

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Санкт-Петербургский государственный горный университет

Кафедра общей и технической физики

ФИЗИКА

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

*Методические указания и контрольные задания
для самостоятельной работы*

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Физика» является одной из основных фундаментальных учебных дисциплин и составляет основу теоретической подготовки инженеров и бакалавров к успешному освоению дисциплин естественнонаучного и профессионального циклов.

Изучение курса физики способствует: формированию у студентов подлинно научного физического мировоззрения и развитию научного стиля мышления; развитию способностей ориентироваться в потоке научной и технической информации, анализировать и применять в конкретных областях техники будущей профессиональной деятельности физические принципы и методы.

Контрольные работы и контроль приобретенных навыков (проверка и защита) являются частью фондов оценочных средств и методов контроля, позволяющие оценить знания, умения и уровень приобретаемых студентами компетенций.

Выполнение студентами контрольных работ, сопровождающееся самостоятельным чтением учебной, учебно-методической и справочной литературы это неотъемлемая часть образовательных технологий.

В процессе освоения приемов и методов решения конкретных задач из различных областей физики происходит развитие познавательных и творческих способностей студентов формирование умения выделить конкретное физическое содержание в прикладных физических задачах их будущей деятельности

Студент, выполняя контрольные работы, *должен изучить и уметь использовать:*

основные понятия, законы и модели классической механики, методы расчета и численной оценки величин, характерных для данного раздела естествознания, методы теоретических исследований в физике (физико-математический анализ, синтез, абстрагирование, идеализация, обобщение и ограничение, аналогия и др.).

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ

Для студентов очной формы обучения самостоятельная работа является одной из форм образовательной технологии. В свою очередь для студентов-заочников самостоятельная работа является основной формой обучения.

К выполнению контрольных заданий целесообразно приступать только после изучения теоретического и методического материала, соответствующего данному разделу программы.

При самостоятельной работе над учебным материалом необходимо:

- изучать курс физики систематически в течение всего учебного процесса, так как в противном случае материал будет усвоен поверхностно;
- внутри определенного раздела курса физики рекомендуется пользоваться каким-то одним учебником или учебным пособием (или ограниченным числом), чтобы не утрачивалась логическая связь между отдельными вопросами;
- проработать лекционный материал и соответствующие разделы учебника, учебного пособия и методических указаний;
- ознакомиться и проработать задачи, представленные в разобранных примерах данных методических указаний и в рекомендуемой учебной литературе;
- составить конспект, в котором записывать законы и формулы, выражающие эти законы; определения основных физических понятий и сущность физических явлений;
- для самоконтроля правильности усвоения теоретического материала рекомендуется ответить на контрольные вопросы, предложенные в рекомендуемой учебно-методической литературе.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Рекомендации к решению и оформлению контрольных задач

Выписать отдельно величины, заданные в условии задачи и величины, которые необходимо определить.

Числовые значения физических величин должны быть переведены в международную систему единиц измерений (СИ).

Выполнить рисунок или начертить схему (если требуется для решения задачи), сопровождая их пояснениями.

Окончательный результат представить в общем виде, т.е. преобразовать выражение для определяемой величины так, чтобы в него входили лишь буквенные обозначения величин, заданных в условии задачи или введенных самостоятельно, а также необходимые физические константы.

Не производить промежуточных вычислений физических величин.

Выполнить проверку размерности, т.е. убедиться в правильности размерности искомой величины, подставив обозначения единиц измерения в окончательную формулу.

Подставить числовые значения, выраженные в единицах СИ, в окончательную формулу и произвести вычисления, используя (где это необходимо) правила приближенных вычислений.

Ответ задачи в общем виде и числовое значение искомой величины с обязательным указанием размерности записать отдельно после решения, предвывая словом «Ответ:»

Ниже приведены основные формулы, используемые студентом при изучении вопросов электричество и магнетизма, примеры решения и оформления контрольных задач, контрольные задания.

При решении задач раздела «Электричество и магнетизм» необходимо использовать справочные таблицы данного пособия для определения физических свойств материалов и диэлектрических свойств среды, констант и единиц измерений физических величин.

Требования к оформлению контрольных работ и порядок их представления на рецензию для студентов заочной формы обучения

Работу выполнять чернилами в обычной тетради.

На титульном листе указать фамилию и инициалы студента, шифр и домашний адрес, наименование дисциплины, номер контрольной работы.

Условия задач своего варианта переписывать полностью.

Каждую задачу начинать на новой странице.

Исходные данные задачи можно выписать отдельно.

Для замечаний рецензента оставлять поля.

Привести список учебной литературы, используемой при выполнении контрольной работы.

Выполненные контрольные работы должны быть высланы студентом-заочником по почте или лично переданы в деканат заочного отделения в сроки, указанные в учебном плане.

После получения рецензии на контрольную работу студент обязан учесть замечания рецензента и внести исправления в работу.

Если контрольная работа не зачтена, студент должен заново решить те задачи, по которым он получил ошибочные результаты, и представить контрольную работу на повторное рецензирование.

Зачтенные контрольные работы предъявляются преподавателю кафедры физики, и до экзамена студент-заочник должен дать пояснения к решению задач.

В контрольные работы включены задачи четырех разделов:

1. Физические основы механики;
2. Молекулярная физика и термодинамика;
3. Электричество и магнетизм;
4. Элементы физической оптики, квантовой физики атомов, молекул и твердых тел.

Для студентов тех специальностей, учебными планами которых предусмотрены четыре контрольные работы, определение варианта задания проводится по единой для всех четырех контрольных работ таблице вариантов (табл.1). Номер контрольной работы соответствует номеру раздела, из которого необходимо

решить задачи, указанные в строке соответствующего варианта. В контрольную работу №3 включены задачи из раздела 3 «Электричество и магнетизм». Каждый вариант содержит восемь задач. Студент-заочник должен решать задачи того варианта, номер которого совпадает с последней цифрой шифра его зачетной книжки.

Таблица 1.

Вариант	Номера задач контрольной работы №3							
	1	11	21	31	41	51	61	71
1	1	11	21	31	41	51	61	71
2	2	12	22	32	42	52	62	72
3	3	13	23	33	43	53	63	73
4	4	14	24	34	44	54	64	74
5	5	15	25	35	45	55	65	75
6	6	16	26	36	46	56	66	76
7	7	17	27	37	47	57	67	77
8	8	18	28	38	48	58	68	78
9	9	19	29	39	49	59	69	79
0	10	20	30	40	50	60	70	80

Например, студент, у которого последняя цифра шифра зачетной книжки 8, решает в контрольной работе 3 задачи из раздела «Электричество и магнетизм» под номерами 8, 18, 28, 38, 48, 58, 68, 78.

