

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ИЖЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра Профессиональная педагогика

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ФИЗИКЕ

**для студентов-заочников
инженерно-технических и инженерно-педагогических
специальностей**

ИЖЕВСК - 2006

Рекомендовано в качестве методического пособия студентам-заочникам инженерно-технических и инженерно-педагогических специальностей решением кафедры “Профессиональная педагогика” ИжГТУ (протокол № от апреля 2006 г)

Составители: канд.физ.-мат.наук, доцент Булатова Е.Г.
канд.физ.-мат.наук, доцент Бузилов С.В.

Рецензенты: канд.физ.-мат.наук, д-р пед.наук, профессор
Черепанов В.С.

© Е.Г. Булатова, 2006

© С.В. Бузилов, 2006

© Издательство ИжГТУ, 2006

Введение

Среди естественных наук одно из важнейших мест занимает физика. Она имеет дело с исходными, наиболее общими фундаментальными закономерностями природы, на основе которых создают свои теоретические построения и совершенствуют свои экспериментальные методы естественные и прикладные науки. Это предопределяет значение курса физики в программах высшей школы, особенно высших технических учебных заведений. На протяжении последних трех столетий развитие техники тесно переплеталось с развитием физики, которая предваряла принципиально новые направления в технике. Наблюдаемый сегодня прогресс во всех областях естествознания связан с проникновением в них физических представлений и методов исследования. И поэтому физика принадлежит к числу фундаментальных наук, составляющих основу теоретической подготовки инженеров и играющих роль той базы, без которой невозможна успешная деятельность инженера в любой области современной техники.

Физика есть наука, изучающая простейшие и вместе с тем наиболее общие закономерности явлений природы, свойства и строение материи, наиболее общие и простые формы движения материи (механические, тепловые, электромагнитные и др.) и их взаимные превращения. Главная цель физики – выявить и объяснить законы природы, которыми определяются все физические явления. Физика - это наука, в которой создаются представления об единстве всего окружающего нас мира. Занимая центральное место среди других наук в объяснении законов природы, физика играет первостепенную роль в формировании научного материалистического мировоззрения, целостной физической картины окружающего нас мира. Физика в наши дни становится важным элементом культуры современной цивилизации.

Основными задачами курса физики в вузах являются:

1. Формирование у студентов диалектико-материалистических представлений об явлениях и процессах, происходящих в природе, что способствует развитию научного мышления, в частности, правильного понимания границ приме-

нимости различных физических понятий, законов, теорий и умения оценивать степень достоверности результатов, полученных с помощью экспериментальных методов исследования. Конкретные физические примеры как нельзя лучше убеждают в том, что знание философии, повседневное применение ее законов являются одним из существенных залогов успешного развития науки и техники, прогресса человеческого общества.

2. Усвоение основных физических явлений, их механизмов, законов классической и современной физики, методов физического исследования - теоретического фундамента будущей специальности студентов. Эти знания позволят будущим инженерам ориентироваться в потоке научной и технической информации и обеспечат им возможность использования новых физических принципов в тех областях техники, в которых они специализируются. Правильное представление о природе физических явлений особенно важно при постановке новых вопросов, которые всегда возникают в процессе практической деятельности инженера.
3. Выработка у студентов приемов и навыков решения конкретных задач из разных областей физики, помогающих студентам в дальнейшем решать инженерные задачи.
4. Ознакомление студентов с научной аппаратурой, выработка у студентов начальных навыков проведения экспериментальных исследований различных физических явлений и оценки погрешностей измерений.

Цель настоящего учебно-методического пособия – оказать помощь студентам-заочникам инженерно-технических и инженерно-педагогических специальностей вуза в изучении раздела курса физики «Электричество и магнетизм».

По данному разделу физики в пособии приведена контрольная работа. Перед контрольным заданием приводятся основные законы и формулы, примеры решения задач. Кроме того, в пособии приведены общие методические указания, рабочая программа по указанному разделу физики, примерная схема решения задач, задачи для самостоятельного решения и некоторые справочные материалы.

Сведения, связанные со спецификой изучения курса физики в рамках конкретной специальности данного вуза, сообщаются студентам дополнительно преподавателем.

Общие методические указания

Основной формой обучения студента – заочника является самостоятельная работа над учебным материалом. Для облегчения этой работы организуется чтение лекций, проведение практических занятий и лабораторных работ. Поэтому процесс изучения физики состоит из следующих этапов: 1) проработка установочных и обзорных лекций; 2) самостоятельная работа над учебниками и учебными пособиями; 3) выполнение контрольных работ; 4) прохождение лабораторного практикума; 5) сдача зачетов и экзаменов.

При самостоятельной работе над учебным материалом необходимо:

- 1) составлять конспект, в котором записывать законы и формулы, выражающие эти законы, определения основных физических понятий и сущность физических явлений и методов исследования;
- 2) изучать курс физики систематически, т. к. в противном случае материал будет усвоен поверхностно;
- 3) стараться пользоваться каким-то одним учебником или учебным пособием (или ограниченным числом пособий), чтобы не утрачивалась логическая связь между отдельными вопросами изучаемого раздела курса.

Контрольная работа позволяет закрепить теоретический материал. Решение задач в контрольной работе является проверкой степени усвоения студентом теоретического курса, а рецензии на работу помогают ему доработать и правильно освоить изучаемый раздел курса физики. Перед выполнением контрольной работы студенту необходимо внимательно ознакомиться с примерами решения задач по данной контрольной работе, уравнениями и формулами, а также со справочными материалами. Прежде чем приступить к решению той или иной задачи, студент должен хорошо понять ее содержание и поставленные в ней вопросы.

В данное методическое пособие включена одна контрольная работа по разделу курса физики «Электричество и магнетизм». Вариант контрольной работы соответствует двум последним цифрам студенческого билета (зачетной книжки). Определение задач, соответствующих варианту, проводится по представленной ниже таблице вариантов.

Вариант	Номера задач в контрольной работе									
1	1	11	21	31	41	51	61	71	81	91
2	2	12	22	32	42	52	62	72	82	92
3	3	13	23	33	43	53	63	73	83	93
4	4	14	24	34	44	54	64	74	84	94
5	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
6	6	16	26	36	46	56	66	76	86	96
7	7	17	27	37	47	57	67	77	87	97
8	8	18	28	38	48	58	68	78	88	98
9	9	19	29	39	49	59	69	79	89	99
10	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
11	10	12	23	34	45	56	67	78	89	100
12	2	13	24	35	46	57	68	79	90	91
13	3	14	25	36	47	58	69	80	81	92
14	4	15	26	37	48	59	70	71	82	93
15	5	16	27	38	49	60	61	72	83	94
16	6	17	28	39	50	51	62	73	84	95
17	7	18	29	40	41	52	63	74	85	96
18	8	19	30	31	42	53	64	75	86	97
19	9	20	21	32	43	54	65	76	87	98
20	1	11	22	33	44	55	66	77	88	99

При выполнении контрольной работы необходимо соблюдать следующие правила:

- 1) контрольную работу выполнять в тетради;
- 2) на титульном листе указывать номер контрольной работы, номер варианта (последняя цифра номера студенческого билета), наименование дисциплины, фамилию и инициалы студента, шифр специальности и номер группы;

- 3) контрольную работу следует выполнять аккуратно, оставляя поля для замечаний рецензента;
- 4) задачу своего варианта переписывать полностью без сокращений, а заданные физические величины выписать отдельно, при этом все числовые величины должны быть переведены в систему СИ;
- 5) для пояснения решения задачи, где это нужно, аккуратно сделать чертеж;
- 6) решение задач и используемые формулы должны сопровождаться краткими пояснениями, в пояснениях к задаче необходимо указывать те основные формулы и законы, на которых базируется решение данной задачи;
- 7) решение задачи необходимо сначала сделать в общем виде, т. е. только в буквенных обозначениях, поясняя применяемые при написании формул буквенные обозначения; при получении расчетной формулы, которая нужна для решения конкретной задачи, обязательно приводить ее вывод;
- 8) вычисления следует проводить путем подстановки заданных числовых величин в расчетную формулу; все числовые значения величин, необходимые для решения данной задачи, должны быть выражены в системе СИ;
- 9) проверить единицы измерения величин по расчетной формуле и тем самым подтвердить правильность ее;
- 10) константы (постоянные) физических величин и другие справочные данные выбираются из таблиц;
- 11) при вычислениях используйте калькулятор, точность расчета определяется числом значащих цифр исходных данных;
- 12) в контрольной работе следует указывать учебники и учебные пособия, которые использовались при решении задач;
- 13) если контрольная работа преподавателем не зачтена, то необходимые дополнения и исправления следует выполнять в той же тетради в конце работы; исправления в тексте незачтенной задачи не допускаются;

- 14) буквенные обозначения величин, используемые при решении задач, должны соответствовать общепринятым;
- 15) контрольная работа сдается на проверку не позднее, чем за месяц до начала экзаменационной сессии; сдача работ в период сессии не допускается.

Контрольные работы, представленные без соблюдения указанных правил, а также работы, выполненные не по своему варианту, рассматриваться не будут.

При возвращении работы на повторное рецензирование обязательно представлять работу с первой рецензией.

Во время экзаменационно-лабораторных сессий проводятся лабораторные работы. Цель лабораторного практикума заключается в приобретении соответствующих навыков в проведении физических экспериментов, в обращении с физическими приборами, в опытной проверке основных физических законов, что способствует более глубокому овладению теоретическим материалом.

На экзаменах и зачетах в первую очередь выясняется усвоение основных теоретических положений программы и умение творчески применять полученные знания к решению практических задач. Физическая сущность явлений, законов, процессов должна излагаться четко и достаточно подробно; решать задачи необходимо без ошибок и уверенно. Любая графическая работа должна быть выполнена аккуратно и четко. Только при выполнении этих условий знания по курсу физики могут быть признаны удовлетворительными.

Литература

- Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высш. шк., 1985 и др.
- Шубин А.С. Курс общей физики. М.: Высш. шк., 1976.
- Савельев И.В. Курс общей физики. В 3-х т. М.: Наука, 1989 и др.
- Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. М.: Высш. шк., 1989 и др.
- Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике. М.: Высш. шк., 1981 и др.
- Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики. М.: Высш. шк., 1996 и др.
- Фирганг Е.В. Руководство к решению задач по курсу общей физики. М.: Высш. шк., 1978.
- Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. М.: Наука, 1985.
- Кибец И.Н., Кибец В.И. Физика: Справочник. Харьков: Фолио; Ростов н/Д: Феникс, 1997.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Содержание рабочей программы определено Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования Российской Федерации.

Электростатика

Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона. Электростатическое поле и его напряженность. Принцип суперпозиции полей. Поток вектора напряженности. Теорема Остроградского – Гаусса для электростатического поля в вакууме и ее применение для расчета полей.

Работа сил поля при перемещении заряда. Понятие циркуляции вектора напряженности поля. Потенциальность электростатического поля. Потенциальная энергия заряда и потенциал поля в некоторой точке. Разность потенциалов. Связь между напряженностью и разностью потенциалов.

Электростатическое поле в веществе. Диэлектрики и их типы. Электронная и ориентационная поляризации. Вектор поляризации. Напряженность поля в диэлектрике. Теорема Остроградского – Гаусса для электростатического поля в диэлектрике. Электрическое смещение. Диэлектрическая проницаемость среды.

Проводники в электростатическом поле. Распределение зарядов в проводнике, поле внутри проводника и у его поверхности. Емкость уединенного проводника. Конденсаторы. Энергия системы неподвижных точечных зарядов, заряженного проводника, электрического поля. Объемная плотность энергии.

