две бесконечные параллельные прямолинейные нити расположены на расстоянии $d=0,1$ м. Линейные плотности электрического заряда на них составляют $\tau_1=\tau_2=10$ мкКл/м. Определить напряженность E электрического поля, создаваемого нитями в точке, находящейся на расстоянии $d_1=0,1$ м от каждой из нитей.

314. Бесконечный прямолинейный тонкий стержень несет равномерно распределенный заряд с линейной плотностью $\tau=0,5$ мкКл/м. В точку A , удаленную от стержня на расстояние $a=20$ см, помещен точечный электрический заряд. В результате напряженность поля в точке B , находящейся на одинаковых расстояниях от точки A и от стержня, равных 10 см, оказалась равной нулю. Найти величину заряда.

315. С какой силой на единицу длины отталкиваются две одноименно

заряженные бесконечные параллельные прямолинейные нити, если линейная плотность заряда на них составляет $\tau=0,2$ мкКл/м, а расстояние между нитями равно $d=5$ см.

316. Сила, действующая на точечный заряд $q= -20$ мкКл со стороны двух бесконечных прямых параллельных нитей, заряженных с одинаковой линейной плотностью $\tau=0,1$ мкКл/м, равна 10 мкН. Найти расстояние между нитями, если оно совпадает с расстоянием от заряда до каждой из нитей.

317. На расстоянии $R=10$ см от каждой из двух бесконечных прямолинейных нитей, заряженных положительно с одинаковыми линейными плотностями, находится точечный электрический заряд $q=0,05$ мкКл. Определить линейную плотность заряда на нитях, если модуль силы, действующей на заряд равен $F=15$ мН. Расстояние между нитями $d=10$ см.

318. Точечный заряд $q=10$ нКл находится на расстоянии $d=1,5$ м от каждой из двух параллельных прямолинейных нитей, заряженных с одинаковой линейной плотностью $\tau=0,01$ мкКл/м. Определить силу, действующую на заряд, если расстояние между нитями $d_1=0,5$ м.

319. На расстоянии $R=10$ см от бесконечной прямолинейной нити находится точечный заряд $q= -20$ мкКл. Линейная плотность заряда на нити $\tau=0,2$ мкКл/м. Определить напряженность E электрического поля в точке, находящейся на одинаковом расстоянии 5 см от нити и заряда.

320. На двух концентрических сферах радиусом R и $2R$ равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями σ_1 и σ_2 , соответственно. Используя теорему Гаусса, найти зависимость $E(r)$ напряженности электрического поля от расстояния для трех областей: I ($0 < r < R$), II ($R \leq r < 2R$) и III ($r \geq 2R$). Принять $\sigma_1=4\sigma$, $\sigma_2=\sigma$, 2) вычислить напряженность E в точке, удаленной от центра на расстояние r_0 , и указать направление вектора E для значений $\sigma=30$ нКл/м², $r_0=1,5 R$. 3) построить график $E(r)$.

321. См. условие задачи **320**. Принять $\sigma_1 = \sigma$, $\sigma_2 = -\sigma$; $\sigma = 0,1$ мкКл/м², $r_0 = 3R$.

322. См. условие задачи **320**. Принять $\sigma_1 = -4\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$; $\sigma = 50$ нКл/м², $r_0 = 1,5R$.

323. См. условие задачи **320**. Принять $\sigma_1 = -2\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$; $\sigma = 0,1$ мкКл/м², $r_0 = 3R$.

324. На двух бесконечных параллельных плоскостях равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями σ_1 и σ_2 , соответственно. Плоскости ортогональны оси X и пересекают её в точках $x=0$ и $x=a$ ($a>0$).

1) Используя теорему Гаусса и принцип суперпозиции электрических полей, найти выражение $E(x)$ напряженности электрического поля в трех областях: I ($x<0$), II ($0<x<a$) и III ($x>a$). Принять $\sigma_1 = 2\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$, 2) вычислить напряженность E поля в точке, расположенной слева от плоскостей ($x<0$), и указать направление вектора \mathbf{E} ; 3) построить график $E(x)$.

325. См. условие задачи **324**. Принять $\sigma_1 = -4\sigma$, $\sigma_2 = 2\sigma$; $\sigma = 40$ нКл/м², точку расположить между плоскостями ($x=0,5a$).

326. См. условие задачи **324**. Принять $\sigma_1 = \sigma$, $\sigma_2 = -2\sigma$; $\sigma = 20$ нКл/м², точку расположить справа от плоскостей ($x=1,5a$).

327. На двух коаксиальных бесконечных цилиндрах радиусами R и $2R$ равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями σ_1 и σ_2 , соответственно. 1) Используя теорему Гаусса, найти зависимость $E(r)$ напряженности электрического поля от расстояния r от общей оси для трех областей: I ($0<r<R$), II ($R<r<2R$) и III ($r>2R$). Принять $\sigma_1 = -2\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$, 2) вычислить напряженность E в точке, удаленной от оси цилиндров на расстояние r_0 , и указать направление вектора \mathbf{E} для значений $\sigma = 50$ нКл/м², $r_0 = 1,5R$; 3) построить график $E(r)$.

328. См. условие задачи **327**. Принять $\sigma_1 = \sigma$, $\sigma_2 = -\sigma$; $\sigma = 60$ нКл/м²,

$$r_0=3R.$$

329. См. условие задачи 327. Принять $\sigma_1 = -\sigma$, $\sigma_2=4\sigma$; $\sigma=30 \text{ нКл/м}^2$,

$$r_0=4R.$$

330. Два точечных заряда $q_1=6 \text{ нКл}$ и $q_2=3 \text{ нКл}$ находятся на расстоянии $d=60 \text{ см}$ друг от друга. Какую работу необходимо совершить внешним силам, чтобы уменьшить расстояние между зарядами вдвое?

331. Электрическое поле создано заряженным проводящим шаром, потенциал φ которого 300 В . Под действием электрического поля шара заряд $q=0,2 \text{ нКл}$ перемещается вдоль прямой, проходящей через центр шара, причём начальная точка 1 находится на расстоянии $2R$ от центра шара, а конечная точка 2 – на расстоянии $4R$ (R -радиус шара). Определить работу сил поля по перемещению заряда $q=0,2 \text{ мкКл}$ из точки 1 в точку 2.

332. Электрическое поле создано зарядами $q_1=2 \text{ мкКл}$ и $q_2= -2 \text{ мкКл}$, находящимися в точках A и B соответственно ($AB=a=10 \text{ см}$). Точка C находится на прямой $AC \perp AB$ ($AC=2a$). Точка D находится на продолжении отрезка AB ($AD=3a$, $BD=2a$). Определить работу сил поля, совершаемую при перемещении заряда $q=0,5 \text{ мкКл}$ из точки C в точку D .

333. Две параллельные заряженные плоскости, поверхностные плотности заряда которых $\sigma_1=2 \text{ мкКл/м}^2$ и $\sigma_2= -0,8 \text{ мкКл/м}^2$, находятся на расстоянии $d=0,6 \text{ см}$ друг от друга. Определить разность потенциалов U между плоскостями.

334. Диполь с электрическим моментом $p=100 \text{ пКл м}$ свободно установился в электрическом поле напряженностью $E=200 \text{ кВ/м}$. Определить работу внешних сил, которую необходимо совершить для поворота диполя на угол $\alpha=180^\circ$.

335. Четыре одинаковых капли ртути, заряженных до потенциала $\varphi=10 \text{ В}$, сливаются в одну. Каков потенциал φ_1 образовавшейся капли?

336. Тонкий стержень согнут в кольцо радиусом $R=10$ см. Он равномерно заряжен с линейной плотностью заряда $\tau=800$ нКл/м. Определить потенциал φ в точке, расположенной на оси кольца на расстоянии $h=10$ см от его центра.

337. Поле образовано точечным диполем с электрическим моментом $p=200$ пКл м. Определить разность потенциалов U между двумя точками, расположенными на оси диполя симметрично относительно его центра, на расстоянии $r=40$ см от центра диполя.