Для студентов тех специальностей, учебными планами которых предусмотрены две контрольные работы, номер варианта определяется так же по последней цифре шифра его зачетной книжки, а номера задач по таблице 2 в соответствии с вариантом. В таблицу 2 включены номера задач из двух разделов: «Электричество и магнетизм» (раздел 3) и «Элементы физической оптики, квантовой физики атомов, молекул и твердых тел» (раздел 4).

Таблица 2

Вариант	Номера задач контрольной работы 2							
	Раздел 3				Раздел 4			
1	1	21	41	61	11	31	51	71
2	2	22	42	62	12	32	52	72
3	3	23	43	63	13	33	53	73
4	4	24	44	64	14	34	54	74
5	5	25	45	65	15	35	55	75
6	6	26	46	66	16	36	56	76
7	7	27	47	67	17	37	57	77
8	8	28	48	68	18	38	58	78
9	9	29	49	69	19	39	59	79
0	10	30	50	70	20	40	60	80

ПРОГРАММА РАЗДЕЛА «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ»

Электростатика в вакууме и веществе. Электрический заряд и его свойства. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона. Электрическое поле. Напряженность поля. Принцип суперпозиции полей. Силовые линии поля. Поток вектора напряженности. Теорема Остроградского-Гаусса. Вычисление напряженности поля различных заряженных тел. Потенциал. Связь между напряженностью электрического поля и потенциалом. Работа сил электрического поля при перемещении зарядов. Проводники в электрическом поле. Энергия электрического поля. Электроемкость проводников. Конденсаторы. Энергия заряженного проводника. Энергия заряженного конденсатора. Энергия электрического поля. Объемная плотность энергии.

Электрическое поле в диэлектриках. Свободные и связанные заряды. Электрический диполь. Электрический момент диполя. Полярные и неполярные молекулы. Поляризация диэлектриков. Электрическое смещение.

Постоянный электрический ток. Сила тока. Плотность тока. Закон Ома для участка цепи. Сопротивление проводников. Источники тока. Электродвижущая сила. Закон Ома для полной

9

цепи. Закон Ома для замкнутой цепи. Разветвленные цепи. Правила Кирхгофа. Работа и мощность тока. Закон Джоуля - Ленца. Электрический ток в жидкостях и газах.

Магнитостатика в вакууме и веществе. Магнитное поле в вакууме. Магнитное взаимодействие токов. Магнитное поле. Закон Ампера. Магнитная индукция. Силовые линии магнитного поля. Магнитное поле движущихся зарядов. Сила Лоренца. Закон Био-Савара-Лапласа для элемента тока. Поле прямолинейного и кругового токов. Магнитный момент кругового тока.

Понятие об элементарных токах. Намагничивание вещества. Намагниченность. Магнитная восприимчивость. Магнитная проницаемость. Магнитное поле в веществе. Напряженность магнитного поля. Виды магнетиков. Диамагнетизм. Парамагнетизм. Ферромагнетизм.

Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях. Действие магнитного и электрического полей на движущуюся заряженную частицу. Определение заряда и массы электрона. Ускорители заряженных частиц.

Электромагнитная индукция. Явление электромагнитной индукции. Возникновение электрического поля при изменении магнитного поля. Индукционный ток. Правило Ленца. Закон электромагнитной индукции Фарадея. Явление самоиндукции. Индуктивность. Взаимная индукция. Энергия магнитного поля.

Основы теории Максвелла для электромагнитного поля. Вихревое электрическое поле. Ток смещения. Уравнения Максвелла для электромагнитного поля.

Колесания и волны. Механические и электромагнитные колебания. Сложение колебаний. Свободные и вынужденные колебания. Колебательный контур. Основное уравнение колебательного контура. Собственные колебания контура. Формула Томсона. Переменный электрический ток. Индуктивность и емкость в цепи переменного тока. Волновые процессы. Волновые дифференциальные уравнения. Экспериментальные исследования и применения электромагнитных волн. Энергия и импульс электромагнитного поля.

10

УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ЗАДАЧИ ДЛЯ ВАРИАНТОВ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Ниже даны основные формулы, используемые при изучении разделов электричества и магнетизма, примеры решения и оформления контрольных задач, задачи для выполнения вариантов контрольных работ.

1. Электростатика в вакууме и веществе

Закон Кулона:

$$\text{в вакууме} \quad \vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{e}_r,$$

$$\text{в веществе} \quad \vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 \epsilon} \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{e}_r,$$

где \vec{F} – сила взаимодействия зарядов q_1 и q_2 ; r – расстояние между зарядами; ϵ_0 – электрическая постоянная; ϵ – диэлектрическая проницаемость среды; \vec{e}_r – орт-вектор направления действия силы.

Закон сохранения заряда

$$\sum_{i=1}^n q_i = const,$$

где n – число зарядов.

Напряженность электрического поля

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q},$$

где q – заряд, помещенный в электрическом поле.

Линейная плотность заряда

$$\tau = \frac{dq}{dl}.$$

Поверхностная плотность заряда

11

$$\sigma = \frac{dq}{dS},$$

где dq – элементарный заряд, $d\ell$, dS , dV – элементы длины, площади и объема.

Принцип суперпозиции электрических полей

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i.$$

Модуль напряженности в случае суперпозиции двух полей

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 E_2 \cos \alpha},$$

где α – угол между E_1 и E_2 .

Потенциальная энергия поля точечного заряда

$$W_{\text{п}} = q\varphi.$$

Потенциал электрического поля точечного заряда q на расстоянии r

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}.$$

Потенциал поля металлической сферы радиусом R , несущей заряд q на расстоянии r от центра

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon R}, \quad r = R;$$

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}, \quad r > R.$$

Связь напряженности и потенциала электрического поля

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

где $\text{grad } \varphi$ – градиент потенциала.

Для сферической симметрии поля

$$\vec{E} = -\frac{d\varphi}{dr} \vec{r} = \frac{d\varphi}{dr} \vec{e}_r.$$

12

2. Постоянный электрический ток

Сила электрического тока в общем случае

$$I = \frac{dq}{dt}.$$

Сила постоянного электрического тока

$$I = \frac{q}{t}.$$

Плотность электрического тока

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

где S – площадь поперечного сечения проводника; dq – элементарный заряд, переносимый за время dt через сечение S .

Закон Ома для участка цепи

$$I = \frac{U}{R},$$

где U – разность потенциалов на концах участка и R – сопротивление этого участка.

Сопротивление проводника $R = \rho \frac{\ell}{S}$,

где ρ – удельное сопротивление; ℓ – длина.

Закон Ома для замкнутой цепи

$$I = \frac{\epsilon}{R + r},$$

где ϵ – ЭДС источника; r – внутреннее сопротивление (сопротивление источника).