Постоянный электрический ток

Постоянный электрический ток и его характеристики: сила тока, плотность тока. Условия существования электрического тока. Классическая электронная теория электропроводности металлов. Вывод закона Ома и закона Джоуля - Лен-

ца в дифференциальной форме из электронных представлений. Обобщенный закон Ома в интегральной форме. Разность потенциалов, электродвижущая сила, напряжение. Ток в газах. Плазма. Работа выхода электронов из металла. Термоэлектронная эмиссия.

Магнетизм

Магнитное поле и его характеристики: магнитная индукция, напряженность магнитного поля. Закон Ампера. Контур с током в магнитном поле. Закон Био-Савара-Лапласа и его применение к расчету полей. Вихревой характер магнитного поля. Теорема о циркуляции вектора магнитной индукции (закон полного тока). Понятие о магнитном потоке. Работа перемещения проводника и контура с током в магнитном поле. Движение заряженных частиц в магнитном поле. Сила Лоренца. Ускорители заряженных частиц. Эффект Холла.

Явление электромагнитной индукции. Закон Фарадея - Ленца и его вывод из электронных представлений. Явление самоиндукции. Индуктивность соленоида. Токи при замыкании и размыкании цепи. Энергия магнитного поля. Объемная плотность энергии магнитного поля.

Описание магнитного поля в веществе. Классификация материалов по магнитным свойствам. Магнитные моменты атомов. Намагниченность. Элементарная теория диамагнетизма. Парамагнетики. Классическая теория Ланжевена. Магнитная восприимчивость и магнитная проницаемость вещества. Ферромагнетики и их основные свойства. Доменная природа ферромагнетизма.

Основы теории Максвелла для электромагнитного поля. Обобщение закона электромагнитной индукции. Первое уравнение Максвелла. Ток смещения. Обобщение закона полного тока. Второе уравнение Максвелла. Система уравнений Максвелла и их физическое содержание. Следствия из уравнений Максвелла. Значение электромагнитной теории Максвелла.

Электромагнитные колебания и волны

Электрический колебательный контур. Свободные незатухающие и затухающие электромагнитные колебания в колебательном контуре. Дифференциальное уравнение затухающих колебаний, его решение и анализ. Вынужденные электромагнитные колебания. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний и его решение. Амплитуда и фаза вынужденных колебаний. Явление резонанса.

Электромагнитные волны и их свойства. Дифференциальное уравнение электромагнитной волны. Энергия электромагнитных волн. Поток энергии. Вектор Умова-Пойнтинга.

Примерная схема решения задач

К сожалению, не существует единого алгоритма, который позволил бы решить любую физическую задачу. Однако, можно рекомендовать определенную последовательность при решении задач.

Приступая к решению задач по какому-либо разделу, необходимо ознакомиться по учебной литературе и данному методическому пособию с конкретными понятиями и соотношениями этого раздела. Разобрать приведенные в пособии примеры решения задач изучаемого раздела.

При решении задач целесообразно придерживаться следующей схемы:

- 1) по условию задачи представьте себе физическое явление, о котором идет речь. Сделайте краткую запись условия, выразив исходные данные в единицах СИ;
- 2) сделайте, если это необходимо чертеж, схему или рисунок, поясняющий описанный в задаче процесс;
- 3) напишите уравнения или систему уравнений, отображающие физический процесс;
- 4) используя чертежи и условие задачи, преобразуйте уравнения так, чтобы в них входили лишь исходные данные и табличные величины;

- 5) решив задачу в общем виде, проверьте ответ по равенству размерностей величин, входящих в расчетную формулу;
- 6) произведите вычисления и, получив числовой ответ, оцените его реальность.

Задачи для самостоятельного решения

1. Вычислить ускорение a , сообщаемое одним электроном другому, находящемуся от первого на расстоянии $r=100$ мм. [Ответ: $a = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2 m_e} = 2,5 \cdot 10^8 \text{ м/с}^2$]
2. В вершинах правильного шестиугольника со стороной a помещаются точечные заряды одинаковой величины q . Найти потенциал φ и напряженность поля \vec{E} в центре шестиугольника при условии, что: а) знак всех зарядов одинаков, б) знаки соседних зарядов противоположны. [Ответ: а) $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{6q}{a}$; $E = 0$; б) $\varphi = 0$; $E = 0$]
3. Найти потенциал φ и напряженность поля E в центре полусферы радиуса R , заряженной с постоянной поверхностной плотностью σ . Положить $\epsilon=1$. [Ответ: $\varphi = \frac{R\sigma}{2\epsilon_0}$; $E = \frac{\sigma}{4\epsilon_0}$. Указание. Для нахождения E поместить в центр полусферы начало сферической системы координат, разбить поверхность полусферы на полоски площади $dS = 2\pi R^2 \sin \vartheta d\vartheta$].
4. Найти взаимную потенциальную энергию W для каждой из систем точечных зарядов, изображенных на рис. 1. Все заряды одинаковы по абсолютной величине и располагаются в вершинах квадрата со стороной a . [Ответ: а) $W = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{a} (\sqrt{2} + 4)$; б) $W = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{a} (\sqrt{2} - 4)$; в) $W = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{a} \sqrt{2}$]

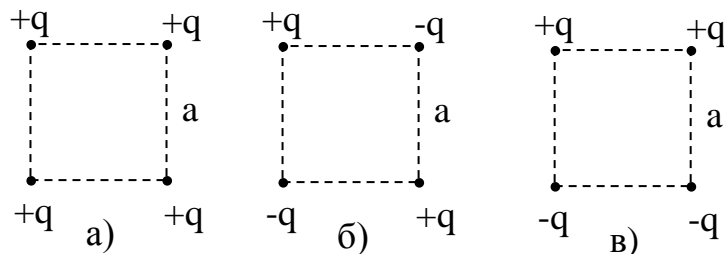


Рис. 1

5. На два последовательно соединенных конденсатора $C_1=100$ пФ и $C_2=200$ пФ подано постоянное напряжение $U=300$ В. Определить напряжения U_1 и U_2 на конденсаторах и заряд q на их обкладках. Какова емкость C системы? [Ответ: $U_1=200$ В; $U_2=100$ В; $q=2 \cdot 10^{-8}$ Кл; $C=66$ пФ]
6. В однородное электрическое поле напряженностью $E=1$ кВ/м влетает вдоль силовой линии электрон со скоростью $v_0=1$ Мм/с. Определить расстояние l , пройденное электроном до точки, в которой его скорость v_1 будет равна половине начальной. [Ответ: $l = \frac{3m v_1^2}{|e| E} = 2,13$ мм]
7. Определить плотность тока j в железном проводнике длиной $l=10$ м, если провод находится под напряжением $U=6$ В. [Ответ: $j=6,1 \cdot 10^6$ А/м²]
8. На рис. 2 изображена бесконечная цепь, образованная повторением одного и того же звена, состоящего из сопротивлений $R_1=2$ Ом и $R_2=4$ Ом. Найти сопротивление R этой цепи. [Ответ: $R = \frac{R_1}{2} + \sqrt{\frac{R_1^2}{4} + R_1 R_2} = 4$ Ом. Указание: Поскольку цепь бесконечна, все звенья, начиная со второго, могут быть заменены сопротивлением, равным искомому сопротивлению R].
9. Требуется изготовить нагревательную спираль для электрической плитки мощностью $0,50$ кВт, предназначенной для включения в цепь с напряжением 220 В. Сколько (в метрах) нужно взять для этого нихромовой проволоки диаметром $0,40$ мм? Удельное сопротивление нихрома в нагретом состоянии $\rho=1,05 \cdot 10^{-6}$ Ом·м. [Ответ: 12 м.]
10. Э.д.с. батареи аккумуляторов, э.д.с. $\mathcal{E}=12$ В, сила тока короткого замыкания равна 5 А. Какую наибольшую мощность P_{\max} можно получить во внешней цепи, соединенной с такой батареей? [Ответ: 15 Вт].
11. Ток силы $I=6,28$ А циркулирует в контуре, имеющем форму равнобокой трапеции (рис. 3). Отношение оснований трапеции равно $2,00$. Найти магнитную индукцию B в точке A , лежащей в плоскости трапеции. Меньшее основание трапеции $l=100$ мм, расстояние $b=50,0$ мм. [Ответ: $B = \mu_0 \frac{I}{4\pi b} \frac{l}{\sqrt{l^2 + 4b^2}} = 8,9 \cdot 10^{-6}$ Тл]
12. По объему однородного шара массы m и радиуса R равномерно распределен заряд q . Шар приводится во вращение вокруг своей оси с угловой скоростью ω . Найти возникающее в результате вращения момент количества движения (механический момент) M , магнитный момент p_m и отношение маг-

нитного момента к механическому моменту. [Ответ: $M = \frac{2}{5} mR^2 \omega$;

$$p_m = \frac{1}{5} qR^2 \omega; \frac{P_m}{M} = \frac{q}{2m}]$$

13. Ион, несущий один элементарный заряд, движется в однородном магнитном поле с индукцией $B=0,015$ Тл по окружности радиусом $R=10$ см. Определить импульс p иона. [Ответ: $p=2,4 \cdot 10^{-22}$ кг·м/с]

14. Электрон движется в магнитном поле с индукцией $B=0,02$ Тл по окружности радиусом $R=1$ см. Определить кинетическую энергию T электрона (в джоулях и электрон-вольтах). [Ответ: $T = \frac{B^2 r^2 e^2}{2m_e} = 0,563$ фДж]

15. По кольцу, сделанному из тонкого гибкого провода радиусом $R=10$ см, течет ток силой $I=100$ А. Перпендикулярно плоскости кольца возбуждено магнитное поле с индукцией $B=0,1$ Тл, по направлению совпадающей с индукцией B_1 собственного магнитного поля кольца. Определить работу A внешних сил, которые, действуя на провод, деформировали его и придали ему форму квадрата. Сила тока при этом поддерживалась неизменной. Работой против упругих сил пренебречь. [Ответ: $A = \frac{\pi}{BR^2 \left(1 - \frac{\pi}{4}\right)} = 67,5$ мДж]

16. Проволочный виток радиусом $r = 4$ см, имеющий сопротивление $R=0,01$ Ом, находится в однородном магнитном поле с индукцией $B=0,04$ Тл. Плоскость рамки составляет угол $\alpha=30^\circ$ с линиями индукции поля. Какое количество электричества Q протечет по витку, если магнитное поле исчезнет? [Ответ: $Q = \frac{\pi Br^2}{R} \cos \alpha = 10$ мКл]

17. Замкнутый контур в виде рамки с площадью $S=60,0$ см² равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией $B=2,00 \cdot 10^{-2}$ Тл, делая в секунду $n=20$ оборотов. Ось вращения и направление поля взаимно перпендикулярны. Определить амплитудное ε_m и действующее ε значения э.д.с. в контуре. [Ответ: $\varepsilon_m = 2\pi nBS = 15,1$ мВ; $\varepsilon = \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{2}} = 10,7$ мВ]

18. Переменное напряжение, действующее значение которого $U=220$ В, а частота $\nu=50$ Гц, подано на катушку без сердечника с индуктивностью $L=3,18 \cdot 10^{-2}$ Гн и активным сопротивлением $R=10,0$ Ом. а) Найти количество тепла Q , выделяющееся в катушке за секунду; б) Как измениться Q , если последова-

тельно с катушкой включить конденсатор емкостью $C = 3,18 \cdot 10^{-5}$ Ф? [От-

вет: а) $Q = \frac{RU^2}{R^2 + 4\pi^2 v^2 L^2} = 2,4 \cdot 10^3$ Дж/с; б) увеличится в $\sqrt{2}$ раз.]