338. Электрическое поле образовано бесконечно длинной заряженной нитью, линейная плотность заряда которой $\tau=20$ пКл/м. Определить разность потенциалов U двух точек поля, отстоящих от нити на расстоянии $r_1=8$ см и $r_2=12$ см.

339. Тонкое кольцо равномерно заряжено с линейной плотностью заряда $\tau=200$ пКл/м. Определить потенциал φ поля в центре кольца.

340. Пылинка массой $m=0,2$ г, несущая на себе заряд $q=40$ нКл, влетела в электрическое поле в направлении силовых линий. После прохождения разности потенциалов $U=200$ В пылинка имела скорость $v=10$ м/с. Определить скорость v_0 пылинки до того, как она влетела в поле.

341. Электрон, обладавший кинетической энергией $T=10$ эВ, влетел в однородное электрическое поле в направлении силовых линий поля. Какой скоростью будет обладать электрон, пройдя в этом поле разность потенциалов $U=8$ В?

342. Найти отношение скоростей ионов Cu^{++} и K^+ , прошедших одинаковую разность потенциалов.

343. Электрон с энергией $T=400$ эВ (в бесконечности) движется вдоль силовой линии по направлению к поверхности металлической заряженной сферы радиусом $R=10$ см. Определить минимальное расстояние a , на которое приблизится электрон к поверхности сферы, если заряд ее $q= -10$ нКл.

344. Электрон, пройдя в плоском конденсаторе путь от одной пластины до другой, приобрел скорость $v=10^5$ м/с. Расстояние между пластинами $d=8$ мм. Найти: 1) разность потенциалов U между пластинами; 2) поверхностную плотность заряда σ на пластинах.

345. Пылинка массой $m=5$ нг, несущая на себе $N=10$ электронов, прошла в вакууме ускоряющую разность потенциалов $U=1$ МВ. Какова кинетическая энергия T пылинки? Какую скорость v приобрела пылинка?

346. Какой минимальной скоростью v_{\min} должен обладать протон, чтобы он мог достигнуть поверхности заряженного до потенциала $\varphi=400$ В металлического шара? Протон движется по прямой, проходящей через центр шара из точки, удалённой на расстояние $r=4R$ от центра шара (R -радиус шара).

347. В однородное электрическое поле напряженностью $E=200$ В/м влетает (вдоль силовой линии) электрон со скоростью $v_0=2$ Мм/с. Определить расстояние l , которое пройдет электрон до точки, в которой его скорость будет равна половине начальной.

348. Электрическое поле создано бесконечной заряженной прямой линией с равномерно распределенным зарядом ($\tau=10$ нКл/м). Электрон движется перпендикулярно к этой линии. Определить кинетическую энергию T_2 электрона в точке находящейся на расстоянии a от линии, если в точке, находящейся на расстоянии $3a$, его кинетическая энергия $T_1=200$ эВ.

349. Электрон движется вдоль силовой линии однородного электрического поля. В некоторой точке поля с потенциалом $\varphi_1=100$ В электрон имел скорость $v_1=6$ Мм/с. Определить потенциал φ_2 точки поля, дойдя до которой электрон потеряет половину своей скорости.

350. Конденсаторы емкостью $C_1=5$ мкФ и $C_2=10$ мкФ заряжены до напряжений $U_1=60$ В и $U_2=100$ В соответственно. Определить напряжение на обкладках конденсаторов после их соединения обкладками, имеющими

одноименные заряды.

351. Конденсатор емкостью $C_1=10$ мкФ заряжен до напряжения $U=10$ В. Определить заряд на обкладках этого конденсатора после того, как параллельно ему был подключен другой, незаряженный, конденсатор емкостью $C_2=20$ мкФ.

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

353. Два конденсатора емкостями $C_1=2$ мкФ и $C_2=5$ мкФ заряжены до напряжений $U_1=100$ В и $U_2=150$ В соответственно. Определить напряжение на обкладках конденсаторов после их соединения обкладками, имеющими разноименные заряды.

354. Два одинаковых плоских воздушных конденсатора емкостью $C=100$ пФ каждый соединены в батарею последовательно. Определить, на сколько (ΔC) изменится емкость C батареи, если пространство между пластинами одного из конденсаторов заполнить парафином.

355. Два конденсатора емкостями $C_1=5$ мкФ и $C_2=8$ мкФ соединены последовательно и присоединены к батарее с ЭДС $E=80$ В. Определить заряды q_1 и q_2 конденсаторов и разности потенциалов U_1 и U_2 между их обкладками.

356. Плоский конденсатор состоит из двух круглых пластин радиусом $R=10$ см каждая. Расстояние между пластинами $d=2$ мм. Конденсатор присоединен к источнику напряжения $U=80$ В. Определить заряд q и напряженность E поля конденсатора в двух случаях: а) диэлектрик — воздух; б) диэлектрик — стекло.

357. Два металлических шарика радиусами $R_1=5$ см и $R_2=10$ см имеют заряды $q_1=40$ нКл и $q_2=-20$ нКл соответственно. Найти энергию W , которая выделится при разряде, если шары соединить проводником.

358. Пространство между пластинами плоского конденсатора

заполнено двумя слоями диэлектрика: стекла толщиной $d_1=0,2$ см и слоем парафина толщиной $d_2=0,3$ см. Разность потенциалов между обкладками $U=300$ В. Определить напряженность E поля и падение потенциала в каждом из слоев.

359. Плоский конденсатор с площадью пластин $S=200$ см² каждая заряжен до разности потенциалов $U=2$ кВ. Расстояние между пластинами $d=2$ см. Диэлектрик — стекло. Определить энергию W поля конденсатора и объемную плотность энергии w поля.

360. Катушка и амперметр соединены последовательно и подключены к источнику тока. К клеммам катушки присоединен вольтметр с сопротивлением $r=4$ кОм. Амперметр показывает силу тока $I=0,3$ А, вольтметр — напряжение $U=120$ В. Определить сопротивление R катушки. Определить относительную погрешность ε , которая будет допущена при измерении сопротивления, если пренебречь силой тока, текущего через вольтметр.

361. ЭДС батареи $E=80$ В, внутреннее сопротивление $r=5$ Ом. Внешняя цепь потребляет мощность $P=100$ Вт. Определить силу тока I в цепи, напряжение U , под которым находится внешняя цепь, и ее сопротивление R .

362. От батареи, ЭДС которой $E=600$ В, требуется передать энергию на расстояние $l=1$ км. Потребляемая мощность $P=5$ кВт. Найти минимальные потери мощности в сети, если диаметр медных подводных проводов $d=0,5$ см.

363. При внешнем сопротивлении $R_1=8$ Ом сила тока в цепи $I_1=0,8$ А, при сопротивлении $R_2=15$ Ом сила тока $I_2=0,5$ А. Определить силу тока $I_{кз}$ короткого замыкания источника ЭДС.

364. ЭДС батареи $E=24$ В. Наибольшая сила тока, которую может дать батарея, $I_{max}=10$ А. Определить максимальную мощность P_{max} , которая может выделяться во внешней цепи.

365. Аккумулятор с ЭДС $E=12$ В заряжается от сети постоянного тока с напряжением $U=15$ В. Определить напряжение на клеммах аккумулятора, если его внутреннее сопротивление $r=10$ Ом.

366. От источника с напряжением $U=800$ В необходимо передать потребителю мощность $P=10$ кВт на некоторое расстояние. Какое наибольшее сопротивление может иметь линия передачи, чтобы потери энергии в ней не превышали 10% от передаваемой мощности?

367. При включении электромотора в сеть с напряжением $U=220$ В он потребляет ток $I=5$ А. Определить мощность, потребляемую мотором, и его КПД, если сопротивление R обмотки мотора равно 6 Ом.