Работа электрического тока на участке цепи

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

Полезная мощность, выделяемая на внешнем участке цепи

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

13

Полная мощность, выделяемая в цепи

$$P_{\text{общ}} = I\epsilon = I^2(R + r).$$

КПД элемента

$$\eta = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{общ}}} = \frac{R}{R + r}.$$

Максимальная полезная мощность, выделяемая во внешней цепи

$$\text{при } R = r \quad P_{\text{пmax}} = \left(\frac{\epsilon}{2r}\right)^2 r = \frac{\epsilon^2}{4r}.$$

Первое правило Кирхгофа

$$\sum I_k = 0.$$

Второе правило Кирхгофа

$$\sum I_k R_k = \sum \epsilon_k.$$

3. Магнитостатика в вакууме и веществе

Магнитная индукция \vec{B} связана с напряженностью \vec{H} магнитного поля соотношением

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

где μ – относительная магнитная проницаемость среды; μ_0 – магнитная постоянная.

Модуль магнитной индукции в центре и на оси кругового проводника с током I

$$B = \frac{\mu_0 I I}{2R}, \quad B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2P_m}{(R^2 + r^2)^{3/2}}.$$

где R – радиус кругового контура с током; P_m – магнитный момент контура с током.

Модуль индукции магнитного поля, создаваемого отрезком прямого проводника с током

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

где α – расстояние от проводника с током до точки, где определяется

напряженность; α_1 и α_2 – углы между отрезком проводника и радиус-вектором, проведенным из рассматриваемой точки к концам отрезка проводника;

Величина индукции и напряженности магнитного поля, создаваемого бесконечно длинным прямым проводником с током

$$B = \frac{\mu_0 I I}{4\pi a}, \quad H = \frac{I}{2\pi a}.$$

Закон Био – Савара – Лапласа

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I I}{4\pi^3} [d\vec{\ell} \vec{r}],$$

где $d\vec{B}$ – магнитная индукция поля, создаваемого элементом проводника с током $d\vec{\ell}$, I – сила тока, \vec{r} – радиус-вектор, проведенный от середины элемента проводника к точке, где определяется индукция.

Закон Ампера. Сила, действующая на элемент $d\vec{\ell}$ проводника с током, находящегося в магнитном поле

$$d\vec{F} = [d\vec{\ell} \vec{B}] I,$$

где I – сила тока; $d\vec{\ell}$ – элемент проводника, совпадающий по направлению с током; \vec{B} – магнитная индукция поля.

Модуль вектора $d\vec{F}$

$$dF = B I d\ell \sin \alpha,$$

где α – угол между $d\vec{\ell}$ и \vec{B} .

На замкнутый контур с током, а также на магнитную стрелку в магнитном поле действует пара сил с вращающим моментом \vec{M} .

Модуль вращающего момента

$$M = B I S \sin \alpha, \quad \text{или } M = p_m B \sin \alpha,$$

где p_m – модуль магнитного момента контура с током (или магнитной стрелки); α – угол между направлением магнитного поля и нормалью к плоскости контура (или осью стрелки).

Магнитный момент контура с током

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

15

14

где S - площадь контура, \vec{S} - псевдовектор площади плоскости контура.

Два параллельных бесконечно длинных прямолинейных проводника с токами I_1 и I_2 взаимодействуют между собой с силой, модуль которой

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} \ell,$$

где ℓ - длина участка проводников, a - расстояние между ними.

4. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях

Магнитная сила, действующая на движущейся заряд

$$\vec{F} = q[\vec{v}\vec{B}], \quad F = qvB \sin \alpha.$$

Сила Лоренца, действующая в магнитном и электрическом поле на движущуюся заряженную частицу.

$$\vec{F} = q\vec{E} + q[\vec{v}\vec{B}],$$

где q - величина заряда; \vec{v} - его скорость; \vec{E} , \vec{B} - напряженность электрического и магнитного полей; α - угол между \vec{v} и \vec{B} .

5. Электромагнитная индукция

Магнитный поток

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha \quad \text{или} \quad \Phi = L \cdot I$$

Закон электромагнитной индукции Фарадея.

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} N \quad \text{или} \quad \varepsilon_i = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

где

ЭДС самоиндукции

$$\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt} \quad \text{или} \quad \varepsilon_s = -L \cdot \frac{dI}{dt}$$

где Φ - магнитный поток через поверхность; S - площадь

16

поверхности; α - угол между нормалью к поверхности и вектором магнитной индукции; L - индуктивность контура; I - сила тока в контуре; ε_i - ЭДС индукции в контуре (В), $\frac{d\Phi}{dt}$, $\frac{dI}{dt}$ - скорость изменения магнитного потока, пересекающего контур и силы тока в контуре, N - число витков в контуре.

6. Колебания и волны

Уравнение гармонических колебаний

$$x = A \cos(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

Сложение колебаний одинакового направления и одинаковой частоты

Результатом сложения двух гармонических колебаний x_1 и x_2 , определяемых уравнениями

$$x_1 = A_1 \cos(\omega \cdot t + \varphi_1) \quad \text{и} \quad x_2 = A_2 \cos(\omega \cdot t + \varphi_2),$$

является гармоническое колебание той же частоты:

$$x = x_1 + x_2 = A \cos(\omega t + \varphi),$$

где φ_0 - начальная фаза, A - амплитуда результирующего колебания, ω - циклическая частота, φ - начальная фаза результирующего колебания, $1, 2$ - индексы соответствующие параметрам слагаемых колебаний.

Амплитуда результирующего колебания

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Начальная фаза результирующего колебания

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2}$$

Сложение взаимно перпендикулярных гармонических колебаний

Материальная точка колеблется одновременно вдоль осей координат OX и OY по законам:

$$x = A \cos \omega t, \quad y = B \cos(\omega t + \varphi),$$

где A и B - амплитуды исходных колебаний.

17

φ - начальная фаза одного из колебаний (разность фаз обоих колебаний).

Уравнение траектории результирующего колебания.

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} - \frac{2xy}{AB} \cos \varphi = \sin^2 \varphi$$

Затухающие колебания.

Уравнение затухающих колебаний

$$x = A(t) \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

где $A(t)$ - амплитуда затухающих колебаний в момент времени t ; ω_0 - круговая частота затухающих колебаний; φ_0 - начальная фаза.

Зависимость амплитуды затухающих колебаний от времени

$$A(t) = A_0 e^{-\delta t}$$

где A_0 - амплитуда колебаний в момент времени $t = 0$; δ - коэффициент затухания; $\delta = \frac{r}{2m}$ (r - коэффициент сопротивления, m - масса осциллятора).

Круговая частота затухающих колебаний

$$\omega_s = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$$

где ω_0 - собственная циклическая частота.