19. В среде с $\epsilon=4,00$ и $\mu=1,00$ распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда электрического вектора волны $E_m=200$ В/м. На пути волны располагается поглощающая поверхность, имеющая форму полусферы радиуса $r=300$ мм, обращенная своей вершиной в сторону распространения волны. Какую энергию W поглощает эта поверхность за время $t=1,00$ мин? [Ответ:

$W = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon\epsilon_0}{\mu\mu_0}} E_m^2 \pi r^2 t = 1,8 \cdot 10^3$ Дж. Указание. Воспользоваться тем, что t значительно больше периода волны T].

20. Индуктивность L колебательного контура равна $0,5$ мГн. Какова должна быть емкость C контура, чтобы он резонировал на длину волны $\lambda = 300$ м? [Ответ: 51 пФ]

1. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

Основные законы и формулы

Закон сохранения электрического заряда	$q_1 + q_2 + \dots + q_n = const$
Закон Кулона	$F = \frac{ q_1 \cdot q_2 }{4\pi\epsilon_0 r^2}$
Напряженность электрического поля	$E = \frac{F}{q}$
Напряженность электрического поля:	
точечного заряда	$E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$
бесконечно длинной заряженной нити	$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0 r}$
равномерно заряженной плоскости	$E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0}$
Линейная плотность заряда	$\tau = \frac{dq}{dl}$
Поверхностная плотность заряда	$\sigma = \frac{dq}{dS}$
Напряженность электрического поля, создаваемого металлической заряженной сферой радиусом R на расстоянии r от ее центра:	

на поверхности сферы ($r=R$)	$E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R^2}$
вне сферы ($r>R$)	$E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$
Электрическое смещение	$D = \epsilon\epsilon_0 E$
Поток напряженности электрического поля	$\Phi = \int_S E_n dS$
Теорема Остроградского-Гаусса	$\oint_S E_n dS = \frac{1}{\epsilon_0} \sum q_i$
Работа перемещения заряда в электрическом поле из точки 1 в точку 2	$A = q \int_1^2 E_l dl$ $A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$
Работа перемещения заряда q_1 в электрическом поле заряда q_2 из точки 1 в точку 2 поля	$A = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_1} - \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_2}$
Потенциальная энергия взаимодействия двух точечных зарядов	$W = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}$
Потенциал электрического поля	$\varphi = \frac{W}{q}$
Потенциал электрического поля, создаваемого точечным зарядом	$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}$
Потенциал электрического поля металлической полой сферы радиусом R на расстоянии r от центра сферы:	
на поверхности и внутри сферы ($r \leq R$)	$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R}$
вне сферы ($r > R$)	$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}$
Связь потенциала с напряженностью поля	$E_l = -\frac{d\varphi}{dl}$ $E = -grad\varphi$
Электроемкость:	
уединенного проводника	$c = \frac{q}{\varphi}$
плоского конденсатора	$c = \frac{q}{U}$ $c = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$
Электроемкость батареи конденсаторов, соединенных	
параллельно	$c = c_1 + c_2 + \dots + c_n$
последовательно	$\frac{1}{c} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \dots + \frac{1}{c_n}$

Энергия:	
электрического поля	$W_3 = \frac{\varepsilon_0 E^2 V}{2} = \frac{EDV}{2} = \frac{D^2 V}{2\varepsilon_0}$
заряженного проводника	$W_3 = \frac{c\varphi^2}{2} = \frac{q^2}{2c} = \frac{q\varphi}{2}$
заряженного конденсатора	$W_3 = \frac{cU^2}{2} = \frac{q^2}{2c} = \frac{qU}{2}$
Объемная плотность энергии электрического поля	$W_3 = \frac{\varepsilon_0 E^2}{2} = \frac{ED}{2} = \frac{D^2}{2\varepsilon_0}$
Сила тока	$I = \frac{dq}{dt}$
Плотность тока	$j = \frac{dI}{dS}$
Закон Ома для однородного участка цепи	$I = \frac{U}{R}$
Закон Ома для замкнутой (полной) цепи	$I = \mathcal{E}/(R+r)$
Закон Ома в дифференциальной форме	$j = \gamma E = \frac{E}{\rho}$
Закон Джоуля-Ленца	$Q = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t = I U t$
Сопротивление однородного проводника	$R = \frac{\rho \cdot l}{S}$
Удельная проводимость	$\gamma = \frac{1}{\rho}$
Зависимость удельного сопротивления от температуры	$\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$
Работа тока	$A = I U t = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t$
Полная мощность, выделяющаяся в цепи	$N = I \mathcal{E} = \mathcal{E}^2 / (R+r)$
Правила Кирхгофа:	$\sum I = 0$ $\sum IR = \sum \mathcal{E}$
Общее сопротивление:	
при последовательном соединении проводников	$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$
при параллельном соединении проводников	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$
Закон Ампера	$F = I B l \sin \alpha$
Механический момент, действующий на контур с током, помещенный в магнитное поле	$M = p_m B \sin \alpha$
Магнитный момент контура с током	$p_m = I S$
Связь магнитной индукции с напряженностью магнитного поля	$B = \mu \mu_0 H$

Закон Био-Савара-Лапласа	$dB = \frac{\mu\mu_0 I \sin \alpha}{4\pi r^2} dl$
Магнитная индукция:	
в центре кругового тока	$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2R}$
поля, созданного бесконечно длинным прямым проводником с током	$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r}$
поля, созданного отрезком проводника с током	$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$
поля бесконечно длинного соленоида и тороида	$B = \mu\mu_0 nI$
Сила взаимодействия двух прямолинейных бесконечно длинных параллельных проводников с током	$F = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi d}$
Закон полного тока	$\oint_L B dl = \mu_0 \sum I$
Сила Лоренца	$F = qvB \sin \alpha$
Магнитный поток однородного магнитного поля	$\Phi = BS \cos \alpha$
Работа по перемещению контура с током в магнитном поле	$A = I\Delta\Phi$
Основной закон электромагнитной индукции	$\varepsilon_i = -N \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\psi}{dt}$
Потокоцепление	$\psi = N\Phi$
Потокоцепление соленоида	$\psi = LI$
Электродвижущая сила самоиндукции	$\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt}$
Индуктивность соленоида	$L = \mu\mu_0 n^2 lS$
Мгновенное значение силы тока в цепи, обладающей сопротивлением R и индуктивностью L	$I = I_0 \exp\left(-\frac{R}{L}t\right) + \frac{\varepsilon}{R} \left[1 - \exp\left(-\frac{R}{L}t\right)\right]$
Энергия магнитного поля	$W = \frac{LI^2}{2}$
Объемная плотность энергии магнитного поля	$\omega = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} = \frac{BH}{2} = \frac{B^2}{2\mu\mu_0}$
Уравнение гармонических колебаний заряда на обкладках конденсатора в идеальном колебательном контуре	$q = q_0 \sin(\omega t + \varphi_0)$
Период электромагнитных колебаний в колебательном контуре	$T = 2\pi\sqrt{LC}$
Амплитуда тока при вынужденных колебаниях	$I_0 = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}}$

Фаза тока при вынужденных колебаниях	$tg \varphi = \frac{L\omega - 1/\omega c}{R}$
Резонансная частота	$\omega_{рез} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
Действующее значение тока	$I_{\partial} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$
Скорость электромагнитных волн в среде	$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}}$
Вектор Пойнтинга	$\vec{P} = [\vec{E} \times \vec{H}]$

Примеры решения задач

1. С какой силой F_l электрическое поле заряженной бесконечной плоскости действует на единицу длины заряженной бесконечно длинной нити, помещенной в это поле? Линейная плотность заряда на нити $\tau=3$ мкКл/м и поверхностная плотность заряда на плоскости $\sigma=20$ мкКл/м².

Дано:

$$\tau=3 \text{ мкКл/м}=3 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/м}$$

$$\sigma=20 \text{ мкКл/м}^2=20 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/м}^2$$

Найти:

F_l - ?

Решение:

Заряды плоскости и нити не точечные, они протяженные. Поэтому сила, с которой электрическое поле заряженной бесконечной плоскости действует на заряд бесконечно длинной нити, определяется по формуле: $F = qE$ (1)

Электрическое поле создается заряженной бесконечной плоскостью. Напряженность поля заряженной бесконечной плоскости определяется по формуле: $E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0}$ (2)

Заряд бесконечно длинной нити находится в поле заряженной бесконечной плоскости. Заряд бесконечно длинной нити определяется по формуле:

$$q = \tau \cdot l \quad (3)$$

Формула (1) с учетом (2) и (3) принимает вид:

$$F = \frac{\sigma \cdot \tau}{2\epsilon\epsilon_0} l. \text{ Тогда сила, действующая на единицу}$$

длины нити, равна $F_l = \frac{F}{l} = \frac{\sigma \cdot \tau}{2\epsilon\epsilon_0}$.

$$F_l = \frac{\sigma \cdot \tau}{2\epsilon\epsilon_0} = \frac{20 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} = 3,4 \text{ Н}$$

Ответ: $F_l = 3,4 \text{ Н}$

2. В вершинах квадрата со стороной $a=9,8$ см находятся точечные заряды $q_1=7,5$ нКл, $q_2=4,7$ нКл, $q_3=-7,5$ нКл и $q_4=3,9$ нКл. Найти силу, действующую на заряд q_4 .

Дано:

$$a=9,8 \text{ см}=0,098 \text{ м}$$

$$q_1=7,5 \text{ нКл}=7,5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

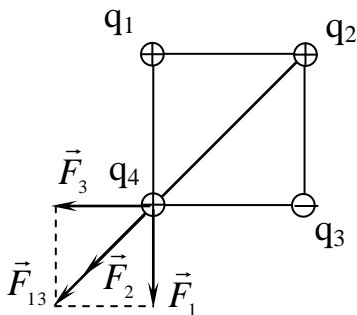
$$q_2=4,7 \text{ нКл}=4,7 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$q_3=-7,5 \text{ нКл}=-7,5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$q_4=3,9 \text{ нКл}=3,9 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

Найти:

F - ?



Решение:

В соответствии с принципом суперпозиции поле каждого из зарядов q_1 , q_2 и q_3 действует на заряд q_4 независимо друг от друга. Следовательно, результирующая сила будет равна векторной сумме сил, действующих на заряд q_4 со стороны зарядов q_1 , q_2 и q_3 :

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$$

Модуль силы, действующей на заряд q_4 со стороны заряда q_1 , равен:

$$F_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{|q_1| \cdot |q_4|}{a^2} = k \frac{|q_1| \cdot |q_4|}{a^2}$$

$$F_1 = 9 \cdot 10^9 \frac{7,5 \cdot 10^{-9} \cdot 3,9 \cdot 10^{-9}}{(0,098)^2} = 27,4 \cdot 10^{-6} \text{ Н}$$

Модуль силы, действующей на заряд q_4 со стороны заряда q_2 , равен:

$$F_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{|q_2| \cdot |q_4|}{2a^2} = k \frac{|q_2| \cdot |q_4|}{2a^2}$$

$$F_2 = 9 \cdot 10^9 \frac{4,7 \cdot 10^{-9} \cdot 3,9 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot (0,098)^2} = 8,6 \cdot 10^{-6} \text{ Н}$$

Модуль силы, действующей на заряд q_4 со стороны заряда q_3 , равен:

$$F_3 = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{|q_3| \cdot |q_4|}{a^2} = k \frac{|q_3| \cdot |q_4|}{a^2}$$

$$F_3 = 9 \cdot 10^9 \frac{7,5 \cdot 10^{-9} \cdot 3,9 \cdot 10^{-9}}{(0,098)^2} = 27,4 \cdot 10^{-6} \text{ Н}$$

Так как $F_1=F_3$, то их геометрическая сумма вектор \vec{F}_{13} направлен так же, как и вектор \vec{F}_2 . Следовательно, результирующая сила, действующая на заряд q_4 , равна:

$$F = F_2 + F_{13}, \text{ где } F_{13} = \sqrt{F_1^2 + F_3^2} = F_1 \sqrt{2}$$

$$F = 8,6 \cdot 10^{-6} + 27,4 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{2} = 47,3 \cdot 10^{-6} \text{ Н} = 47,3 \text{ мкН}$$

Ответ: $F = 47,3$ мкН

3. Расстояние между зарядами q_1 и q_2 , находящимися в вакууме, равно 8 см.