368. В сеть с напряжением $U=100$ В подключили катушку с сопротивлением $R_1=2$ кОм и вольтметр, соединенные последовательно. Показание вольтметра $U_1=80$ В. Когда катушку заменили другой, вольтметр показал $U_2=60$ В. Определить сопротивление R_2 другой катушки.

369. ЭДС батареи $E=12$ В. При силе тока $I=4$ А КПД батареи $\eta=0,6$. Определить внутреннее сопротивление r батареи.

370. За время $t=20$ с при равномерно возрастающей силе тока от нуля до некоторого максимума в проводнике сопротивлением $R=5$ Ом выделилось количество теплоты $Q=4$ кДж. Определить скорость нарастания силы тока, если сопротивление проводника $R=5$ Ом.

371. Сила тока в проводнике изменяется со временем по закону $I=I_0 \exp(-\alpha t)$, где $I_0=20$ А, а $\alpha=10^2$ с⁻¹. Определить количество теплоты, выделившееся в проводнике сопротивлением $R=10$ Ом за время $t=10^{-2}$ с.

372. Сила тока в проводнике сопротивлением $R=10$ Ом за время $t=50$ с равномерно нарастает от $I_1=5$ А до $I_2=10$ А. Определить количество теплоты Q , выделившееся за это время в проводнике.

373. В проводнике за время $t=10$ с при равномерном возрастании силы тока от $I_1=1$ А до $I_2=2$ А выделилось количество теплоты $Q=5$ кДж. Найти сопротивление R проводника.

374. Сила тока в проводнике изменяется со временем по закону $I=I_0 \sin \omega t$. Найти заряд q , проходящий через поперечное сечение проводника за

время t , равное половине периода T , если амплитуда силы тока $I_0=10$ А, циклическая частота $\omega=50\pi$ с⁻¹.

375. За время $t=10$ с при равномерно возрастающей силе тока от нуля до некоторого максимума в проводнике выделилось количество теплоты $Q=40$ кДж. Определить среднюю силу тока $\langle I \rangle$ в проводнике, если его сопротивление $R=25$ Ом.

376. За время $t=8$ с при равномерно возраставшей силе тока в проводнике сопротивлением $R=8$ Ом выделилось количество теплоты $Q=500$ Дж. Определить заряд q , проходящий в проводнике, если сила тока в начальный момент времени равна нулю.

377. Определить количество теплоты Q , выделившееся за время $t=10$ с в проводнике сопротивлением $R=10$ Ом, если сила тока в нем, равномерно уменьшаясь, изменилась от $I_1=10$ А до $I_2=0$ А.

378. Сила тока в цепи изменяется по закону $I=I_0 \sin \omega t$. Определить количество теплоты, которое выделится в проводнике сопротивлением $R=10$ Ом за время, равное четверти периода (от $t_1=0$ до $t_2=T/4$, где $T=10$ с). Амплитуда силы тока $I_0=5$ А.

379. Сила тока в цепи изменяется со временем по закону $I=I_0 \exp(-\alpha t)$. Определить количество теплоты, которое выделится в проводнике сопротивлением $R=20$ Ом за время, в течение которого ток уменьшится в e (2,718) раз. Коэффициент α принять равным $2 \cdot 10^{-2}$ с⁻¹, $I_0=5$ А.

380. Два шарика массой $m=1$ г каждый подвешены на нитях, верхние концы которых соединены вместе. Длина каждой нити $l=10$ см. Какие одинаковые заряды надо сообщить шарикам, чтобы нити разошлись на угол $\alpha=60^\circ$?

381. Расстояние между зарядами $q_1=100$ нКл и $q_2=-50$ нКл равно $d=10$ см. Определить силу F , действующую на заряд $q_3=1$ мкКл, отстоящую на $r_1=12$ см от заряда q_1 и на $r_2=10$ см от заряда q_2 .

382. Тонкий стержень длиной $l=10$ см равномерно заряжен с линейной плотностью $\tau=1,5$ нКл/см. На продолжении оси стержня на расстоянии $d=12$ см от его конца находится точечный заряд $q=0,2$ мкКл. Определить силу взаимодействия заряженного стержня и точечного заряда.

383. Две бесконечные параллельные прямые тонкие проволоки заряжены с одинаковой линейной плотностью. Вычислить линейную плотность τ заряда на каждой из них, если напряженность поля в точке, находящейся на расстоянии $r=0,5$ м от каждой проволоки, $E=2$ В/см, а расстояние между проволоками равно $0,5$ м.

384. С какой силой, приходящейся на единицу площади, отталкиваются две одноименно заряженные бесконечно протяженные плоскости с одинаковой поверхностной плотностью заряда $\sigma=2$ мкКл/м²?

385. Какую ускоряющую разность потенциалов U должен пройти электрон, чтобы получить скорость $v=8$ Мм/с?

386. Заряд равномерно распределен по бесконечной плоскости с поверхностной плотностью $\sigma=10$ нКл/м². Определить разность потенциалов двух точек поля, одна из которых находится на плоскости, а другая удалена от нее на расстояние $a=10$ см.

387. Электрон с начальной скоростью $v=3$ Мм/с влетел в однородное электрическое поле напряженностью $E=150$ В/м. Вектор начальной скорости перпендикулярен линиям напряженности электрического поля. Определить: 1) силу, действующую на электрон; 2) ускорение, приобретаемое электроном; 3) скорость электрона через $t=0,1$ мкс.

388. К батарее с ЭДС $E=300$ В включены два плоских конденсатора емкостями $C_1=2$ пФ и $C_2=3$ пФ. Определить заряд q и напряжение U на пластинках конденсаторов при последовательном и параллельном соединениях.

389. Конденсатор емкостью $C_1=600$ пФ зарядили до разности

потенциалов $U_1=1,5$ кВ и отключили от источника напряжения. Затем к нему параллельно присоединили незаряженный конденсатор емкостью $C_2=400$ пФ. Определить энергию, израсходованную на образование искры, проскочившей при соединении конденсаторов.

390. На концах медного провода длиной $l=5$ м поддерживается напряжение $U=1$ В. Определить плотность тока j в проводе.

391. Резистор сопротивлением $R_1=5$ Ом, вольтметр и источник тока соединены параллельно. Вольтметр показывает напряжение $U_1=10$ В. Если заменить резистор другим с сопротивлением $R_2=12$ Ом, то вольтметр покажет напряжение $U_2=12$ В. Определить ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока. Током через вольтметр пренебречь.

392. Определить электрический заряд, прошедший через поперечное сечение провода сопротивлением $R=3$ Ом, при равномерном нарастании напряжения на концах провода от $U_1=2$ В до $U_2=4$ В в течение $t=20$ с.

393. Определить силу тока в цепи, состоящей из двух элементов с ЭДС $E_1=1,6$ В и $E_2=1,2$ В и внутренними сопротивлениями $R_1=0,6$ Ом и $R_2=0,4$ Ом, соединенных одноименными полюсами.

394. Гальванический элемент дает на внешнее сопротивление $R_1=0,5$ Ом силу тока $I_1=0,2$ А. Если внешнее сопротивление заменить на $R_2=0,8$ Ом, то элемент дает силу тока $I_2=0,15$ А. Определить силу тока короткого замыкания.

395. К источнику тока с ЭДС $E=12$ В присоединена нагрузка. Напряжение U на клеммах источника стало при этом равным 8 В. Определить КПД источника тока.

396. Внешняя цепь источника тока потребляет мощность $P=0,75$ Вт. Определить силу тока в цепи, если ЭДС источника тока $E=2$ В и внутреннее сопротивление $R=1$ Ом.

397. Какая наибольшая полезная мощность P_{\max} может быть получена от источника тока с ЭДС $E=12$ В и внутренним сопротивлением $R=1$ Ом?

398. При выключении источника тока сила тока в цепи убывает по закону $I=I_0 \exp(-\alpha t)$ ($I_0=10\text{А}$, $\alpha=5 \cdot 10^2 \text{ с}^{-1}$). Определить количество теплоты, которое выделится в резисторе сопротивлением $R=5 \text{ Ом}$ после выключения источника тока.