Логарифмический декремент затухания

$$\theta = \frac{1}{N} \ln \frac{A_n}{A_{n+N}} = \delta T,$$

где A_n - амплитуда n -го колебания, A_{n+N} - амплитуда $(n + N)$ -го колебания; N - число полных колебаний, прошедших между измерениями; T - период колебаний.

Добротность колебательной системы

$$Q = \frac{\pi}{\theta}$$

Амплитуда вынужденных колебаний

$$A = \frac{F_0}{m \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\delta^2 \omega^2}},$$

18

где $F = F_0 \sin \omega t$; F_0 - амплитуда вынуждающей силы.

Отставание по фазе вынужденных колебаний от вынуждающей силы

$$\varphi_0 = \arctg \frac{2\delta\omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)},$$

Резонансная частота

$$\omega_p = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2}.$$

Резонансная амплитуда

$$A_p = \frac{F_0}{2m\delta\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}}.$$

Волновые процессы.

Связь длины волны λ , периода T колебаний и частоты ν

$$\lambda = VT, \quad V = \lambda\nu,$$

где V - скорость распространения колебаний.

Уравнение плоской волны, распространяющейся вдоль положительного направления оси x

$$y(x, t) = A \cos(\omega t - kx),$$

где $y(x, t)$ - смещение точек среды с координатами x в момент времени t ; A - амплитуда волны; ω - круговая частота;

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}; \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} - \text{волновое число.}$$

Уравнение стоячей волны

$$y(x, t) = A \cos(\omega t - kx),$$

Разность фаз колебаний двух точек среды, расстояние между которыми равно Δx

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta x}{\lambda}.$$

19

Колебательный контур

Период T электромагнитных колебаний в контуре, состоящем из ёмкости C , индуктивности L и сопротивления R , определяется формулой

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

Если сопротивление контура настолько мало, что

$$\left(\frac{R}{2L}\right)^2 \ll \frac{1}{LC}, \text{ то}$$

период колебаний (формула Томсона)

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

Связь длины электромагнитной волны с периодом T и частотой ν

$$\lambda = CT = c/\nu,$$

где c – скорость электромагнитной волны в вакууме.

Сила тока в контуре

$$I = I_{\max} \cos\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right);$$

напряжение на конденсаторе

$$U = U_{\max} \cos(\omega t + \varphi_0),$$

где I_{\max} , U_{\max} – максимальные значения тока и напряжения; ω – циклическая частота; φ_0 – начальная фаза.

Энергия магнитного поля контура

$$W_M = \frac{LI^2}{2}$$

Энергия электрического поля контура

$$W_E = \frac{CU^2}{2}$$

Полная энергия электромагнитного контура

$$W_{\text{полн}} = \frac{LI^2}{2} + \frac{CU^2}{2} = \frac{LI_{\max}^2}{2} = \frac{CU_{\max}^2}{2}$$

7. Примеры решения и оформления контрольных задач

Пример 1. Через четверть периода смещение колеблющейся точки равно $x = 4,5$ см. Период её затухающих колебаний $T = 4$ с; логарифмический декремент затухания $\theta = 1,6$; начальная фаза $\varphi_0 = 0$. Записать уравнение этих колебаний и построить график колебаний в пределах двух периодов.

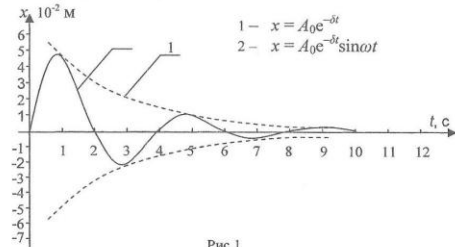


Рис.1

Дано:

$T = 4$ с
 $\theta = 1,6$
 $x = 4,5$ см
 $t = \frac{T}{4}$
 $x(t) = ?$

Решение

В общем случае уравнение затухающих колебаний

$$x = A_0 e^{-\delta t} \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (1)$$

Параметры A_0 , δ , ω , подлежащие определению. По условию задачи $\varphi_0 = 0$.

Значения коэффициента затухания δ и частоты затухающих колебаний ω ,

$$\delta = \frac{\theta}{T} = \frac{1,6}{4} = 0,4 \text{ с}^{-1}; \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{\pi}{2} \text{ с}^{-1}.$$

Из формулы (1) определим амплитуду A_0

$$A_0 = \frac{x e^{\delta t}}{\sin(\omega t + \varphi_0)} \quad (2)$$

Согласно начальным условиям $x = 4,5$ см при $t = \frac{T}{4} = \frac{4}{4} = 1$ с,

и после подстановки численных значений в (2) получим

$$A_0 = \frac{4,5 \exp(0,4)}{\sin(\pi/2)} = 67 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (3)$$

Подставив в (1) все найденные значения параметров, запишем искомое уравнение в окончательном виде

$$x = 0,067 e^{-0,4t} \sin \frac{\pi}{2} t \quad (4)$$

Для построения графика колебаний $x(t)$ найдем моменты времени, при которых смещение x принимает максимальные значения. Учитывая, что в эти моменты скорость $v = \frac{dx}{dt} = 0$, получим после дифференцирования

$$v = A_0 e^{-\delta t} \omega \cos(\omega t) - A_0 \delta e^{-\delta t} \sin(\omega t) = 0.$$

$$\text{Следовательно: } \operatorname{tg} \omega t = \frac{\omega}{\delta} = \frac{2\pi}{\theta} = 3,92 \text{ и}$$

$$\omega t = 75,71^\circ \approx 0,42\pi$$

$$\text{Отсюда время; } t = \frac{0,42\pi}{\omega} = 0,84 \text{ с.}$$

Таким образом, смещение x имеет максимальные значения в моменты времени

$$t_1 = 0,84 \text{ с, } t_2 = t_1 + \frac{T}{2} = 0,84 + 2 = 2,84 \text{ с, } t_3 = t_1 + T = 4,84$$

$$\text{с, } t_4 = t_1 + \frac{3}{2}T = 6,84 \text{ с и т.д.}$$

Подставляя найденные значения t в (4), найдем соответствующие значения x для построения графика:

$$x_1 = 46 \cdot 10^{-3} \text{ м, } x_2 = 24,7 \cdot 10^{-3} \text{ м, } x_3 = 9,5 \cdot 10^{-3} \text{ м, } x_4 = -4,29 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Ответ: уравнение колебаний $x = 0,067 e^{-0,4t} \sin \frac{\pi}{2} t$.

Пример 2. Электрическое поле создано бесконечной плоскостью, заряженной с поверхностной плотностью $\sigma = 400 \text{ нКл/м}^2$, и прямой бесконечной нитью, заряженной с линейной плотностью $\tau = 100 \text{ нКл/м}$. На расстоянии $r = 10 \text{ см}$ от нити находится точечный заряд $Q = 10 \text{ нКл}$. Определить силу, действующую на заряд.