Определить напряженность и потенциал поля в точке, находящейся на расстоянии $r_1=6$ см от первого заряда и $r_2=4$ см от второго заряда. Рассмотреть случаи: а) $q_1=1$ нКл и $q_2=1$ нКл; б) $q_1=1$ нКл и $q_2=-1$ нКл.

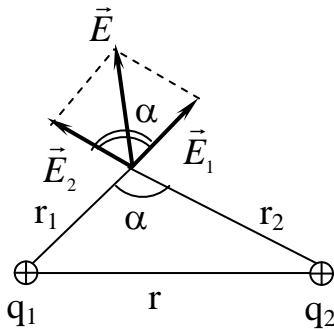
Дано:

$$\begin{aligned} r &= 8 \text{ см} = 0,08 \text{ м} \\ |q_1| &= |q_2| = 1 \text{ нКл} = \\ &= 1 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} \\ r_1 &= 6 \text{ см} = 0,06 \text{ м} \\ r_2 &= 4 \text{ см} = 0,04 \text{ м} \end{aligned}$$

Найти:

E - ?

φ - ?



Решение:

Поле создается двумя зарядами q_1 и q_2 , следовательно, в соответствии с принципом суперпозиции напряженность поля системы зарядов равна векторной сумме напряженностей полей, создаваемых каждым зарядом в отдельности: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$

а) Так как заряды q_1 и q_2 положительные, то вектора напряженности \vec{E}_1 и \vec{E}_2 направлены по линии напряженности от зарядов. Модуль вектора \vec{E} находится по теореме косинусов:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \alpha}, \quad (1)$$

где

$$\cos \alpha = \frac{r^2 - r_1^2 - r_2^2}{2r_1r_2} = \frac{0,0064 - 0,0036 - 0,0016}{2 \cdot 0,06 \cdot 0,04} = 0,25 \quad (2)$$

Напряженность поля точечного заряда:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} = k \frac{q}{\epsilon \cdot r^2}, \text{ где } \epsilon - \text{ диэлектрическая проница-$$

емость среды; ϵ_0 – электрическая постоянная; r – расстояние от заряда до точки поля, в которой определяется

его напряженность; $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ (Н} \cdot \text{м}^2\text{)/Кл}^2$ – коэф-

фициент пропорциональности.

Напряженность поля точечного заряда q_1 :

$$E_1 = \frac{q_1}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_1^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-9}}{36 \cdot 10^{-4}} = 2500 \text{ В/м} \quad (3)$$

Напряженность поля точечного заряда q_2 :

$$E_2 = \frac{q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_2^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-9}}{16 \cdot 10^{-4}} = 5625 \text{ В/м} \quad (4)$$

Подставляя (2), (3), и (4) в (1), найдем напряженность:

$$E = \sqrt{2500^2 + 5625^2 + 2 \cdot 2500 \cdot 5625 \cdot 0,25} = 6702 \text{ В/м}$$

Согласно принципу суперпозиции потенциал поля системы зарядов равен алгебраической сумме потенциалов полей, создаваемых каждым зарядом в отдельности:

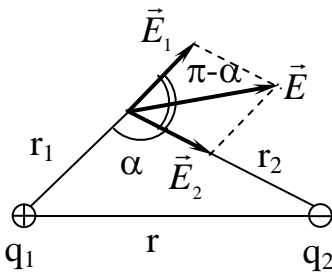
$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 \quad (5)$$

Потенциал поля точечного заряда: $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r} = k \frac{q}{\epsilon \cdot r}$

Следовательно,

$$\varphi = \frac{q_1}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_1} + \frac{q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-9}}{0,06} + \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-9}}{0,04} =$$

$$= 150 + 225 = 375 \text{ В}$$



б) Так как заряд q_1 положительный, то вектор напряженности \vec{E}_1 направлен по линии напряженности от заряда, а заряд q_2 отрицательный, то вектор напряженности \vec{E}_2 направлен по линии напряженности к заряду.

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

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos(\pi - \alpha)}, \quad (6)$$

где

$$\cos(\pi - \alpha) = -\cos\alpha = -0,25 \quad (7)$$

Напряженность поля точечного заряда q_1 определяется по формуле (3), напряженность поля точечного заряда q_2 определяется по формуле (4).

Подставляя (7), (3), и (4) в (6), найдем напряженность:

$$E = \sqrt{2500^2 + 5625^2 - 2 \cdot 2500 \cdot 5625 \cdot 0,25} = 5555 \text{ В/м}$$

Потенциал поля определяется согласно (5):

$$\varphi = \frac{q_1}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_1} + \frac{q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-9}}{0,06} + \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (-10^{-9})}{0,04} =$$

$$= 150 - 225 = -75 \text{ В}$$

Ответ: а) $E=6702 \text{ В/м}=6,7 \text{ кВ/м}$; $\varphi = 375 \text{ В}$;

б) $E=5555 \text{ В/м}=5,6 \text{ кВ/м}$; $\varphi = -75 \text{ В}$

4. Электростатическое поле создается положительно заряженной бесконечной нитью. Протон, двигаясь от нити под действием поля вдоль линии напряженности с расстояния $r_1=1 \text{ см}$ до $r_2=5 \text{ см}$, изменил свою скорость от 1 до 10 Мм/с. Определить линейную плотность заряда нити.

Дано:

$$r_1=1 \text{ см}=0,01 \text{ м}$$

$$r_2=5 \text{ см}=0,05 \text{ м}$$

$$v_1=1 \text{ Мм/с}=10^6 \text{ м/с}$$

$$v_2=10 \text{ Мм/с}=10 \cdot 10^6 \text{ м/с}$$

Найти:

τ - ?

Решение:

Работа, совершаемая силами электростатического поля при перемещении протона из точки 1 в точку 2:

$$A = q_p (\varphi_1 - \varphi_2), \quad (1)$$

где q_p – заряд протона.

Бесконечная равномерно заряженная нить с линейной плотностью заряда τ создает аксиально симметричное

поле напряженностью $E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0 r}$. Напряженность и

потенциал поля связаны соотношением $E = -\frac{d\varphi}{dr}$ и,

следовательно, $d\varphi = -E dr$. Разность потенциалов точек поля на расстоянии r_1 и r_2 от нити

$$\varphi_1 - \varphi_2 = -\int_{r_2}^{r_1} E dr = -\frac{\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \int_{r_2}^{r_1} \frac{dr}{r} = \frac{\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (2)$$

Подставляем (2) в формулу (1) и получаем:

$$A = \frac{q_p \tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (3)$$

С другой стороны, работа равна изменению кинетической энергии протона:

$$A = K_2 - K_1 = \frac{m v_2^2}{2} - \frac{m v_1^2}{2} \quad (4)$$

Приравняв выражения (3) и (4), найдем линейную плотность заряда нити:

$$\tau = \frac{\pi\epsilon\epsilon_0 m (v_2^2 - v_1^2)}{q_p \ln \frac{r_2}{r_1}} = \frac{3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} (10^{14} - 10^{12})}{1,6 \cdot 10^{-19} \ln 5} =$$

$$= 17,8 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/м}$$

Ответ: $\tau = 17,8 \text{ мкКл/м}$

5. Электрическое поле создано двумя одинаковыми положительными точечными зарядами q . Найти работу сил поля при перемещении заряда $q_0 = 10 \text{ нКл}$ из точки 1 с потенциалом $\varphi_1 = 300 \text{ В}$ в точку 2.

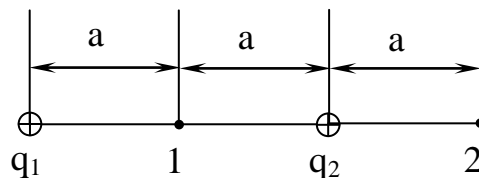
Дано:

$$q = q_1 = q_2$$

$$q_0 = 10 \text{ нКл} = 10 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$\varphi_1 = 300 \text{ В}$$

Решение:



Найти:

$A - ?$

Потенциал поля, создаваемого зарядами q_1 и q_2 в точке 1, равен алгебраической сумме потенциалов полей, создаваемых каждым зарядом в точке 1 в отдельности:

$$\varphi_1 = \varphi_{11} + \varphi_{12} = \frac{kq_1}{a} + \frac{kq_2}{a} = \frac{kq}{a} + \frac{kq}{a} = \frac{2kq}{a}$$

Потенциал поля, создаваемого зарядами q_1 и q_2 в точке 2, равен алгебраической сумме потенциалов полей, создаваемых каждым зарядом в точке 2 в отдельности:

$$\varphi_2 = \varphi_{21} + \varphi_{22} = \frac{kq_1}{3a} + \frac{kq_2}{a} = \frac{kq}{3a} + \frac{kq}{a} = \frac{4kq}{3a} = \frac{2}{3}\varphi_1$$

Работа, совершаемая силами электростатического поля при перемещении заряда q_0 из точки 1 в точку 2 равна:

$$A = q_0(\varphi_1 - \varphi_2) = q_0\left(\varphi_1 - \frac{2}{3}\varphi_1\right) = \frac{q_0\varphi_1}{3}$$

$$A = \frac{10 \cdot 10^{-9} \cdot 300}{3} = 10^{-6} \text{ Дж} = 1 \text{ мкДж}$$

Ответ: $A=1$ мкДж

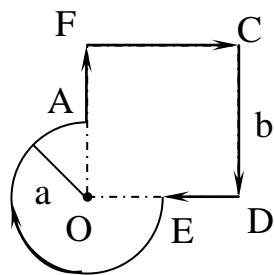
6. Найдите индукцию магнитного поля в точке O контура, который показан на рисунке. По контуру течет ток $I=5$ А. Размеры контура $a=120$ мм, $b=240$ мм.

Дано:

$I=5$ А
 $a=120$ мм
 $b=240$ мм

Найти:

$B - ?$



Решение:

В соответствии с принципом суперпозиции полей индукция результирующего поля в точке O равна векторной сумме индукций полей, создаваемых каждым проводником в отдельности:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \vec{B}_4 + \vec{B}_5,$$

где \vec{B}_1 - индукция поля, создаваемого частью кругового витка с током; \vec{B}_2 - индукция магнитного поля, создаваемого проводником AF с током; \vec{B}_3 - индукция магнитного поля, создаваемого проводником FC с током; \vec{B}_4 - индукция магнитного поля, создаваемого проводником CD с током; \vec{B}_5 - индукция магнитного поля, создаваемого проводником DE с током. Согласно правилу правого винта все эти вектора направлены в точке O от нас. Следовательно,

$$B = B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + B_5,$$

где $B_1 = \frac{3 \mu \mu_0 I}{4 \cdot 2a}$

$B_2 = 0$, т.к. расстояние до оси проводника равно нулю.

$$B_3 = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r} (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$$

Угол $\alpha_1=90^\circ$ – это угол между направлением тока вдоль проводника FC и радиус – вектором, проведенным из точки F в точку O, угол $\alpha_2=135^\circ$ – это угол между направлением тока вдоль проводника FC и радиус – вектором, проведенным из точки C в точку O. $r = a + 0,5b$ – расстояние от точки O до оси проводника FC.

$$B_3 = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r} (\cos 90^\circ - \cos 135^\circ) = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi(a + 0,5b)} (0 - (-\frac{\sqrt{2}}{2})) =$$

$$= \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi(a + 0,5b)} \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$B_4 = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r} (\cos\beta_1 - \cos\beta_2)$$

Угол $\beta_1=45^\circ$ – это угол между направлением тока вдоль проводника CD и радиус – вектором, проведенным из точки C в точку O, угол $\beta_2=90^\circ$ – это угол между направлением тока вдоль проводника CD и радиус – вектором, проведенным из точки D в точку O. $r = a + 0,5b$ – расстояние от точки O до оси проводника CD.

$$B_4 = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r} (\cos 45^\circ - \cos 90^\circ) = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi(a + 0,5b)} (\frac{\sqrt{2}}{2} - 0) =$$

$$= \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi(a + 0,5b)} \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$B_5=0$, т.к. расстояние до оси проводника равно нулю.