399. Сила тока в проводнике сопротивлением $R=25 \text{ Ом}$ возрастает в течение времени $\Delta t=2 \text{ с}$ по линейному закону от $I_0=0$ до $I=5 \text{ А}$. Определить количество теплоты Q_1 выделившееся в этом проводнике за первую секунду и Q_2 - за вторую.

2. Электромагнетизм

2.1. Основные понятия и формулы

Связь магнитной индукции \mathbf{B} магнитного поля напряженностью \mathbf{H}

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

где μ — относительная магнитная проницаемость среды; μ_0 — магнитная постоянная. В вакууме $\mu=1$.

Закон Био—Савара—Лапласа

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

где $d\mathbf{B}$ —магнитная индукция поля, создаваемого элементом провода длиной $d\mathbf{l}$ с током I ; \mathbf{r} —радиус-вектор, направленный от элемента проводника к точке, в которой определяется магнитная индукция; α — угол между радиусом-вектором и направлением тока в элементе провода $d\mathbf{l}$.

Магнитная индукция в центре кругового тока

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

где R — радиус кругового витка.

Магнитная индукция на оси кругового тока

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi R^2 I}{(r^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}},$$

где h — расстояние от центра витка до точки, в которой определяется магнитная индукция.

Магнитная индукция поля прямого тока

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

где r_0 — расстояние от оси провода до точки, в которой определяется магнитная индукция.

Магнитная индукция поля соленоида

$$B = \mu\mu_0 nI,$$

где n — отношение числа витков соленоида к его длине.

Для расчета магнитных полей используется также теорема о циркуляции вектора \mathbf{H} (закон полного тока для магнитного поля):

$$\oint_{\Gamma} \mathbf{H} d\mathbf{l} = \sum I_i,$$

где Γ — замкнутый контур, охватывающий токи I_i , $\oint_{\Gamma} \mathbf{H} d\mathbf{l}$ — циркуляция вектора \mathbf{H} вдоль контура Γ .

Сила, действующая на провод длиной l с током I в магнитном поле (закон Ампера),

$$\mathbf{F} = I[\mathbf{l}\mathbf{B}], \text{ или } F = I l B \sin \alpha,$$

где α — угол между направлением тока в проводе и вектором магнитной индукции \mathbf{B} . Это выражение справедливо для однородного магнитного поля и прямого отрезка провода. Если поле неоднородно и провод не является прямым, то закон Ампера можно применять к каждому элементу провода в отдельности в виде

$$d\mathbf{F} = I[d\mathbf{l}\mathbf{B}].$$

Магнитный момент плоского контура с током

$$\mathbf{p}_m = IS\mathbf{n},$$

где \mathbf{n} — единичный вектор нормали (положительной) к плоскости контура; I — сила тока, протекающего по контуру; S — площадь контура.

Механический (вращательный) момент или момент силы, действующий на контур с током, помещенный в однородное магнитное поле,

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

где α — угол между векторами \mathbf{p}_m и \mathbf{B} .

Потенциальная энергия (механическая) контура с током в магнитном поле

$$\Pi = -(\mathbf{p}_m \mathbf{B}) \text{ или } \Pi = -p_m B \cos \alpha.$$

Отношение магнитного момента p_m к механическому моменту (моменту импульса) L заряженной частицы, движущейся по крутой орбите,

$$\frac{p_m}{L} = \frac{q}{2m},$$

где q — заряд частицы; m — масса частицы.

Сила Лоренца

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

где \mathbf{v} — скорость заряженной частицы; α — угол между векторами \mathbf{v} и \mathbf{B} .

Если частица находится одновременно в электрическом и магнитном полях, то под силой Лоренца понимают выражение

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q[\mathbf{v} \mathbf{B}].$$

Магнитный поток:

а) в случае однородного магнитного поля и плоской поверхности

$$\Phi = BS \cos \alpha \text{ или } \Phi = B_n S,$$

где S — площадь контура; α — угол между нормалью к плоскости контура и вектором магнитной индукции, B_n — проекция вектора \mathbf{B} на нормаль \mathbf{n} к поверхности контура,

б) в случае неоднородного поля и произвольной поверхности

$$\Phi = \int_S B_n dS \text{ (интегрирование ведется по всей поверхности).}$$

Потокоцепление (полный магнитный поток)

$$\Psi = N\Phi.$$

Эта формула применима к соленоиду и **тороиду** с равномерно намотанными плотно прилегающими друг к другу витками числом N .

Работа по перемещению замкнутого контура в магнитном поле

$$A = I\Delta\Phi.$$

ЭДС индукции

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Psi}{dt}.$$

Разность потенциалов на концах провода длиной l , движущегося со скоростью \mathbf{v} в магнитном поле,

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

где l — длина провода; α — угол между векторами \mathbf{v} и \mathbf{B} .

Заряд, протекающий по замкнутому контуру при изменении магнитного потока, пронизывающего этот **контур**,

$$q = \frac{\Delta\Phi}{R} \text{ или } q = N \frac{\Delta\Phi}{R} = \frac{\Delta\Psi}{R},$$

где R — сопротивление контура.

Индуктивность контура

$$L = \frac{\Phi}{I}.$$

ЭДС самоиндукции

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

Индуктивность соленоида

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

где n — отношение числа витков соленоида к его длине; V — объем соленоида.

Мгновенное значение силы тока в цепи, обладающей сопротивлением R и индуктивностью L :

$$\text{а) } I = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}} \right) \text{ (при замыкании цепи),}$$

где E — ЭДС источника тока; t — время, прошедшее после замыкания цепи;

б) $I = I_0 e^{-\frac{Rt}{L}}$ (при размыкании цепи), где I_0 — сила тока в цепи при $t=0$; t — время, прошедшее с момента размыкания цепи.

Энергия магнитного поля

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

Объемная плотность энергии магнитного поля (энергия магнитного поля в единице объема)

$$w = \frac{BH}{2}, \text{ или } w = \frac{B^2}{2\mu_0}, \text{ или } w = \frac{\mu_0 H^2}{2},$$

где B — магнитная индукция; H — напряженность магнитного поля.

2.2. Контрольные задачи к разделу 2

400. По двум параллельным бесконечно длинным проводам текут в одинаковых направлениях токи силой $I=100$ А. Расстояние между проводами $d=0,1$ м. Определить магнитную индукцию \mathbf{B} в точке, отстоящей от одного проводника на расстоянии $r_1=5$ см и от другого — на расстоянии $r_2=12$ см.

401. Магнитный момент p_m тонкого проводящего кольца $p_m=5$ А м². Определить магнитную индукцию \mathbf{B} в центре кольца, если его радиус $r=0,1$ м.

402. По двум скрещенным под прямым углом бесконечно длинным проводам текут токи I и $2I$ ($I=100$ А). Определить магнитную индукцию \mathbf{B} в центре отрезка, перпендикулярного к обоим проводам, если длина его

составляет $d=10$ см. Указать направление вектора \mathbf{B} для выбранных направлений тока.

403. По бесконечно длинному прямому проводу, течет ток $I=200$ А. Определить расстояние до точки, в которой модуль магнитной индукции \mathbf{B} будет в 3 раза больше, чем модуль магнитной индукции в центре круглого проводника радиусом 0,5 м, по которому течет вдвое больший ток.

404. Точка A удалена от бесконечного прямого тока на расстояние $d=10$ см. Определить магнитную индукцию \mathbf{B} в точке A , если в ней действует дополнительное внешнее поле, направленное параллельно току в проводнике. Отношение модулей магнитной индукции внешнего поля и поля от проводника равно 2, ток в проводнике $I=25$ А.

405. Два круговых витка расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях так, что их центры совпадают. Радиусы витков равны 10 см и 20 см, а токи в них соответственно равны 2 А и 5 А. Найти магнитную индукцию в центре витков. Рассмотреть два случая – 1) направления токов совпадают; 2) направления токов противоположны.