Дано:

$\sigma = 400 \text{ нКл/м}^2$
 $\tau = 100 \text{ нКл/м}$
 $r = 10 \text{ см}$
 $Q = 10 \text{ нКл}$
 $F = ?$

СИ

$4 \cdot 10^7 \text{ Кл/м}^2$
 $0,1 \text{ м}$
 10^{-8} Кл

Решение

Модуль силы, действующей на заряд, помещенный в поле

$$F = EQ,$$

здесь E – модуль напряженности поля в точке, где находится заряд Q .

Определим напряженность поля, создаваемого, по условию задачи, бесконечной заряженной плоскостью и бесконечной заряженной нитью.

Поле, создаваемое плоскостью, однородно, и его напряженность в любой точке:

$$E_1 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}.$$

Поле заряженной линии неоднородно и его напряженность определяется по формуле:

$$E_2 = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 r}.$$

Согласно принципу суперпозиции электрических полей, напряженность поля в точке, где находится заряд Q :

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

Так как векторы \vec{E}_1 и \vec{E}_2 взаимно перпендикулярны, модуль вектора \vec{E} :

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2},$$

или

$$E = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2\epsilon_0}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 r}\right)^2}.$$

Используя формулу для силы, получим

$$F = \frac{Q}{2\epsilon_0} \sqrt{\sigma^2 + \frac{\tau^2}{\pi^2 r^2}}.$$

Проверка размерности

$$[F] = \frac{Кл \cdot м \cdot Кл}{\phi \cdot м^2} = \frac{Кл \cdot В \cdot Кл}{Кл \cdot м} = \frac{Н \cdot м}{м} = Н.$$

Подставив числовые значения, получим

$$F = \frac{10^{-8}}{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \sqrt{4^2 \cdot 10^{-14} + \frac{10^{-16}}{3,14^2 \cdot 10^{-2}}} \approx \frac{10^{-3} \cdot 4}{2 \cdot 8,85} = 289 \cdot 10^{-6} Н.$$

Ответ: сила, действующая на заряд, равна $F = 289 \cdot 10^{-6} Н$.

8. Задачи для выполнения вариантов контрольных работ

- Вычислить ускорение, сообщаемое одним электроном другому, находящемуся от первого на расстоянии 1 м.
- Два точечных заряда, находясь в воздухе, на расстоянии 20 см друг от друга, взаимодействуют с некоторой силой. На каком расстоянии нужно поместить эти заряды в масле с диэлектрической проницаемостью 5, чтобы получить ту же силу взаимодействия?
- В вершинах квадрата со стороной 10 см находятся одинаковые заряды по 0,3 нКл каждый. Определить модуль и направление силы, действующей на один из зарядов со стороны трех других.
- В вершинах правильного шестиугольника со стороной 10 см расположены одинаковые точечные заряды $Q=0,1$ мкКл. Найти модуль и направление силы, действующей на один из зарядов со стороны пяти других.
- Тонкое кольцо радиусом 30 см несёт равномерно

24

распределённый заряд 2 мкКл. Определить модуль силы, действующей на точечный заряд 40 нКл, расположенный на оси кольца на расстоянии 40 см от плоскости кольца.

6. Два шарика, массой по 0,1 г каждый, подвешены в одной точке на нитях длиной 20 см каждая. Получив одинаковый заряд, шарики разошлись так, что нити образовали между собой угол 60° . Найти заряд каждого шарика.

7. Сила гравитационного притяжения двух водяных одинаково заряженных капелек радиусами 0,1 мм уравновешивается кулоновской силой отталкивания. Определить заряд капелек.

8. Свинцовый шарик диаметром 0,5 см помещен в глицерин. Определить заряд шарика, если в однородном электростатическом поле шарик оказался взвешенным в глицерине. Электростатическое поле направлено вертикально вверх, и его напряженность $E=4$ кВ/см.

9. В вершинах квадрата со сторонами 5 см находятся положительные одинаковые заряды по 2 нКл. Определить напряженность электростатического поля в центре квадрата и в середине одной из сторон квадрата.

10. Тонкое полукольцо радиусом 10 см несёт равномерно распределённый заряд с линейной плотностью 1 мкКл/м. В центре кривизны полукольца находится заряд 20 нКл. Определить силу взаимодействия точечного заряда и заряженного полукольца.

11. В центре сферы радиуса 20 см находится точечный заряд 10 нКл. Определить поток вектора напряженности через часть сферической поверхности площадью 20 см^2 .

12. Электрическое поле создано двумя бесконечными параллельными пластинами, несущими одинаковый равномерно распределённый по площади заряд с поверхностной плотностью 1 нКл/м². Определить модуль напряженности поля: а) между пластинами; б) вне пластин. Построить график изменения напряженности вдоль линии, перпендикулярной пластинам.

13. На бесконечном тонкостенном цилиндре диаметром 20 см равномерно распределён заряд с поверхностной плотностью 4 мкКл/м². Определить модуль напряженности поля в точке, отстоящей от поверхности цилиндра на 15 см.

25

14. Длинный парафиновый цилиндр радиусом 2 см несёт заряд, равномерно распределённый по объёму с плотностью 10 нКл/м³. Определить модуль напряженности электрического поля и величину вектора электрического смещения в точках, находящихся от оси цилиндра на расстояниях: а) 1 см; б) 3 см. Обе точки равноудалены от концов цилиндра.

15. На металлической сфере радиусом 15 см находится заряд $Q=2$ нКл. Определить модуль напряженности E электростатического поля: на расстоянии $r_1=10$ см от центра сферы; на поверхности сферы; на расстоянии $r_2=20$ см от центра сферы. Построить график зависимости $E(r)$.

16. Точечный заряд 1 мкКл находится вблизи большой равномерно заряженной пластины против её середины. Вычислить поверхностную плотность заряда пластины, если на точечный заряд действует сила 60 мН.

17. На двух коаксиальных бесконечных цилиндрах радиусами 3 см и 6 см равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями $\sigma_1=100$ нКл/м² и $\sigma_2=50$ нКл/м² соответственно. Пространство между цилиндрами заполнено парафином с диэлектрической проницаемостью 2. Найти напряженность электрического поля в точках, удаленных от оси цилиндров на расстояния 1 см, 5 см, 9 см.

18. Электрическое поле создано прямой бесконечной равномерно заряженной нитью с линейной плотностью заряда 0,3 мкКл/м. Определить поток электрического смещения через прямоугольную площадку, две большие стороны которой параллельны заряженной нити и одинаково удалены от неё на расстояние 20 см. Стороны площадки имеют размеры $a=20$ и $b=40$ см.

19. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено парафином. Расстояние между пластинами $d=8,85$ мм. Какую разность потенциалов необходимо подать на пластины, чтобы поверхностная плотность связанных зарядов на парафине составляла 0,1 нКл/см²?

20. Определить поверхностную плотность связанных зарядов на слюдяной пластинке толщиной $d=1$ мм, служащей изолятором

26

плоского конденсатора, если разность потенциалов между пластинами конденсатора $U=300$ В.

21. Расстояние между зарядами 10^{-6} Кл и -10^{-8} Кл равно 55 см. Определить напряженность поля в точке, потенциал которой равен нулю, если точка лежит на прямой, проходящей через заряды.

22. Две параллельные заряженные плоскости, поверхностные плотности зарядов которых $0,2$ мкКл/м² и $-0,3$ мкКл/м², находятся на расстоянии 60 см друг от друга. Определить разность потенциалов между плоскостями.

23. Имеются две металлические концентрические сферы радиусами 3 см и 6 см. Заряд внутренней сферы равен $q_1=1$ нКл, внешней $q_2=2$ нКл. Найти потенциал электрического поля на расстояниях 1 см, 5 см, 9 см от центра сфер.

24. Электрическое поле образовано точечным зарядом $3 \cdot 10^{-9}$ Кл. На каком расстоянии друг от друга расположены эквипотенциальные поверхности с потенциалами 90 и 60 В? На каком расстоянии они будут находиться, если заряд поместить в керосин?

25. Две параллельные плоскости, заряженные с поверхностными плотностями 2 мкКл/м² и 0,8 мкКл/м², находятся на расстоянии 0,6 см друг от друга. Определить разность потенциалов между плоскостями.

26. Бесконечная плоскость равномерно заряжена с поверхностной плотностью 4 нКл/м². Определить значение и направление градиента потенциала электрического поля, созданного этой плоскостью.

27. Металлический шарик диаметром 2 см заряжен отрицательно до потенциала 150 В. Сколько электронов находится на поверхности шарика?

28. Уединенная металлическая сфера электроемкостью $C=4$ пФ заряжена до потенциала $\phi=1$ кВ. Определить энергию поля, заключенную в сферическом слое между сферой и концентрической с ней сферической поверхностью, радиус которой в 4 раза больше радиуса уединенной сферы.

29. Две концентрические проводящие сферы радиусами $R_1=20$ см и $R_2=50$ см заряжены соответственно одинаковыми

27

зарядами $Q = 100$ нКл. Определить энергию электростатического поля, заключенного между этими сферами.

30. Шар, погруженный в масло, имеет поверхностную плотность заряда $\sigma = 1$ мкКл/м² и потенциал $\phi = 500$ В. Определить: радиус шара, заряд шара, емкость шара и энергию шара.

31. Сила тока в проводнике изменяется по закону $I = 4 + 2t$, где сила тока выражена в амперах, время – в секундах. Какой заряд проходит через поперечное сечение проводника за время от $t = 2$ с до $t = 6$ с? При какой силе постоянного тока через поперечное сечение проводника за это же время проходит такой же заряд?

32. Плотность тока в алюминиевом проводнике 1 А/мм². Найти среднюю скорость упорядоченного движения электронов, предполагая, что число свободных электронов в 1 см³ алюминия равно числу атомов.

33. Плотность тока в медном проводнике равна 3 А/мм². Найти напряженность электрического поля в проводнике.

34. Определить среднюю скорость упорядоченного движения электронов в медном проводнике при силе тока 10 А и сечении проводника, равном 1 мм². Принять, что на каждый атом меди приходится два электрона проводимости.

35. Сила тока в проводнике изменяется со временем по закону: $I = 20e^{-100t}$ (сила тока выражена в амперах, время – в секундах). Определить заряд, протекший через сечение проводника за время $0,01$ с.

36. Сила тока в проводнике изменяется со временем по закону: $I = 20e^{-100t}$ (сила тока выражена в амперах, время – в секундах). Определить заряд, протекший через сечение проводника за время $0,01$ с.

37. Электрическая плитка мощностью 1 кВт с нихромовой спиралью предназначена для включения в сеть с напряжением 220 В. Сколько метров проволоки диаметром $0,5$ мм надо взять для изготовления спирали, если температура нити составляет 900°C ? Удельное сопротивление нихрома при 0°C $\rho_0 = 1$ мкОм·м, а температурный коэффициент сопротивления $\alpha = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

38. Определить заряд, прошедший по проводу с сопротивлением 3 Ом при равномерном нарастании напряжения на концах провода

28

от 2 В до 4 В в течение 20 с.

39. При внешнем сопротивлении 3 Ом ток в цепи $0,3$ А, а при внешнем сопротивлении 5 Ом ток равен $0,2$ А. Определить ток короткого замыкания.

40. Определить число последовательно соединенных элементов с ЭДС $1,2$ В и внутренним сопротивлением $0,1$ Ом каждый, если известно, что при подключении полученной батареи к двум параллельно соединенным сопротивлениям 6 и 9 Ом в цепи идет ток 3 А.

41. К участку цепи (см. рис. 2) подходит ток силой $I = 1$ А. Сопротивления $R_1 = R_2 = 10$ Ом; $R_3 = 30$ Ом, ЭДС источника $\varepsilon = 20$ В. Его внутренним сопротивлением пренебречь. Найти силу тока в разветвлениях и разность потенциалов между узлами А и В.

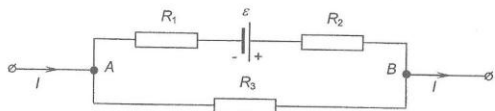


Рис. 2

42. Сила тока в проводнике сопротивлением 100 Ом равномерно нарастает от 0 до 10 А за 30 с. Определить количество теплоты, выделившейся за это время в проводнике.

43. В схеме (см. рис. 3) сопротивление $R = 1,4$ Ом, E_1 и E_2 – два элемента, ЭДС которых одинаковы и равны 2 В. Внутренние сопротивления этих элементов равны соответственно $r_1 = 1$ Ом и $r_2 = 1,5$ Ом. Найти силу тока в каждом из этих элементов и во внешней цепи.

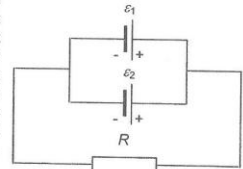


Рис. 3

29

44. По проводнику сопротивлением 3 Ом течёт ток, сила которого возрастает. За 8 с в проводнике выделилось 200 Дж теплоты. Определить заряд, протекший за это время по проводнику. В начальный момент времени сила тока в проводнике равна 0 .

45. К батарее аккумуляторов с ЭДС 2 В и внутренним сопротивлением $0,5$ Ом присоединён проводник. Определить сопротивление проводника, при котором мощность, выделяемая в нём, максимальна и саму эту мощность.