Следовательно, индукция результирующего поля в точке O равна:

$$B = \frac{3}{4} \frac{\mu\mu_0 I}{2a} + \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi(a + 0,5b)} \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 2 = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi} (\frac{3\pi}{2a} + \frac{\sqrt{2}}{b})$$

Подставим данные и после вычисления найдем

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 5}{4\pi} (\frac{3 \cdot \pi}{2 \cdot 0,12} + \frac{1,41}{0,24}) = 22,6 \cdot 10^{-6} \text{ Тл} = 22,6 \text{ мкТл}$$

Ответ: $B=22,6 \text{ мкТл}$

7. α – частица, ускоренная разностью потенциалов $U=1$ МВ влетает в однородное магнитное поле напряженностью $H=1,2$ кА/м. Найти: 1) силу, действующую на частицу, радиус окружности, по которой она движется и период ее обращения, если скорость частицы направлена перпендикулярно к направлению магнитного поля; 2) радиус R и шаг h винтовой траектории, если частица влетает в однородное магнитное поле под углом $\alpha = 30^\circ$ к направлению поля.

Дано:

$$\begin{aligned} q &= q_\alpha = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \\ m &= m_\alpha = 6,68 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \\ U &= 10^6 \text{ В} \\ H &= 1,2 \cdot 10^3 \text{ А/м} \\ \alpha &= 30^\circ \end{aligned}$$

Найти:

- 1) F -?; R -?; T -?;
- 2) R -?; h -?

Решение:

1) На движущуюся α - частицу в магнитном поле действует сила Лоренца: $F = qvB \sin \alpha$ (1)

Вектор силы Лоренца перпендикулярен вектору скорости и, следовательно, по второму закону Ньютона сообщает α - частице нормальное ускорение $a_n = \frac{v^2}{R}$: $F = ma_n$

Подставив сюда выражения F и a_n , получим

$$\frac{mv^2}{R} = qvB \sin \alpha, \quad (2)$$

где q , v , m – заряд, скорость и масса α - частицы; B – индукция магнитного поля; R – радиус кривизны траектории; α - угол между направлениями вектора скорости и индукции (в первом случае $\vec{v} \perp \vec{B}$ и $\alpha = 90^\circ$, $\sin 90^\circ = 1$)

Из формулы (2) найдем

$$R = \frac{mv}{qB}, \quad (3)$$

где $B = \mu \mu_0 H$, а скорость v найдем из выражения

$$qU = \frac{mv^2}{2}: \quad v = \sqrt{\frac{2qU}{m}} \quad (4)$$

Тогда выражение (3) для радиуса кривизны приобретает вид

$$R = \frac{m}{q\mu\mu_0 H} \sqrt{\frac{2qU}{m}} \quad (5)$$

После вычисления найдем

$$R = \frac{6,68 \cdot 10^{-27}}{3,2 \cdot 10^{-19} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,2 \cdot 10^3} \sqrt{\frac{2 \cdot 3,2 \cdot 10^{-19} \cdot 10^6}{6,68 \cdot 10^{-27}}} = 137 \text{ м.}$$

С учетом выражений (1) и (4) получим

$$F = qvB = q \sqrt{\frac{2qU}{m}} \cdot \mu \mu_0 H$$

После вычисления получим

$$F = 3,2 \cdot 10^{-19} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 3,2 \cdot 10^{-19} \cdot 10^6}{6,68 \cdot 10^{-27}}} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,2 \cdot 10^3 = 4,7 \cdot 10^{-15} \text{ Н}$$

Для определения периода воспользуемся формулой

$$T = \frac{2\pi R}{v}$$

С учетом выражения (5) получим

$$T = \frac{2\pi \cdot m}{q \cdot \mu\mu_0 H}$$

Произведя вычисления, найдем

$$T = \frac{6,28 \cdot 6,68 \cdot 10^{-27}}{3,2 \cdot 10^{-19} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,2 \cdot 10^3} = 87 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 87 \text{ мкс}$$

2) Во втором случае α - частица влетает в однородное магнитное поле под углом $\alpha=30^\circ$ к направлению линий индукции. По второму закону Ньютона: $F=ma_n$,

где $F=qv_{\perp}B$ и $a_n = \frac{v_{\perp}^2}{R}$.

Тогда $\frac{mv_{\perp}^2}{R} = qv_{\perp}B$, откуда находим радиус винтовой ли-

нии: $R = \frac{mv_{\perp}}{qB} = \frac{mv \sin \alpha}{qB}$, (6)

где $B=\mu\mu_0 H$ и $v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$

Следовательно, $R = \frac{m}{q\mu\mu_0 H} \sqrt{\frac{2qU}{m}} \sin \alpha$

Произведя вычисления, получим

$$R = \frac{6,68 \cdot 10^{-27}}{3,2 \cdot 10^{-19} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,2 \cdot 10^3} \sqrt{\frac{2 \cdot 3,2 \cdot 10^{-19} \cdot 10^6}{6,68 \cdot 10^{-27}}} \cdot 0,5 = 380 \text{ м}$$

Шаг винтовой линии равен пути, пройденному α - частицей вдоль поля со скоростью $v_{\parallel}=v \cdot \cos \alpha$ за время, которое понадобится α - частице для того, чтобы совершить один

оборот: $h=v_{\parallel} \cdot T$, где $T = \frac{2\pi R}{v_{\perp}}$ - период обращения электро-

на. С учетом (6) получим $T = 2\pi \frac{m}{qB}$, где $B=\mu\mu_0 H$.

Следовательно, $h = \frac{2\pi m}{q\mu\mu_0 H} \sqrt{\frac{2qU}{m}} \cos \alpha$

Произведя вычисления, получим

$$h = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6,68 \cdot 10^{-27}}{3,2 \cdot 10^{-19} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 1,2 \cdot 10^3} \sqrt{\frac{2 \cdot 3,2 \cdot 10^{-19} \cdot 10^6}{6,68 \cdot 10^{-27}}} \cdot 0,866 = 734 \text{ м}$$

Ответ: 1) $F=4,7 \cdot 10^{-15}$ Н; $R=137$ м; $T=87$ мкс;
2) $R=380$ м; $h=734$ м

8. В однородном магнитном поле с индукцией $B=0,35$ Тл расположена рамка сопротивлением $R=1$ кОм, содержащая 1500 витков площадью $S=50$ см². 1) Найти какое количество электричества протечет по рамке за время поворота ее на угол $\alpha=90^\circ$ от $\alpha_1=0^\circ$ до $\alpha_2=90^\circ$. 2) Найти максимальную ЭДС индукции ε_{\max} , возникающую в рамке, если она вращается с частотой 480 мин⁻¹, и её ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции поля.

Дано:

$B=0,35$ Тл
 $R=1000$ Ом
 $N=1500$
 $S=50$ см² $=0,005$ м²
 $\alpha_1=0^\circ$
 $\alpha_2=90^\circ$
 $n=8$ об/с

Найти:

q - ? ε_{\max} - ?

Решение:

Мгновенное значение ЭДС индукции ε_i определяется основным уравнением электромагнитной индукции Фарадея – Максвелла:

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

Потокосцепление $\psi=N\Phi$, где N – число витков, пронизываемых магнитным потоком Φ . Подставив выражение ψ в формулу (1), получим

$$\varepsilon_i = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

Индукционный ток, с одной стороны, $I = \frac{\varepsilon_i}{R}$, а, с другой стороны, $I = \frac{dq}{dt}$.

Тогда $dq = -N \frac{d\Phi}{R}$, где $\Phi=BS\cos\alpha$ – магнитный поток, пронизывающий рамку.

После интегрирования получаем

$$q = -\frac{NB\cos\alpha_2 - NB\cos\alpha_1}{R}$$

После вычисления получаем

$$q = \frac{-0 + 1500 \cdot 0,35 \cdot 50 \cdot 10^{-4}}{10^3} = 2,6 \text{ мКл}$$

2) При вращении рамки магнитный поток Φ , пронизывающий рамку в момент времени t , изменяется по закону $\Phi=BS\cos\omega t$, где B – магнитная индукция, S – площадь рамки, ω – круговая частота. Подставив в формулу (2) выражение для Φ и продифференцировав по времени, найдем мгновенное значение ЭДС индукции:

$$\varepsilon = -\frac{d}{dt}(N \cdot B \cdot S \cos \omega t) = NBS\omega \sin \omega t \quad (3)$$

Круговая частота ω связана с частотой n вращения соотношением $\omega=2\pi n$. Подставив выражение ω в формулу (3), получим $\varepsilon = NBS \cdot 2\pi n \sin \omega t$, где $\varepsilon_{\max} = NBS \cdot 2\pi n$

Произведя вычисления получим

$$\varepsilon_{\max} = 1500 \cdot 0,35 \cdot 50 \cdot 10^{-4} \cdot 6,28 \cdot 8 = 132 \text{ В}$$

Ответ: 1) $q=2,6$ мКл; 2) $\varepsilon_{\max}=132$ В

9. Ток в колебательном контуре зависит от времени по закону $I = I_m \sin(\omega_0 t)$, где $I_m=9$ мА, $\omega_0=4,5 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$. Емкость конденсатора $c=0,5$ мкФ. Найти: 1) период колебаний; 2) индуктивность контура; 3) максимальную энергию электрического поля; 4) закон изменения со временем напряжения на конденсаторе; 5) напряжение на конденсаторе в момент времени $t=0$.