406. В центре кругового проволочного витка создается магнитное поле со значением магнитной индукции B при некоторой разности потенциалов между концами U . Какую надо приложить разность потенциалов, чтобы получить такую же индукцию в центре витка вдвое большего радиуса, изготовленного из такой же проволоки?

407. По двум параллельным тонким прямым бесконечным проводам текут в противоположных направлениях токи, равные 5 А и 10 А. На каком конечном расстоянии от одного из проводов находится точка, в которой магнитная индукция равна нулю, если расстояние между проводами равно 1 м?

408. По двум бесконечно длинным, прямым параллельным проводам текут в противоположных направлениях одинаковые по величине токи $I=60$ А. Расстояние между проводами $d=10$ см. Определить магнитную индукцию \mathbf{B} в

точке, равноудаленной от проводов на расстояние $d_1=10$ см.

409. В центре кругового витка магнитная индукция равна B при приложении к концам витка разности потенциалов U . Во сколько раз нужно увеличить разность потенциалов, чтобы получить такое же значение магнитной индукции в центре витка вдвое большего радиуса, сделанного из того же материала?

410. По двум параллельным проводам длиной $l=30$ м каждый текут одинаковые токи $I=500$ А. Расстояние d между проводами равно 10 см. Определить силу F взаимодействия проводов.

411. По трем параллельным прямым проводам, находящимся на одинаковом расстоянии $d=20$ см друг от друга, текут одинаковые токи $I=400$ А. В двух проводах направления токов совпадают. Вычислить для каждого из проводов отношение силы, действующей на него, к его длине.

412. Квадратная проволочная рамка расположена в одной плоскости с длинным прямым проводом так, что две ее стороны параллельны проводу. По рамке и проводу текут одинаковые токи $I=200$ А. Определить силу F , действующую на рамку, если ближайшая к проводу сторона рамки находится от него на расстоянии, равном ее длине.

413. Короткая катушка площадью поперечного сечения $S=250$ см², содержащая $N=500$ витков провода, по которому течет ток $I=5$ А, помещена в однородное магнитное поле напряженностью $H=1000$ А/м. Найти: 1) магнитный момент p_m катушки; 2) вращающий момент M , действующий на катушку, если ось катушки составляет угол $\varphi=30^\circ$ с линиями поля.

414. Из тонкого провода длиной $l=20$ см изготовили круглый виток и поместили его в магнитное поле ($B=10$ мТл) так, что плоскость витка составляет угол 45° с направлением вектора магнитной индукции. По проводу пропустили ток $I=50$ А. Определить момент силы, действующей на виток.

415. Шины генератора длиной $l=4$ м находятся на расстоянии $d=10$ см

друг от друга. Найти силу взаимного отталкивания шин при коротком замыкании, если ток $I_{кз}$ короткого замыкания равен 5 кА.

416. Квадратный контур со стороной $a=10$ см, по которому течет ток $I=50$ А, свободно установился в однородном магнитном поле ($B=10$ мТл). Определить изменение $\Delta\Pi$ потенциальной энергии контура при повороте вокруг оси, лежащей в плоскости контура, на угол $\varphi=180^\circ$.

417. Квадратная проволочная рамка расположена в одной плоскости с бесконечно длинным прямым проводом так, что две её стороны параллельны проводу. По рамке и проводу текут одинаковые токи с силой $I=1$ кА. Определить силу F , действующую на рамку, если ближайшая к проводу сторона рамки находится на расстоянии, равном её длине.

418. Квадратная рамка из тонкого провода может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, совпадающей с одной из сторон. Длина стороны рамки $l=10$ см. Масса m рамки равна 20 г. Рамку поместили в однородное магнитное поле ($B=0,1$ Тл), направленное вертикально вверх. Определить угол α , на который отклонилась рамка от вертикали, когда по ней пропустили ток $I=10$ А.

419. По круговому витку радиусом $R=5$ см течет ток $I=20$ А. Виток расположен в однородном магнитном поле ($B=40$ мТл) так, что нормаль к плоскости контура составляет угол $\theta=\pi/6$ с вектором B . Определить изменение $\Delta\Pi$ потенциальной энергии контура при его повороте на угол $\varphi=\pi/2$ в направлении увеличения угла θ .

420. По тонкому кольцу радиусом $R=10$ см равномерно распределен заряд с линейной плотностью $\tau=50$ нКл/м. Кольцо вращается относительно оси, перпендикулярной плоскости кольца и проходящей через его центр, с частотой $n=10$ с⁻¹. Определить магнитный момент p_m , обусловленный вращением кольца.

421. Магнитная индукция в центре кругового витка составляет $2,5 \cdot 10^{-4}$

Тл. Магнитный момент витка равен $1 \text{ А}\cdot\text{м}^2$. Вычислить силу тока и радиус витка.

422. Стержень длиной $l=20$ см заряжен равномерно распределенным зарядом с линейной плотностью $\tau=0,2 \text{ мкКл/м}$. Стержень вращается с частотой $n=10 \text{ с}^{-1}$ относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его конец. Определить магнитный момент p_m , обусловленный вращением стержня.

423. Протон движется по окружности радиусом $R=0,5$ см с линейной скоростью $v=10^6$ м/с. Определить магнитный момент p_m , создаваемый эквивалентным круговым током.

424. Тонкое кольцо радиусом $R=10$ см несет равномерно распределенный заряд $q=80$ нКл. Кольцо вращается с угловой скоростью $\omega=50$ рад/с относительно оси, перпендикулярной плоскости кольца и проходящей через его центр. Найти магнитный момент p_m , обусловленный вращением кольца.

425. Заряд $q=0,1 \text{ мкКл}$ равномерно распределен по стержню длиной $l=50$ см. Стержень вращается с угловой скоростью $\omega=20$ рад/с относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его середину. Найти магнитный момент p_m , обусловленный вращением стержня.

426. Электрон в атоме водорода движется вокруг ядра (протона) по окружности радиусом $R=53$ пм. Определить магнитный момент p_m эквивалентного кругового тока.

427. Очень короткая катушка содержит $N=1000$ витков тонкого провода. Катушка имеет квадратное сечение со стороной $a=10$ см. Найти магнитный момент катушки при силе тока $I=0,1$ А.

428. Магнитный момент витка равен $0,2 \text{ Дж/Тл}$. Определить сопротивление витка, если его диаметр $d=10$ см, а напряжение между концами витка составляет 1 мВ .

429. По тонкому стержню длиной $l=40$ см равномерно распределен

заряд $q=60$ нКл. Стержень вращается с частотой $n=12$ с⁻¹ относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через стержень на расстоянии $a=l/3$ от одного из его концов. Определить магнитный момент p_m , обусловленный вращением, стержня.

430. Два иона разных масс с одинаковыми зарядами влетели в однородное магнитное поле, стали двигаться по окружностям радиусами $R_1=3$ см и $R_2=1,73$ см. Определить отношение масс ионов, если они прошли одинаковую ускоряющую разность потенциалов.

431. Однозарядный ион натрия прошел ускоряющую разность потенциалов $U=1$ кВ и влетел перпендикулярно линиям магнитной индукции в однородное поле ($B=0,5$ Тл). Определить относительную атомную массу A иона, если он описал окружность радиусом $R=4,37$ см.

432. Электрон прошел ускоряющую разность потенциалов $U=800$ В и, влетев в однородное магнитное поле $B=47$ мТл, стал двигаться по винтовой линии с шагом $h=6$ см. Определить радиус R винтовой линии.

433. Альфа-частица прошла ускоряющую разность потенциалов $U=300$ В и, попав в однородное магнитное поле, стала двигаться по винтовой линии радиусом $R=1$ см и шагом $h=4$ см. Определить магнитную индукцию B поля.

434. Заряженная частица прошла ускоряющую разность потенциалов $U=100$ В и, влетев в однородное магнитное поле ($B=0,1$ Тл), стала двигаться по винтовой линии с шагом $h=6,5$ см и радиусом $R=1$ см. Определить отношение заряда частицы к ее массе.