46. Определить ЭДС источника тока в цепи (см. рис. 4), если $R_1 = 4$ Ом; $R_2 = 6$ Ом; $R_3 = 8$ Ом; $I_3 = 1,5$ А. Найти I_1 и I_2 .

47. В медном проводнике объемом 6 см³ при прохождении по нему постоянного тока за 1 минуту выделялась теплота 200 Дж. Вычислить напряженность поля в проводнике.

48. Сила тока в проводнике изменяется со временем по закону: $I = 20e^{-100t}$ (сила тока выражена в амперах, время – в секундах). Определить количество теплоты, выделившееся в проводнике за время $0,01$ с.

49. Даны два элемента с одинаковой ЭДС в 2 В и одинаковым внутренним сопротивлением $0,5$ Ом (см. рис. 5). Найти силы токов, текущих через сопротивления $R_1 = 0,5$ Ом, $R_2 = 1,5$ Ом и через первый элемент.

50. Сила тока в проводнике изменяется по закону $I = 10\sin\omega t$. Найти заряд q , проходящий через поперечное сечение проводника за время, равное половине периода, если частота $\nu = 50$ Гц. Определить, какое количество тепла выделится за это время, если сопротивление проводника $R = 10$ Ом.

30

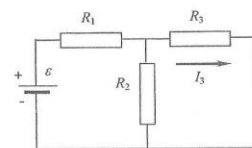


Рис. 4

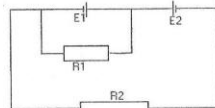


Рис. 5

51. Напряженность магнитного поля в центре кругового витка равна 200 А/м. Магнитный момент витка равен 1 А·м². Вычислить силу тока в витке и радиус витка.

52. По плоскому контуру из тонкого провода (см. рис. 6) течёт ток силой 8 А. Радиус изогнутой части контура $R = 30$ см. Определить значение магнитной индукции поля, создаваемого этим током в точке O.

53. Расстояние между двумя длинными параллельными проводами $0,05$ м. По проводам в одном направлении текут одинаковые токи в 30 А каждый. Найти напряженность магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии $0,04$ м от одного и $0,03$ м от другого провода.

54. Отрезок прямолинейного проводника с током имеет длину 30 см. При каком предельном расстоянии от него для точек, лежащих на перпендикуляре к его середине, магнитное поле можно рассматривать как поле бесконечно длинного прямолинейного тока? Ошибка при таком допущении не должна превышать 5% .

55. По плоскому контуру из тонкого провода (см. рис. 7) течёт ток силой 4 А. Радиус изогнутой части контура $R = 20$ см. Определить значение магнитной индукции поля, создаваемого этим током в точке O.

56. 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?

57. По плоскому контуру из тонкого провода (см. рис. 8) течёт ток силой 3 А. Радиус изогнутой части контура $R = 10$ см. Определить магнитную индукцию поля, создаваемого этим током в точке O.

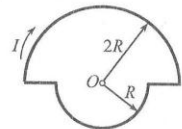


Рис. 6

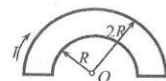


Рис. 7

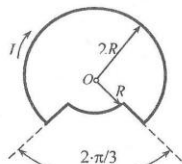


Рис. 8

31

58. По проводнику, изогнутому в виде окружности, течет ток. Напряженность магнитного поля в центре окружности 50 А/м . Не изменяя силы тока в проводнике, ему придали форму квадрата. Определить напряженность магнитного поля в точке пересечения диагоналей квадрата.

59. Тонкое кольцо, несущее равномерно распределенный заряд 10 нКл , вращается с частотой 10 Гц относительно оси, перпендикулярной плоскости кольца и проходящей через его центр. Найти магнитный момент кругового тока, создаваемого кольцом; отношение магнитного момента к моменту импульса, если масса кольца 10 г . Внешний радиус кольца 10 см , внутренний — 5 см .

60. По плоскому контуру из тонкого провода (см. рис. 9) течет ток силой 2 А . Радиус изогнутой части контура $R = 15 \text{ см}$. Определить значение магнитной индукции поля, создаваемого этим током в точке O .

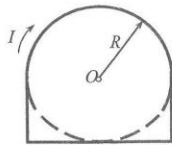


Рис. 9

61. Напряженность однородного магнитного поля в платине равна 5 А/м . Определить магнитную индукцию поля, создаваемого молекулярными токами, если магнитная восприимчивость платины равна $3,6 \cdot 10^4$.

62. По круговому контуру радиусом $R = 40 \text{ см}$, погруженному в жидкий кислород, течет ток $I = 1 \text{ А}$. Определить намагниченность в центре этого контура. Магнитная восприимчивость жидкого кислорода $\chi = 3,4 \cdot 10^3$.

63. В соленоиде без сердечника, содержащем 720 витков, сила тока увеличивается на 10 А за $0,12 \text{ с}$ и при этом возрастает магнитный поток от $1,6$ до $4,1 \text{ мВб}$. Определить индуктивность соленоида, ЭДС самоиндукции и энергию магнитного поля внутри соленоида при силе тока в нем 6 А .

64. По трем параллельным длинным прямым проводам, находящимся на одинаковом расстоянии 10 см друг от друга, в одном направлении текут одинаковые токи силой 100 А . Определить силу, действующую на отрезок 1 м каждого провода.

65. Силу тока в контуре равномерно увеличивают при помощи реостата на $0,6 \text{ А}$ в секунду. Найти среднее значение ЭДС самоиндукции, если индуктивность катушки $5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$.

66. Протон влетел в однородное магнитное поле под углом 60° к направлению линий поля и движется по спирали, радиус которой 25 мм . Индукция магнитного поля $0,05 \text{ Тл}$. Найти кинетическую энергию протона.

67. Плоская рамка площадью 100 см^2 , содержащая 20 витков провода, вращается в однородном магнитном поле с индукцией 100 мТл . Амплитуда ЭДС индукции равна 10 В . Определить частоту вращения рамки.

68. Протон и α -частица, ускоренные одинаковой разностью потенциалов, влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Во сколько раз радиус кривизны траектории протона меньше радиуса кривизны траектории α -частицы?

69. Сила тока I в обмотке соленоида, содержащего $W = 1500$ витков, равна 5 А . Магнитный поток Φ через поперечное сечение соленоида составляет 200 мкВб . Определить энергию магнитного поля в соленоиде.

70. Индуктивность соленоида при длине 1 м и площади поперечного сечения 20 см^2 равна $0,4 \text{ мГн}$. Определить силу тока в соленоиде, при которой объемная плотность энергии магнитного поля внутри соленоида равна $0,1 \text{ Дж/м}^3$.