Дано:

$$I = I_m \sin \omega_0 t$$

$$I_{\max}=9 \text{ мА}=9 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

$$\omega_0=4,5 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$$

$$c=0,5 \text{ мкФ}=$$

$$=0,5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

Найти:

$$T-?; L-?; W_{\max}^{\text{эл}}-?;$$

$$U(t)-?; U(0)-?$$

Решение:

Циклическая частота колебаний, которые устанавливаются в контуре, определяется формулой: $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

Отсюда выражаем индуктивность контура L : $L = \frac{1}{\omega_0^2 C}$

После вычисления получаем

$$L = \frac{1}{(4,5 \cdot 10^4)^2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}} = 0,0988 \cdot 10^{-2} \text{ Гн} \approx 1 \text{ мГн}$$

Период колебаний связан с циклической частотой: $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$

После вычисления получаем

$$T = \frac{2 \cdot 3,14}{4,5 \cdot 10^4} = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ с} \approx 140 \text{ мкс}$$

Так как в процессе незатухающих электромагнитных колебаний выполняется закон сохранения энергии, то

$$W_{\max}^{\text{эл}} = W_{\max}^{\text{магн}} \text{ и, следовательно, } W_{\max}^{\text{эл}} = \frac{LI_m^2}{2}$$

После вычисления получаем

$$W_{\max}^{\text{эл}} = \frac{10^{-3} \cdot 81 \cdot 10^{-6}}{2} = 40,5 \cdot 10^{-9} \text{ Дж}$$

Чтобы найти напряжение на конденсаторе $U_c = \frac{q}{C}$, найдем

выражение для заряда конденсатора как функцию времени. Для этого возьмем интеграл от силы тока по времени

$$q = \int Idt = \int I_m \sin \omega_0 t dt = \frac{I_m}{\omega_0} \int \sin \omega_0 t d(\omega_0 t) = \frac{-I_m}{\omega_0} \cos(\omega_0 t) = \frac{I_m}{\omega_0} \cos(\omega_0 t + \pi)$$

Тогда закон изменения со временем напряжения на конденсаторе имеет вид: $U(t) = U_c = \frac{I_m}{\omega_0 C} \cos(\omega_0 t + \pi)$

Напряжение на конденсаторе в момент времени $t=0$ будет равно $U_c(0) = \frac{9 \cdot 10^{-3}}{4,5 \cdot 10^4 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}} \cos \pi = -0,4 \text{ В}$

Ответ: 1) $T=140 \text{ мкс}$; 2) $L=1 \text{ мГн}$; 3) $W_{\max}^{2l} = 40,5 \cdot 10^{-9} \text{ Дж}$;

4) $U(t) = \frac{I_m}{\omega_0 C} \cos(\omega_0 t + \pi)$; 5) $U(0)=-0,4 \text{ В}$

10. Плоская электромагнитная волна $E = 100 \cdot \sin(6,28 \cdot 10^8 t + 6,28x)$ В/м распространяется в веществе ($\epsilon=9$). Определить 1) период и частоту колебаний; 2) длину волны и скорость её распространения; 3) магнитную проницаемость среды; 4) амплитуду напряженности магнитного поля и интенсивность волны, то есть среднюю энергию, проходящую через единицу поверхности за единицу времени.

Дано:

$$E = 100 \sin(6,28 \cdot 10^8 t + 6,28x) \text{ В/м}$$

$\epsilon=9$

Найти:

T -?; ν - ?; λ -?; ν -?; μ -?; H_m -?; I -?

Решение:

Уравнение плоской электромагнитной волны: $E = E_m \sin(\omega t - kx)$, (1)

где E_m - амплитуда колебаний вектора напряженности электрического поля;

$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$ - циклическая частота; t - время;

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - волновой вектор; x - координата

Сравнивая (1) с уравнением, заданным в задаче, получаем:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{6,28}{6,28 \cdot 10^8} = 10^{-8} \text{ с}$$

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{6,28 \cdot 10^8}{6,28} = 10^8 \text{ Гц}$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{6,28}{6,28} = 1 \text{ м}$$

Длина волны, период и скорость волны связаны соотношением $\nu = \frac{\lambda}{T}$, тогда $\nu = \frac{1}{10^{-8}} = 10^8$ м/с.

Фазовая скорость распространения электромагнитной волны связана с характеристиками среды ϵ и μ соотношением:

$$\nu = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}, \quad (2)$$

где ϵ - электрическая постоянная, μ - магнитная постоянная, c - скорость света в вакууме.

$$\text{Из (2) получаем } \mu = \frac{c^2}{\epsilon\nu^2} = \frac{(3 \cdot 10^8)^2}{9 \cdot 1 \cdot (10^8)^2} = 1$$

Связь между мгновенными значениями напряженностей электрического E и магнитного H полей электромагнитной волны:

$$\sqrt{\epsilon\epsilon_0} E = \sqrt{\mu\mu_0} H$$

Тогда для амплитуд напряженностей электрического и магнитного полей волны можно записать:

$$\sqrt{\epsilon\epsilon_0} E_m = \sqrt{\mu\mu_0} H_m$$

Тогда искомая амплитуда напряженности магнитного поля

$$\text{волны: } H_m = \frac{\sqrt{\epsilon\epsilon_0}}{\sqrt{\mu\mu_0}} E_m$$

После вычисления получим

$$H_m = \frac{\sqrt{9 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}}}{\sqrt{1 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7}}} \cdot 100 = 0,8 \text{ А/м}$$

Интенсивность электромагнитной волны определяется как средняя энергия, проходящая через единицу поверхности за единицу времени, $I = \langle S \rangle$, где S – модуль вектора плотности потока электромагнитной энергии – модуль вектора Умова – Пойнтинга. Мгновенное значение модуля вектора Умова – Пойнтинга $S = E_m H_m \cos^2(\omega t - kx)$, а его среднее

$$\text{значение } \langle S \rangle = \frac{1}{2} E_m H_m$$

$$\text{После вычисления получим: } I = \langle S \rangle = \frac{1}{2} \cdot 100 \cdot 0,8 = 40 \text{ Вт/м}^2$$

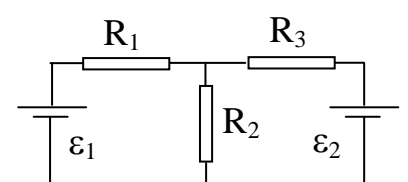
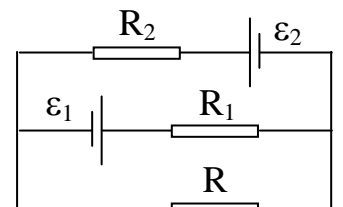
Ответ: $T=10^{-8}$ с; $\nu=10^8$ Гц; $\lambda=1$ м; $\nu=10^8$ м/с; $\mu=1$; $H_m=0,8$ А/м; $I=40$ Вт/м²

Контрольная работа № 1

1. На металлической сфере радиусом $R=10$ см находится заряд $q=1$ нКл. Определить напряженность E электрического поля: 1) на расстоянии $r_1=8$ см от центра сферы; 2) на поверхности сферы; 3) на расстоянии $r_2=15$ см от центра сферы. Построить график зависимости $E(r)$.
2. Шарик массой 1 г, несущий заряд 9,8 нКл, подвешен в воздухе на тонкой шелковой нити. При приближении к нему заряда q_2 противоположного знака на расстояние 4 см нить отклонилась от вертикального направления на угол $\alpha=45^\circ$. Определить величину заряда q_2 .
3. Два металлических шара малых размеров с зарядами $q_1=8 \cdot 10^{-7}$ Кл и $q_2=1,2 \cdot 10^{-6}$ Кл приведены в соприкосновение и затем удалены друг от друга так, что расстояние между центрами составляет 40 см. Найти силу их взаимодействия в воздухе.
4. С какой силой на единицу длины отталкиваются две одноименно заряженные бесконечно длинные нити с одинаковой линейной плотностью заряда $\tau=3$ мкКл/м, находящиеся на расстоянии 2 см друг от друга?
5. Расстояние между зарядами $q_1=2$ нКл и $q_2=-2$ нКл равно 20 см. Определить напряженность и потенциал поля, созданного этими зарядами в точке, находящейся на расстоянии $r_1=15$ см от первого заряда и $r_2=10$ см от второго заряда.
6. Точечный заряд $q=1$ мкКл находится вблизи большой равномерно заряженной пластины против ее середины. Вычислить поверхностную плотность заряда пластины, если на точечный заряд действует сила $F=60$ мН.
7. Два заряда по 0,2 мкКл каждый расположены на горизонтали на расстоянии 40 см друг от друга. Найти напряженность и потенциал поля в точке, удаленной на 25 см от каждого из зарядов.
8. В вершинах правильного треугольника со стороной 30 см расположены заряды +100 нКл, -80 нКл и +100 нКл. Найти величину и направление силы, действующей на заряд -40 нКл, находящийся в центре тяжести треугольника.
9. Три одинаковых заряда величиной 6,67 нКл каждый помещены в вершинах равностороннего треугольника. Сила, действующая на каждый заряд $F=0,01$ Н. Определить длину стороны треугольника.
10. В вершинах квадрата со стороной 10 см расположены три отрицательных и один положительный заряд величиной 70 нКл каждый. Определить напряженность и потенциал поля в центре квадрата, находящегося в воздухе.
11. Какая совершается работа при перенесении точечного заряда $q=2$ нКл из бесконечности в точку, находящуюся на расстоянии $r=1$ см от поверхности шара радиусом $R=1$ см с поверхностной плотностью заряда $\sigma=10$ нКл/см².
12. На расстоянии $r_1=4$ см от бесконечно длинной заряженной нити находится точечный заряд $q=0,67$ нКл. Под действием поля заряд переместился на расстояние $r_2=2$ см, при этом была совершена работа $A=5$ мкДж. Найти линейную плотность заряда нити.

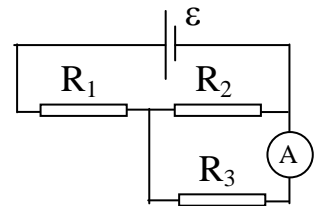
13. Заряд -1 нКл переместился в поле заряда $+3$ нКл из точки с потенциалом 200 В в точку с потенциалом 1200 В. Определить работу сил поля и расстояние между этими точками.
14. Определить потенциал точки поля, находящейся на расстоянии 5 см от центра заряженного шара, если напряженность поля в этой точке 300 кВ/м. Определить величину заряда.
15. На расстоянии 4 м от сферы, заряд которой 10 мкКл, а радиус 10 см, расположен точечный заряд. При перемещении этого заряда на поверхность сферы совершена работа $A=10$ мДж. Определить величину точечного заряда.
16. Шарик массой 1 г и зарядом 10 нКл перемещается из точки А, потенциал которой равен 600 В, в точку В, потенциал которой равен нулю. Чему была равна его скорость в точке А, если в точке В она была равной 20 см/с?
17. Две одноименно заряженные бесконечно длинные нити с одинаковой линейной плотностью заряда $\tau=3$ мкКл/м находятся на расстоянии $r_1=2$ см друг от друга. Какую работу на единицу длины надо совершить, чтобы сдвинуть эти нити до расстояния $r_2=1$ см?
18. Полый шар несет на себе равномерно распределенный заряд. Определить радиус шара, если потенциал в центре шара равен $\varphi_1=200$ В, а в точке, лежащей от его центра на расстоянии $r=50$ см, равен $\varphi_2=40$ В.
19. Металлический шар радиусом 5 см несет заряд 10 нКл. Определить потенциал электрического поля: 1) на поверхности шара; 2) на расстоянии $r=2$ см от его поверхности. Построить график зависимости φ от r .
20. На расстоянии $r_1=0,9$ м от поверхности шара радиусом $R=10$ см, несущего заряд с поверхностной плотностью $\sigma=30$ мкКл/м², находится точечный заряд $q=7$ нКл. Определить работу, которую необходимо произвести, чтобы перенести заряд q в точку, расположенную на расстоянии $r_2=50$ см от центра шара.
21. Электрон влетает в плоский конденсатор параллельно пластинам, поле в котором $E=60$ В/см. Найти изменение скорости электрона в момент вылета его из конденсатора, если начальная скорость $v_0=2 \cdot 10^9$ см/с, а длина пластины конденсатора 6 см.
22. Разность потенциалов между обкладками плоского конденсатора 2 кВ, зазор 2 см, заряд на каждой обкладке 1 нКл. Определить силу притяжения обкладок и энергию конденсатора.
23. Электрон с некоторой начальной скоростью v_0 влетает в плоский конденсатор параллельно пластинам на равном расстоянии от них. К пластинам конденсатора приложена разность потенциалов $U=300$ В. Расстояние между пластинами $d=2$ см, длина конденсатора $l=10$ см. Какова должна быть предельная начальная скорость электрона, чтобы он не вылетел из конденсатора?
24. Конденсатор емкостью $C_1=20$ мкФ, заряженный до разности потенциалов $U_1=100$ В, соединили параллельно с заряженным до разности потенциалов $U_2=40$ В конденсатором, емкость которого неизвестна. Определить емкость второго конденсатора, если разность потенциалов после соединения оказа-