435. Электрон влетел в однородное магнитное поле ($B=200$ мТл) перпендикулярно линиям магнитной индукции. Определить силу эквивалентного кругового тока $I_{\text{экв}}$, создаваемого движением электрона в магнитном поле.

436. Протон прошел ускоряющую разность потенциалов $U=300$ В и влетел в однородное магнитное поле ($B=20$ мТл) под углом $\alpha=30^\circ$ к линиям

магнитной индукции. Определить шаг h и радиус R винтовой линии, по которой будет двигаться протон в магнитном поле.

437. Альфа-частица, пройдя ускоряющую разность потенциалов U , стала двигаться в однородном магнитном поле ($B=50$ мТл) по винтовой линии с шагом $h=5$ см и радиусом $R=1$ см. Определить ускоряющую разность потенциалов, которую прошла альфа-частица.

438. Ион с кинетической энергией $T=1$ кэВ попал в однородное магнитное поле ($B=21$ мТл) и стал двигаться по окружности. Определить магнитный момент p_m эквивалентного кругового тока.

439. Ион влетает в магнитное поле ($B=0,01$ Тл) и движется по окружности. Определить кинетическую энергию T (в эВ) иона, если магнитный момент p_m эквивалентного кругового тока равен $1,6 \cdot 10^{-14}$ А м².

440. Протон влетел в скрещенные под углом $\alpha=120^\circ$ магнитное ($B=50$ мТл) и электрическое ($E=20$ кВ/м) поля. Определить ускорение a протона в начальный момент времени, если его скорость v ($|v|=4 \cdot 10^5$ м/с) перпендикулярна векторам \mathbf{E} и \mathbf{B} .

441. Ион, пройдя ускоряющую разность потенциалов $U=645$ В, влетел в скрещенные под прямым углом однородные магнитное ($B=1,5$ мТл) и электрическое ($E=200$ В/м) поля. Определить отношение заряда иона к его массе, если ион в этих полях движется прямолинейно.

442. Альфа-частица влетела в скрещенные под прямым углом магнитное ($B=5$ мТл) и электрическое ($E=30$ кВ/м) поля. Определить ускорение a альфа-частицы в начальный момент времени, если ее скорость v ($|v|=2 \cdot 10^6$ м/с) перпендикулярна векторам \mathbf{B} и \mathbf{E} , причем силы, действующие со стороны этих полей, противоположно направлены.

443. Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов $U=1,2$ кВ, попал в скрещенные под прямым углом однородные магнитное и электрическое поля и движется прямолинейно. Определить напряженность \mathbf{E} электрического

поля, если магнитная индукция \mathbf{B} поля равна 6 мТл.

444. Однородные магнитное ($B=2,5$ мТл) и электрическое ($E=10$ кВ/м) поля скрещены под прямым углом. Электрон, скорость v которого равна $4 \cdot 10^4$ м/с, влетает в эти поля так, что силы, действующие на него со стороны магнитного и электрического полей, одинаково направлены. Определить ускорение a электрона в начальный момент времени.

445. Однозарядный ион лития массой $m=7$ а.е.м. прошел ускоряющую разность потенциалов $U=300$ В и влетел в скрещенные под прямым углом однородные магнитное и электрическое поля. Определить магнитную индукцию \mathbf{B} поля, если траектория иона в скрещенных полях прямолинейна. Напряженность \mathbf{E} электрического поля равна 2 кВ/м.

446. Альфа-частица, имеющая скорость $v=20$ км/с, влетает под углом $\alpha=30^\circ$ к одинаково направленному магнитному ($B=1$ мТл) и электрическому ($E=1$ кВ/м) полям. Определить ускорение a альфа-частицы в начальный момент времени.

447. Протон прошел некоторую ускоряющую разность потенциалов U и влетел в скрещенные под прямым углом однородные поля: магнитное ($B=5$ мТл) и электрическое ($E=20$ кВ/м). Определить разность потенциалов U , если протон в скрещенных полях движется прямолинейно.

448. Магнитное ($B=2$ мТл) и электрическое ($E=1,6$ кВ/м) поля одинаково направлены. Перпендикулярно векторам \mathbf{B} и \mathbf{E} влетает электрон со скоростью $v=0,8$ Мм/с. Определить ускорение a электрона в начальный момент времени.

449. В скрещенные под прямым углом однородные магнитное ($H=1$ МА/м) и электрическое ($E=50$ кВ/м) поля влетел ион. При какой скорости v иона (по модулю и направлению) он будет двигаться в скрещенных полях прямолинейно?

450. Плоский контур площадью $S=20$ см² находится в однородном

магнитном поле ($B=0,03$ Тл). Определить магнитный поток Φ , пронизывающий контур, если плоскость его составляет угол $\varphi=60^\circ$ с направлением линий индукции.

451. Магнитный поток Φ сквозь сечение соленоида равен 50 мкВб. Длина соленоида $l=50$ см. Найти магнитный момент p_m соленоида, если его витки плотно прилегают друг к другу.

452. В средней части соленоида, содержащего $n=8$ витков/см, помещен круговой виток диаметром $d=4$ см. Плоскость витка расположена под углом $\varphi=60^\circ$ к оси соленоида. Определить магнитный поток Φ , пронизывающий виток, если по обмотке соленоида течет ток $I=1$ А.

453. На длинный картонный каркас диаметром $d=5$ см уложена **однослойная** обмотка (виток к витку) из проволоки диаметром $d=0,2$ мм. Определить магнитный поток Φ , создаваемый таким соленоидом при силе тока $I=0,5$ А.

454. Квадратный контур со стороной $a=10$ см, в котором течет ток $I=6$ А, находится в магнитном поле ($B=0,8$ Тл) под углом $\alpha=50^\circ$ к линиям индукции. Какую работу A нужно совершить, чтобы при неизменной силе тока в контуре изменить его форму на окружность?

455. Плоский контур с током $I=5$ А свободно установился в однородном магнитном поле ($B=0,4$ Тл). Площадь контура $S=200$ см². Поддерживая ток в контуре неизменным, его повернули относительно оси, лежащей в плоскости контура, на угол $\alpha=40^\circ$. Определить совершенную при этом работу A .

456. Виток, в котором поддерживается постоянная сила тока $I=60$ А, свободно установился в однородном магнитном поле ($B=20$ мТл). Диаметр витка $d=10$ см. Какую работу A нужно совершить для того, чтобы повернуть виток относительно оси, совпадающей с диаметром, на угол $\alpha=\pi/3$?

457. В однородном магнитном поле перпендикулярно линиям

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

458. Плоский контур с площадью $S=100 \text{ см}^2$ с током $I=50 \text{ А}$ расположен в однородном магнитном поле ($B=0,6 \text{ Тл}$) так, что нормаль к контуру перпендикулярна линиям магнитной индукции. Определить работу, совершаемую силами поля при медленном повороте контура около оси, лежащей в плоскости контура, на угол $\alpha=30^\circ$.

459. Определить магнитный поток Φ , пронизывающий соленоид, если его длина $l=50 \text{ см}$ и магнитный момент $p_m=0,4 \text{ Вб}$.

460. В однородном магнитном поле ($B=0,1 \text{ Тл}$) равномерно с частотой $n=5 \text{ с}^{-1}$ вращается стержень длиной $l=50 \text{ см}$ так, что плоскость его вращения перпендикулярна линиям напряженности, а ось вращения проходит через один из его концов. Определить индуцируемую на концах стержня разность потенциалов U .

461. В однородном магнитном поле с индукцией $B=0,5 \text{ Тл}$ вращается с частотой $n=10 \text{ с}^{-1}$ стержень длиной $l=20 \text{ см}$. Ось вращения параллельна линиям индукции и проходит через один из концов стержня перпендикулярно его оси. Определить разность потенциалов U на концах стержня.