- лась равной $U=80$ В. (Соединяются обкладки, имеющие одноименный заряд)
25. Плоский воздушный конденсатор с площадью пластин $S=100$ см² и зазором $d=5$ мм заряжен до разности потенциалов $U=900$ В. Не отключая от источника напряжения пластины конденсатора раздвигают до расстояния 1 см. Определить напряженность поля в конденсаторе, энергию конденсатора до и после раздвижения.
26. Плоский воздушный конденсатор заряжен до разности потенциалов 300 В. Площадь пластин конденсатора 100 см², напряженность поля в зазоре между ними 60 кВ/м. Определить поверхностную плотность заряда на пластинах и энергию конденсатора.
27. Два плоских воздушных конденсатора одинаковой емкости соединены параллельно и заряжены до разности потенциалов 300 В. Определить разность потенциалов этой системы, если пространство между пластинами одного из конденсаторов заполнено слюдой (см. таблицу).
28. Электрон, пройдя в плоском конденсаторе путь от одной пластины до другой, приобрел скорость $v=1$ Мм/с. Расстояние между пластинами $d=5,3$ мм. Найти: 1) разность потенциалов между пластинами; 2) поверхностную плотность заряда на пластинах.
29. Разность потенциалов между пластинами плоского конденсатора $U=100$ В. Площадь каждой пластины $S=200$ см², расстояние между пластинами $d=0,5$ мм, пространство между пластинами заполнено парафином (см. табл.). Определить силу притяжения пластин друг к другу.
30. Один конденсатор заряжен до разности потенциалов 60 В, другой – до 20 В. Конденсаторы соединили параллельно одноименно заряженными пластинами, и разность потенциалов оказалась равной 50 В. Определить отношение емкостей этих конденсаторов.
31. По алюминиевому проводу сечением $S=0,2$ мм² течет ток $I=0,2$ А. Определить силу, действующую на отдельные свободные электроны со стороны электрического поля.
32. К элементу с эдс $\varepsilon=1,5$ В присоединили катушку с сопротивлением $R=0,1$ Ом. Амперметр показал силу тока равную $I_1=0,5$ А. Когда к элементу присоединили последовательно еще один элемент с такой же эдс, то сила тока в той же катушке оказалась $I_2=0,4$ А. Определить внутренние сопротивления первого и второго элементов.
33. Найти значение и направление тока через сопротивление R в схеме, показанной на рисунке, если $J_1=1,5$ В; $J_2=3,7$ В; $R_1=10$ Ом; $R_2=20$ Ом и $R=5$ Ом. Внутренним сопротивлением источников тока пренебречь.
34. Определить силу тока в сопротивлении R_1 (см. рис.) и напряжение на концах этого сопротивления, если $\varepsilon_1=4$ В; $\varepsilon_2=3$ В; $R_1=2$ Ом; $R_2=6$ Ом и $R_3=1$ Ом. Внутренним сопротивлением источников тока прене-



небрежь.

35. К батарее через переменное сопротивление R подключен вольтметр. Если сопротивление уменьшить втрое, то показания вольтметра возрастут вдвое. Во сколько раз изменятся показания вольтметра, если сопротивление R уменьшить до нуля?
36. Лампа накаливания потребляет ток, равный $0,6$ А. Температура вольфрамовой нити диаметром $0,1$ мм равна 2200°C . Ток подводится медным проводом сечением 6 мм². Определить напряженность электрического поля: 1) в вольфраме; 2) в меди. Удельное сопротивление меди и вольфрама смотрите в таблице № 3 приложения.
37. Сила тока в проводнике равномерно нарастает от $I_0=0$ до $I=2$ А в течение времени $t=5$ с. Определить заряд, прошедший в проводнике.
38. Напряжение на зажимах элемента в замкнутой цепи (см. рис.) $U=2,1$ В, сопротивления $R_1=5$ Ом, $R_2=6$ Ом и $R_3=3$ Ом. Какой ток показывает амперметр?
39. Определить заряд, прошедший по проводу с сопротивлением $R=3$ Ом при равномерном нарастании напряжения на концах провода от $U_1=2$ В до $U_2=7$ В в течение времени $t=20$ с.
40. Определить разность потенциалов на концах нихромового проводника длиной 1 м, если плотность тока, текущего по нему $j=2 \cdot 10^8$ А/м².
41. Ток в проводнике сопротивлением $R=15$ Ом равномерно нарастает от $I_0=0$ до некоторого максимума в течение времени $t=5$ с. За это время в проводнике выделилось количество теплоты $Q=10$ кДж. Найти среднее значение силы тока в проводнике за этот промежуток времени.
42. Определить напряженность электрического поля в алюминиевом проводнике объемом $V=10$ см³, если при прохождении по нему постоянного тока за время $t=5$ мин выделилось количество теплоты $Q=2,3$ кДж.
43. Плотность тока в медном проводе равна 10 А/см. Определить удельную тепловую мощность тока. Удельное сопротивление меди смотрите в таблице № 3 приложения.
44. Ток в проводнике сопротивлением $R=100$ Ом равномерно нарастает от $I_0=0$ до $I_{\text{max}}=10$ А в течение времени $t=30$ с. Чему равно количество теплоты, выделяющееся за это время в проводнике?
45. Определить работу тока на участке, не содержащем источника эдс и имеющем сопротивление $R=12$ Ом, если ток в течение $t=5$ с равномерно увеличивается от $I_1=2$ А до $I_2=10$ А.
46. При силе тока 3 А во внешней цепи батареи выделяется мощность 18 Вт, а при силе тока 1 А – мощность 10 Вт. Определить эдс батареи.
47. К батарее из трех одинаковых параллельно соединенных источников тока подключают один раз резистор сопротивлением 1 Ом, другой раз – резистор сопротивлением 4 Ом. В обоих случаях на резисторах за одно и то же время выделяется одинаковое количество теплоты. Определить внутреннее сопротивление источника тока.

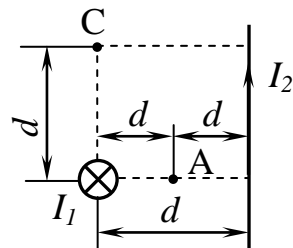


48. По проводнику сопротивлением 10 Ом течет медленно изменяющийся по синусоидальному закону ток $I = 2\sin\left(\frac{\pi}{4}t\right)$ А. Определить количество теплоты, выделившееся в проводнике в первые 4 с.

49. Чему равен КПД элемента, если известно, что при увеличении внешнего сопротивления, на которое он замкнут, в 2 раза разность потенциалов увеличивается на 10 %.

50. Сколько тепла выделится в спирали с сопротивлением $R=75$ Ом при прохождении через нее количества электричества $q=100$ Кл, если ток в спирали равномерно убывает до нуля в течение $t=50$ с.

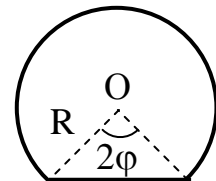
51. По двум бесконечно длинным проводникам, скрещенным под прямым углом текут токи $I_1=30$ А и $I_2=40$ А. Расстояние между проводниками $a=20$ см. Определить магнитную индукцию в точках А и С, одинаково удаленных от обоих проводников на расстояние, равное d .



52. По контуру в виде равностороннего треугольника идет ток $I=40$ А. Сторона треугольника $a=20$ см. Определить магнитную индукцию в точке пересечения высот.

53. По тонкому проволочному кольцу течет ток. Не изменяя силы тока в проводнике, ему придали форму квадрата. Во сколько раз изменилась магнитная индукция в центре контура?

54. Ток $I=5$ А течет по тонкому замкнутому проводнику (см. рис.). Радиус изогнутой части проводника $R=12$ см, угол $2\varphi=90^\circ$. Найти магнитную индукцию в т. О.



55. Ток $I=30$ А идет по длинному проводу, согнутому под углом $\alpha=120^\circ$. Определить напряженность поля в точке, находящейся на биссектрисе угла на расстоянии 5 см от вершины угла.

56. Бесконечно длинный провод образует круговую петлю, касательную к проводу. По проводу идет ток силой 5 А. Найти радиус петли, если известно, что напряженность магнитного поля в центре петли равна 41 А/м.

57. По проволочной рамке, имеющей форму правильного шестиугольника, идет ток силой $I=2$ А. При этом в центре рамки образуется магнитное поле напряженностью $H=33$ А/м. Найти длину проволоки, из которой сделана рамка.

58. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводникам, расстояние между которыми $d=20$ см, текут токи $I_1=40$ А и $I_2=80$ А в одном направлении. Определить магнитную индукцию поля этих токов в точке, удаленной от первого проводника на расстояние $r_1=12$ см и от второго – на $r_2=16$ см.

59. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводникам, расстояние между которыми $d=15$ см, текут токи $I_1=70$ А и $I_2=50$ А в противоположных направлениях. Определить магнитную индукцию в точке, удаленной на $r_1=20$ см от первого и $r_2=30$ см от второго проводника.

60. Два круговых витка расположены в двух взаимно перпендикулярных плоскостях так, что центры этих витков совпадают. Радиус каждого витка $R=2$ см и токи, текущие по виткам $I_1=5$ А и $I_2=10$ А. Найти напряженность магнитного поля в центре этих витков.
61. Кинетическая энергия α - частицы равна 500 эВ. Частица движется в однородном магнитном поле по окружности радиусом $R=80$ см. Определить магнитную индукцию поля.
62. Электрон, ускоренный разностью потенциалов $U=6$ кВ, влетает в однородное магнитное поле под углом $\alpha=30^\circ$ к направлению поля и движется по винтовой траектории. Индукция магнитного поля $B=13$ мТл. Найти радиус R и шаг h винтовой траектории.
63. α -частица, кинетическая энергия которой $W=500$ эВ, влетает в однородное магнитное поле, перпендикулярное к направлению ее движения. Индукция магнитного поля $B=0,1$ Тл. Найти силу, действующую на α -частицу, радиус R окружности, по которой движется α -частица, и период обращения T α -частицы.
64. Протон и электрон, ускоренные одинаковой разностью потенциалов, влетают в однородное магнитное поле. Во сколько раз радиус кривизны траектории протона больше радиуса кривизны траектории электрона?
65. Электрон, влетая в однородное магнитное поле с индукцией $B=0,1$ Тл, движется по окружности. Найти величину эквивалентного кругового тока, создаваемого движением электрона.
66. В однородном магнитном поле с индукцией $B=2$ Тл движется электрон. Траектория его движения представляет собой винтовую линию с радиусом $R=10$ см и шагом $h=60$ см. Какова кинетическая энергия электрона?
67. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией $B=100$ мкТл по винтовой линии. Чему равна скорость электрона, если шаг винтовой линии $h=20$ см, а радиус $R=5$ см?
68. Момент импульса протона в однородном магнитном поле напряженностью 20 кА/м равен $6,6 \cdot 10^{-23}$ кг·м²/с. Найти кинетическую энергию протона, если он движется перпендикулярно линиям магнитной индукции поля.
69. Заряженная частица, проходя ускоряющую разность потенциалов $U=20$ В, двигается в однородном магнитном поле с индукцией $B=15,1$ мТл по окружности радиусом $R=1$ см. Чему равно отношение заряда частицы к ее массе q/m и какова скорость v частицы?
70. Частица, несущая элементарный заряд, влетела в однородное магнитное поле с индукцией $B=0,5$ Тл. Определить момент импульса, которым обладала частица при движении в магнитном поле, если ее траектория представляла дугу окружности радиусом $R=0,2$ см.
71. По проводу согнутому в виде квадрата со стороной $a=10$ см, течет ток силой $I=20$ А, величина которого поддерживается неизменной. Плоскость квадрата составляет угол $\alpha=20^\circ$ с линиями индукции однородного магнитного поля ($B=0,1$ Тл). Вычислить работу, которую необходимо совершить для того, чтобы удалить провод за пределы поля.