462. В проволочное кольцо, присоединенное к баллистическому гальванометру, вставили прямой магнит. При этом по цепи прошел заряд $q=50 \text{ мкКл}$. Определить изменение магнитного потока $\Delta\Phi$ через кольцо; если сопротивление цепи гальванометра $R=10 \text{ Ом}$.

463. Тонкий медный провод массой $m=5 \text{ г}$ согнут в виде квадрата, и концы его замкнуты. Квадрат помещен в однородное магнитное поле ($B=0,2 \text{ Тл}$) так, что его плоскость перпендикулярна линиям поля. Определить заряд q , который потечет по проводнику, если квадрат, потянув за противоположные

вершины, вытянуть в линию.

464. Рамка из провода сопротивлением $R=0,04$ Ом равномерно вращается в однородном магнитном поле ($B=0,6$ Тл). Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Площадь рамки $S=200$ см². Определить заряд q , который потечет по рамке при изменении угла между нормалью к рамке и линиями индукции: 1) от 0 до 45°; 2) от 45 до 90°.

465. Проволочный виток диаметром $D=5$ см и сопротивлением $R=0,02$ Ом находится в однородном магнитном поле ($B=0,3$ Тл). Плоскость витка составляет угол $\varphi=40^\circ$ с линиями индукции. Какой заряд q протечет по витку при выключении магнитного поля?

466. Рамка, содержащая $N=200$ витков тонкого провода, может свободно вращаться относительно оси, лежащей в плоскости рамки. Площадь рамки $S=50$ см². Ось рамки перпендикулярна линиям индукции однородного магнитного поля ($B=0,05$ Тл). Определить максимальную ЭДС E_{\max} , которая индуцируется в рамке при ее вращении с частотой $n=40$ с⁻¹.

467. Прямой проводящий стержень длиной $l=40$ см находится в однородном магнитном поле ($B=0,1$ Тл). Концы стержня замкнуты гибким проводом, находящимся вне поля. Сопротивление всей цепи $R=0,5$ Ом. Какая мощность P потребуется для равномерного перемещения стержня перпендикулярно линиям магнитной индукции со скоростью $v=10$ м/с?

468. Проволочный контур площадью $S=500$ см² и сопротивлением $R=0,1$ Ом равномерно вращается в однородном магнитном поле ($B=0,5$ Тл). Ось вращения лежит в плоскости контура и перпендикулярна линиям магнитной индукции. Определить максимальную мощность P_{\max} , необходимую для вращения контура с угловой скоростью $\omega=50$ рад/с.

469. Кольцо из медного провода массой $m=10$ г помещено в однородное магнитное поле ($B=0,5$ Тл) так, что плоскость кольца составляет угол $\varphi=60^\circ$ с линиями магнитной индукции. Определить заряд q , который

пройдет по кольцу, если снять магнитное поле.

470. Соленоид сечением $S=10 \text{ см}^2$ содержит $N=10^3$ витков. При силе тока $I=5 \text{ А}$ магнитная индукция B поля внутри соленоида равна $0,05 \text{ Тл}$. Определить индуктивность L соленоида.

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

472. Катушка, намотанная на магнитный цилиндрический каркас, имеет $N=250$ витков и индуктивность $L_1=36 \text{ мГн}$. Чтобы увеличить индуктивность катушки до $L_2=100 \text{ мГн}$, обмотку катушки сняли и заменили обмоткой из более тонкой проволоки с таким расчетом, чтобы длина катушки осталась прежней. Сколько витков оказалось в катушке после перемотки?

473. Индуктивность L соленоида, намотанного в один слой на немагнитный каркас, равна $0,5 \text{ мГн}$. Длина l соленоида равна $0,6 \text{ м}$, диаметр $D=2 \text{ см}$. Определить отношение n числа витков соленоида к его длине.

474. Соленоид содержит $N=800$ витков. Сечение сердечника (из немагнитного материала) $S=10 \text{ см}^2$. По обмотке течет ток, создающий поле с индукцией $B=8 \text{ мТл}$. Определить среднее значение ЭДС $\langle E_s \rangle$ самоиндукции, которая возникает на зажимах соленоида, если сила тока уменьшается практически до нуля за время $\Delta t=0,8 \text{ мс}$.

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

476. В электрической цепи, содержащей резистор сопротивлением $R=20 \text{ Ом}$ и катушку индуктивностью $L=0,06 \text{ Гн}$, течет ток $I=20 \text{ А}$. Определить силу тока I в цепи через $\Delta t=0,2 \text{ мс}$ после ее размыкания.

477. Цепь состоит из катушки индуктивностью $L=0,1 \text{ Гн}$ и источника тока. Источник тока отключили, не разрывая цепи. Время, через которое сила

тока уменьшится до 0,001 первоначального значения, равно $t=0,07$ с. Определить сопротивление катушки.

478. Источник тока замкнули на катушку сопротивлением $R=10$ Ом и индуктивностью $L=0,2$ Гн. Через какое время сила тока в цепи достигнет 50% максимального значения?

479. Источник тока замкнули на катушку сопротивлением $R=20$ Ом. Через время $t=0,1$ с сила тока I в катушке достигла 0,95 предельного значения. Определить индуктивность L катушки.

480. Ток в 20 А протекая по проволочному кольцу из медной проволоки сечением $S=1$ мм² создает в центре кольца напряженность магнитного поля $H=2000$ А/м. Какая разность потенциалов приложена к концам медной проволоки, образующей кольцо?

481. По двум длинным параллельным проводам текут в одинаковом направлении токи $I_1=10$ А и $I_2=15$ А. Расстояние между проводами $a=10$ см. Определить напряженность H магнитного поля в точке, удаленной от первого провода на $r_1=8$ см и от второго на $r_2=6$ см.

482. По двум длинным параллельным проводам в противоположных направлениях текут токи $I_1=10$ А и $I_2=15$ А. Расстояние между проводами $a=10$ см. Определить напряженность H магнитного поля в точке, удаленной от первого провода на $r_1=15$ см и от второго на $r_2=10$ см.

483. По двум скрещенным под углом 45° тонким бесконечным прямолинейным проводникам, расстояние между которыми $a=10$ см, идут одинаковые токи $I=20$ А. Определить магнитную индукцию B в центре отрезка, перпендикулярного к обоим проводникам.

484. Обмотка соленоида содержит два слоя плотно прилегающих друг к другу витков провода диаметром $d=0,2$ мм. Определить магнитную индукцию B на оси соленоида, если по проводу идет ток $I=0,5$ А.

485. В однородном магнитном поле с индукцией $B=0,01$ Тл помещен

прямой проводник длиной $l=20$ см (подводящие провода находятся вне поля). Определить силу F , действующую на проводник, если по нему течет ток $I=50$ А, а угол φ между направлением тока и вектором магнитной индукции равен 30° .

486. Рамка с током $I=5$ А содержит $N=20$ витков тонкого провода. Определить магнитный момент p_m рамки с током, если ее площадь $S=10$ см².

487. По витку радиусом $R=10$ см течет ток $I=50$ А. Виток помещен в однородное магнитное поле ($B=0,2$ Тл). Определить момент силы M , действующей на виток, если плоскость витка составляет угол $\varphi=60^\circ$ с линиями индукции.

488. Протон влетел в магнитное поле перпендикулярно линиям индукции и описал дугу радиусом $R=10$ см. Определить скорость v протона, если магнитная индукция $B=1$ Тл.

489. Определить частоту n обращения электрона по круговой орбите в магнитном поле ($B=1$ Тл).

490. Электрон в однородном магнитном поле движется по винтовой линии радиусом $R=5$ см и шагом $h=20$ см. Определить скорость v электрона, если магнитная индукция $B=0,1$ мТл.

491. Кольцо радиусом $R=10$ см находится в однородном магнитном поле ($B=0,318$ Тл). Плоскость кольца составляет с линиями индукции угол $\varphi=30^\circ$. Вычислить магнитный поток Φ , пронизывающий кольцо.