72. Плоскость проволочного витка площадью $S=100 \text{ см}^2$ и сопротивлением $R=5 \text{ Ом}$, находящегося в однородном магнитном поле напряженностью $H=10 \text{ кА/м}$, перпендикулярна линиям магнитной индукции. При повороте витка в магнитном поле отсчет гальванометра, замкнутого на виток, составляет $q=12,6 \text{ мкКл}$. Определить угол поворота витка.
73. В однородном магнитном поле, индукция которого $B=0,1 \text{ Тл}$, равномерно вращается катушка, состоящая из $N=100$ витков проволоки. Частота вращения катушки $n=5 \text{ с}^{-1}$; площадь поперечного сечения катушки $S=0,01 \text{ м}^2$. Ось вращения перпендикулярна к оси катушки и направлению магнитного поля. Найти максимальную ЭДС индукции во вращающейся катушке.
74. С какой скоростью должен двигаться проводник длиной $l=10 \text{ см}$ перпендикулярно силовым линиям однородного магнитного поля, напряженность которого $H=2/4\pi \cdot 10^6 \text{ А/м}$, чтобы между концами проводника возникла разность потенциалов $U=0,01 \text{ В}$? Направление скорости проводника с направлением самого проводника составляет угол $\alpha=30^\circ$.
75. Рамка, имеющая форму равностороннего треугольника, помещена в однородное магнитное поле с напряженностью $H=64 \text{ кА/м}$. Нормаль к рамке составляет с направлением магнитного поля угол $\alpha=30^\circ$. Определить длину стороны рамки a , если известно, что среднее значение ЭДС индукции, возникающей в рамке при выключении поля в течение времени $\Delta t=0,03 \text{ с}$, равно $\langle \varepsilon \rangle=10 \text{ мВ}$.
76. Короткая катушка, содержащая $N=1000$ витков, равномерно вращается с угловой скоростью $\omega=5 \text{ рад/с}$ относительно оси, совпадающей с диаметром катушки и перпендикулярной линиям поля. Магнитное поле однородное с индукцией $B=0,04 \text{ Тл}$. Определить мгновенное значение ЭДС индукции для тех моментов времени, когда плоскость катушки составляет угол $\alpha=60^\circ$ с линиями поля. Площадь сечения катушки $S=100 \text{ см}^2$.
77. Рамка из провода сопротивлением $R=0,01 \text{ Ом}$ равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией $B=0,05 \text{ Тл}$. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Площадь рамки $S=100 \text{ см}^2$. Определить какое количество электричества протечет через рамку при повороте ее на угол от 30° до 60° .
78. Кольцо из проволоки сопротивлением $R=1 \text{ мОм}$ находится в однородном магнитном поле ($B=0,4 \text{ Тл}$). Плоскость кольца составляет угол $\alpha=30^\circ$ с линиями индукции. Определить заряд, который протечет по кольцу, если его выдернуть из поля. Площадь кольца $S=10 \text{ см}^2$.
79. Квадратная рамка со стороной $a=20 \text{ см}$ расположена в магнитном поле так, что нормаль к рамке образует угол $\alpha=60^\circ$ с направлением поля. Магнитное поле изменяется с течением времени по закону $B = B_0 \cos \omega t$, где $B_0=0,2 \text{ Тл}$ и $\omega=314 \text{ мин}^{-1}$. Определить ЭДС индукции в рамке в момент времени $t=4 \text{ с}$.
80. Проволочное кольцо радиусом $r=10 \text{ см}$ лежит на столе. Какое количество электричества q протечет по кольцу, если его повернуть с одной стороны на

другую? Сопротивление кольца $R=1$ Ом. Вертикальная составляющая магнитного поля Земли $B=50$ мкТл.

81. Уравнение изменения со временем разности потенциалов на обкладках конденсатора в колебательном контуре имеет вид $U = 50 \cos 10^4 \pi t$ В. Емкость конденсатора $C=0,1$ мкФ. Найти период колебаний, индуктивность контура, закон изменения со временем тока в цепи.
82. Уравнение изменения со временем тока в колебательном контуре имеет вид $I = -0,02 \sin 400 \pi t$ А. Индуктивность контура $L=1$ Гн. Найти период колебаний, емкость контура, максимальную энергию электрического поля и максимальную энергию магнитного поля.
83. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью $C=5$ мкФ и катушки индуктивностью $L=200$ мГн. Определить максимальную силу тока в контуре, если максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора $U_{\max}=90$ В. Активным сопротивлением контура пренебречь.
84. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью $C=100$ нФ и катушки индуктивностью $L=100$ мГн. Сколько времени проходит от момента, когда конденсатор полностью разряжен, до момента, когда его энергия вдвое превышает энергию катушки? Активным сопротивлением контура пренебречь.
85. Колебательный контур содержит катушку с общим числом витков $N=100$ индуктивностью $L=10$ мкГн и конденсатор емкостью $C=1$ нФ. Максимальное напряжение на обкладках конденсатора составляет 100 В. Определить максимальный магнитный поток, пронизывающий катушку.
86. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью $C=25$ нФ и катушки индуктивностью $L=1,015$ Гн. Обкладки конденсатора имеют заряд $q=2,5$ мкКл. Написать уравнение изменения разности потенциалов U на обкладках конденсатора и силы тока I в цепи. Найти U и I в момент времени $t=T/4$.
87. Через $0,25$ мкс после выключения колебательного контура энергия магнитного поля катушки стала равна энергии электрического поля конденсатора. Определить частоту колебаний, возникающих в контуре, если ток в катушке индуктивности изменяется по закону $I = I_0 \sin \omega t$.
88. Собственная частота колебательного контура с пренебрежимо малым активным сопротивлением $\nu_0=1$ МГц. Определить индуктивность L контура, если его емкость $C=8$ пФ.
89. Найти промежуток времени τ , за который амплитуда колебаний силы тока в контуре с добротностью $Q=5000$ уменьшается в 2 раза, если частота свободных колебаний в контуре $\nu=2,2$ МГц.
90. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью $2,5$ мГн и воздушного конденсатора емкостью 10 пФ. Во сколько раз изменится частота и период колебаний, если зазор между обкладками конденсатора заполнить слюдой?

91. Катушка с индуктивностью $L=30$ мкГн присоединена к плоскому конденсатору с площадью пластин $S=0,01$ м² и расстоянием между ними $d=0,1$ мм. Найти диэлектрическую проницаемость среды, заполняющей пространство между пластинами, если контур настроен на длину волны $\lambda=750$ м.
92. Электромагнитная волна с частотой $\nu=5$ МГц переходит из немагнитной среды с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon=2$ в вакуум. Определить приращение ее длины волны.
93. В вакууме вдоль оси X распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля волны составляет 50 мВ/м. Определить интенсивность волны I , т.е. среднюю энергию, проходящую через единицу поверхности в единицу времени.
94. В вакууме вдоль оси X распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля волны составляет 10 В/м. Определить амплитуду напряженности магнитного поля волны.
95. Уравнение плоской электромагнитной волны, распространяющейся в среде с $\mu=1$, имеет вид $E = 10 \sin(2\pi \cdot 10^8 t - 4,19x)$. Определить диэлектрическую проницаемость среды, длину волны и скорость ее распространения.
96. После того, как между внутренним и внешним проводниками кабеля поместили диэлектрик, скорость распространения электромагнитных волн в кабеле уменьшилась на 63%. Определить диэлектрическую восприимчивость вещества прослойки.
97. В вакууме вдоль оси X распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности магнитного поля волны равна 1 мА/м. Определить амплитуду напряженности электрического поля волны.
98. Два параллельных провода, одни концы которых изолированы, погружены в трансформаторное масло, а вторые индуктивно соединены с генератором электромагнитных колебаний. При частоте 505 МГц в системе возникают стоячие электромагнитные волны. Расстояние между двумя пучностями стоячих волн равно 20 см. Принимая магнитную проницаемость масла равной единице, определить его диэлектрическую проницаемость.
99. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью $c=888$ пФ и катушки с индуктивностью $L=2$ мГн. На какую длину волны λ настроен контур?
100. Длина электромагнитной волны в вакууме, на которую настроен колебательный контур, равна 12 м. Пренебрегая активным сопротивлением контура, определить максимальный заряд на обкладках конденсатора, если максимальная сила тока в контуре $I_m=1$ А.

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. Основные физические постоянные

<i>Физическая постоянная</i>	<i>Обозначение</i>	<i>Числовое значение</i>
Ускорение свободного падения	g	$9,81 \text{ м/с}^2$
Скорость света в вакууме	c	$3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Элементарный заряд	e	$1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Отношение заряда электрона к его массе	e/m	$1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$

2. Диэлектрическая проницаемость диэлектриков

Вода	81	Парафин	2	Слюда	6
Керосин	2	Масло	5	Стекло	6

3. Удельное сопротивление проводников (при 0°C) ρ , 10^{-6} Ом·м

Вольфрам	0,055	Медь	0,017	Серебро	0,016
Железо	0,098	Алюминий	0,027	Нихром	1,0

4. Свойства некоторых жидкостей (при 20°C)

Вещество	Плотность, кг/м^3	Удельная теплоемкость, Дж/(кгК)
Вода	1000	4190
Глицерин	1200	2430
Касторовое масло	900	1800
Керосин	800	2140
Ртуть	13600	138
Спирт	790	2510

5. Свойства некоторых твердых тел

Вещество	Плотность, кг/м ³	Температура плавления, °С	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)	Удельная теплота плав- ления, кДж/кг
Алюминий	2600	659	896	322
Железо	7900	1530	500	272
Латунь	8400	900	386	-
Лед	900	0	2100	335
Медь	8600	1100	395	176
Серебро	10500	960	234	88
Сталь	7700	1300	460	-
Цинк	7000	420	391	117
Свинец	11300	327	126	22,6

6. Масса m_0 покоя некоторых частиц

Частица	m_0 , кг	
	Электрон	0,0005486
Протон	1,007277	$1,67 \cdot 10^{-27}$
α -частица	4,001507	$6,64 \cdot 10^{-27}$

При разработке методического пособия была использована литература:

1. Физика: Методические указания и контрольные задания для студентов-заочников инженерно-экономических специальностей вузов/В.Л. Прокофьев, В.Ф. Дмитриева, В.А. Рябов и др.; Под ред. В.Л. Прокофьева. – М.: Высш. шк., 1988. – 111 с.
2. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике: учебное пособие. – М.: Высш. шк., 1981. – 496 с.
3. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики: Учебное пособие для студентов втузов. - М.: Высш. шк., 1996. – 303 с.
4. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики: Учебное пособие. - М.: Наука, 1985. – 384 с.
5. Физика: Задания к практическим занятиям: Учеб. пособие для вузов/ И.И. Рубан, С.М. Жаврид, Н.Е. Великевич, Ж.П. Лагутина; Под общ. ред. Ж.П. Лагутиной. – Мн.: Высш. шк., 1989. – 236 с.
6. Фирганг Е.В. Руководство к решению задач по курсу общей физики. Учеб. пособие для втузов. – М.: Высш. шк., 1978. – 351 с.