492. По проводнику, согнутому в виде квадрата со стороной $a=10$ см, течет ток $I=20$ А. Плоскость квадрата перпендикулярна магнитным силовым линиям поля. Определить работу A , которую необходимо совершить для того, чтобы удалить проводник за пределы поля. Магнитная индукция $B=0,1$ Тл. Поле считать однородным.

493. 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.

494. Рамка площадью $S=50$ см², содержащая $N=100$ витков, равномерно вращается в однородном магнитном поле ($B=40$ мТл). Определить максимальную ЭДС индукции E_{\max} , если ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции, а рамка вращается с частотой $n=960$ об/мин.

495. Кольцо из проволоки сопротивлением $R=1$ мОм находится в однородном магнитном поле ($B=0,4$ Тл). Плоскость кольца составляет с линиями индукции угол $\varphi=90^\circ$. Определить заряд q , который протечет по кольцу, если его выдернуть из поля. Площадь кольца $S=10$ см²

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

497. На картонный каркас длиной $l=50$ см и площадью сечения $S=4$ см² намотан в один слой провод диаметром $d=0,2$ мм так, что витки плотно прилегают друг к другу (толщиной изоляции пренебречь). Определить индуктивность L получившегося соленоида.

498. Определить силу тока в цепи через $t=0,01$ с после ее размыкания. Сопротивление цепи $R=20$ Ом и индуктивность $L=0,1$ Гн. Сила тока до размыкания цепи $I_0=50$ А.

499. По обмотке соленоида индуктивностью $L=0,2$ Гн течет ток $I=10$ А. Определить энергию W магнитного поля соленоида. Чему равна индуктивность соленоида, у которого энергия поля больше в 4 раза, если по его обмотке течет ток, равный 5 А?

3. ТАБЛИЦЫ ВАРИАНТОВ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ.

Для ИПФ, МСФ, ПСФ

1. Таблица вариантов для специальностей, учебными планами которых предусмотрено по курсу общей физики три контрольные работы (в том числе по разделу “Электричество и магнетизм” одна контрольная работа).

Контрольная работа 2

Вариант	Номера задач							
	0	300	320	330	350	400	410	440
1	301	321	331	351	401	411	441	461
2	302	322	332	352	402	412	442	462
3	303	323	333	353	403	413	443	463
4	304	324	334	354	404	414	444	464
5	305	325	335	360	405	420	450	470
6	306	326	340	361	406	421	451	471
7	307	327	341	362	407	422	452	472
8	308	328	342	363	408	423	453	473
9	309	329	343	364	409	424	454	474
11*	389	391	336	355	470	415	445	465
12*	390	392	344	365	471	425	455	475

2. Таблицы вариантов для специальностей, учебными планами которых предусмотрено по курсу общей физики шесть контрольных работ (в том числе по разделу “Электричество и магнетизм” две контрольные работы).

Контрольная работа N 3

Вариант	Номера задач							
	0	300	310	320	330	340	350	360
1	301	311	321	331	341	351	361	371
2	302	312	322	332	342	352	362	372
3	303	313	323	333	343	353	363	373
4	304	314	324	334	344	354	364	374
5	305	315	325	335	345	355	365	375
6	306	316	326	336	346	356	366	376
7	307	317	327	337	347	357	367	377
8	308	318	328	338	348	358	368	378
9	309	319	329	339	349	359	369	379
11*	381	383	385	387	389	391	393	395
12*	382	384	386	388	390	392	394	396

Контрольная работа N 4

Вариант	Номера задач							
	0	400	410	420	430	440	450	460
1	401	411	421	431	441	451	461	471
2	402	412	422	432	442	452	462	472
3	403	413	423	433	443	453	463	473
4	404	414	424	434	444	454	464	474
5	405	415	425	435	445	455	465	475
6	406	416	426	436	446	456	466	476
7	407	417	427	437	447	457	467	477
8	408	418	428	438	448	458	468	478
9	409	419	429	439	449	459	469	479
11*	481	483	485	487	489	491	493	495
12*	482	484	486	488	490	492	494	496

Варианты 11*,12* являются дополнительными и могут быть назначены преподавателем индивидуально.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Основные физические постоянные

Элементарный заряд	e	$1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл
Скорость света в вакууме	c	$3,00 \cdot 10^8$ м/с
Постоянная Планка	h	$6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж с
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м
Магнетон Бора	μ_B	$0,927 \cdot 10^{-23}$ А м ²

3. Диэлектрическая проницаемость

Вещество	ϵ
Воск	7,8
Вода	81
Керосин	2
Масло	2,2
Парафин	2,0
Слюда	6
Стекло	6
Фарфор	6
Эбонит	2,6

3. Удельное сопротивление металлов (при 0°C)

Металл	ρ , Ом м
Алюминий	$2,53 \cdot 10^{-8}$
Графит	$3,9 \cdot 10^{-8}$
Железо	$8,7 \cdot 10^{-8}$
Медь	$1,7 \cdot 10^{-8}$
Нихром	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Ртуть	$9,4 \cdot 10^{-7}$
Свинец	$2,2 \cdot 10^{-7}$
Серебро	$1,6 \cdot 10^{-8}$
Сталь	$1,0 \cdot 10^{-7}$

4. Масса покоя некоторых частиц

Частица	m_0	
	кг	а.е.м.
Электрон	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,00055
Протон	$1,672 \cdot 10^{-27}$	1,00728
Нейтрон	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00867
Дейтрон	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355
α -частица	$6,64 \cdot 10^{-27}$	4,00149

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

Наименование	Обозначение	Множитель	Наименование	Обозначение	Множитель
Экса	Э	10^{18}	деци	д	10^{-1}
Пэта	П	10^{15}	санتي	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}

6. Греческий алфавит

Обозначения букв	Название букв	Обозначения букв	Название букв	Обозначения букв	Названия букв
А, α	альфа	Ι, ι	йота	Ρ, ρ	ро
В, β	бета	Κ, κ	каппа	Σ, σ	сигма
Г, γ	гамма	Λ, λ	лямбда	Τ, τ	тау
Δ, δ	дэльта	Μ, μ	ми	Υ, υ	ипсилон
Ε, ϵ	эпсилон	Ν, ν	ню	Φ, ϕ	фи
Ζ, ζ	дзета	Ξ, ξ	кси	Χ, χ	хи
Η, η	эта	Ο, \omicron	омикрон	Ψ, ψ	пси
Θ, θ	тэта	Π, π	пи	Ω, ω	омега

СОДЕРЖАНИЕ

Общие методические указания к выполнению контрольных работ.....	3
Раздел “Электричество и магнетизм” рабочей программы курса общей физики.....	6
Рекомендуемая литература.....	9
Учебные материалы.....	10
1. Электростатика, постоянный ток.....	10
1.1. Основные понятия и формулы.....	10
1.2. Контрольные задачи к разделу 1.....	16
2. Электромагнетизм.....	30
2.1. Основные понятия и формулы.....	30
2.2. Контрольные задачи к разделу 2.....	34
3. Таблицы вариантов контрольных работ....	49
Приложения.....	51

Учебное издание

БУМАЙ Юрий Александрович
ВИЛЬКОЦКИЙ Вольдемар Антонович
ДОМАНЕВСКИЙ Дмитрий Сергеевич
ЖУРАВКЕВИЧ Евгений Владимирович
МАЛАХОВСКАЯ Вера Эдуардовна
НОВОСЕЛОВ Анатолий Михайлович
ЧАПЛАНОВ Аркадий Михайлович
ЧЕРНЫЙ Владимир Владимирович

КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОБЩЕЙ
ФИЗИКЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-
ТЕХНИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ
СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

В трех частях

ЧАСТЬ II “ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ”

Редактор,

Подписано в печать

Формат 60 × 84 1/16. Бумага тип. №2. Офсет печать.

Усл.печ.л. ... Уч.-изд.л. 1,1. Тираж 100. Заказ

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусская государственная политехническая академия

Лицензия ЛВ № 155 от 30.01.98. 220027, Минск, пр. Ф.Скорины, 65.