71. Складываются два взаимно перпендикулярных колебания с одинаковыми периодами $0,4 \text{ с}$ и одинаковой начальной фазой $\pi/3$. Амплитуда одного из колебаний 4 см , второго — 3 см . Найти уравнение результирующего колебания.

72. Электромагнитная волна с частотой $\nu = 5 \text{ МГц}$ переходит из керосина в вакуум. Определить приращение ее длины волны.

73. При сложении двух одинаково направленных гармонических колебаний с одинаковыми амплитудами и периодами получается колебание с той же амплитудой и тем же периодом. Определить разность фаз складываемых колебаний.

74. Колебательный контур содержит катушку индуктивностью $L = 25 \text{ мГн}$, конденсатор емкостью $C = 10 \text{ мкФ}$ и резистор

сопротивлением $R = 1 \text{ Ом}$. Конденсатор заряжен количеством электричества $Q_m = 1 \text{ мКл}$. Определить период колебаний контура и логарифмический декремент затухания колебаний. Записать уравнение для изменения напряжения на обкладках конденсатора в зависимости от времени.

75. Колебательный контур содержит катушку с общим числом витков $N = 100$ индуктивностью $L = 10 \text{ мкГн}$ и конденсатор емкостью $C = 1 \text{ нФ}$. Максимальное напряжение U_m на обкладках конденсатора составляет 100 В . Определить максимальный магнитный поток, пронизывающий катушку.

76. Материальная точка одновременно участвует в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, уравнения которых $x = \cos(2\pi t)$ и $y = \cos(\pi t)$. Найдите уравнение траектории.

77. Колебательный контур имеет емкость 2 нФ и индуктивность 5 мГн . Логарифмический декремент затухания $0,005$. За какое время вследствие затухания потеряется 99% энергии контура?

78. Отраженный от подводной лодки сигнал радиолокатор обнаружил через 36 мкс . Определить расстояние от локатора до подводной лодки.

79. Складываются два гармонических колебания одного направления с амплитудами $0,2 \text{ м}$ и $0,3 \text{ м}$, периодами $T_1 = T_2 = 2 \text{ с}$ и начальными фазами $\pi/3$ и $\pi/6$. Записать уравнение результирующего колебания. Определить амплитуду и начальную фазу результирующего колебания.

80. Определить емкость конденсатора и индуктивность катушки колебательного контура, если период колебаний в контуре $6,28 \text{ мс}$, максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора 100 В , а максимальная сила тока в цепи $0,05 \text{ А}$.

СПРАВОЧНЫЕ ТАБЛИЦЫ

Таблица 3

Основные физические постоянные	
Физическая величина	Численное значение
Атомная единица массы (унифицированная)	$1 \text{ у.а.е.м.} = 1,660531(111) \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 931,481(52) \text{ МэВ}$
Заряд элементарный	$e = 1,6021917(70) \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Заряд удельный электрона	$\frac{e}{m_e} = 1,7588028(54) \cdot 10^{11} \text{ Кл кг}^{-1}$
Масса покоя нейтрона	$m_n = 1,674920(11) \cdot 10^{-27} \text{ кг}$, $M_n = 1,00866520(10) \text{ а.е.м.}$
Масса покоя протона	$m_p = 1,672614(11) \cdot 10^{-27} \text{ кг}$, $M_p = 1,0072766(18) \text{ а.е.м.}$
Масса покоя электрона	$m_e = 9,109558(54) \cdot 10^{-31} \text{ кг}$, $M_e = 5,485930(34) \cdot 10^{-4} \text{ а.е.м.}$
Постоянная Планка	$h = 6,626196(50) \cdot 10^{-34} \text{ Дж с}$, $h = 1,0545919(80) \cdot 10^{-34} \text{ Дж с}$
Скорость света в вакууме	$c = 2,9979250(10) \cdot 10^8 \text{ м с}^{-1}$
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф м}^{-1}$
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн м}^{-1}$

Таблица 4

Основные величины, их обозначение и единицы величин в СИ				
Наименование	Размерность	Наименование	Единица	
			международное	русское
Длина	L	метр	m	м
Время	T	секунда	s	с
Масса	m	килограмм	kg	кг
Сила электрического тока	I	Ампер	A	А
Термодинамическая температура	Θ	Кельвин	K	К
Количество вещества	N	моль	mol	моль
Сила света	J	кандела	cd	кд

Таблица 5
Множители, приставки для образования десятичных и кратных единиц

Множитель	Приставка	
	Наименование	Обозначение
10 ¹²	Тера	Т
10 ⁹	Гига	Г
10 ⁶	Мега	М
10 ³	Кило	к
10 ²	Деци	д
10 ¹	Сант	с
10 ⁻¹	Милли	м
10 ⁻²	Микро	мк
10 ⁻³	Нано	н
10 ⁻⁶	Пико	п

Таблица 6
Производные единицы СИ, имеющие наименование

Величина	Единица		
	наименование	Обозначение	Выражение через основные единицы СИ
Частота	Герц	Гц	с ⁻¹
Сила	Ньютон	Н	кг·м·с ⁻²
Давление	Паскаль	Па	м ² ·кг·с ⁻²
Энергия, работа, количество теплоты	Джоуль	Дж	м ² ·кг·с ⁻²
Мощность, поток энергии	Ватт	Вт	м ² ·кг·с ⁻³
Электрический заряд	Кулон	Кл	А·с
Напряжение, потенциал, ЭДС	Вольт	В	м ² ·кг·с ⁻³ ·А ⁻¹
Емкость	Фарад	Ф	м ² ·кг ⁻¹ ·с ⁴ ·А ²
Электрическое сопротивление	Ом	Ом	м ² ·кг·с ⁻³ ·А ⁻²
Электрическая проводимость	Сименс	См	м ² ·кг ⁻¹ ·с ³ ·А ²
Поток магнитной индукции	Вебер	Вб	м ² ·кг·с ⁻² ·А ⁻¹
Индукция магнитного поля	Тесла	Тл	кг·с ⁻² ·А ⁻¹
Индуктивность	Генри	Гн	м ² ·кг·с ⁻² ·А ⁻²
Световой поток	люмен	лм	кд·ср
Освещенность	люкс	лк	м ⁻² ·кд·ср

Таблица 7
Удельное сопротивление проводников

Вещество	ρ при 20°C, нОм·м	Вещество	ρ при 20°C, нОм·м
Алюминий	28	Никель	73
Бронза оловянная (88% Sn, 12% Sn)	180	Олово	120
Вольфрам	55	Платина	105
Графит	8000–20000	Ртуть	958
Железо		Свинец	210
Золото	98	Сталь	100–140
Латунь (66% Cu, 34% Zn)	24	Серебро	16
Магний	63		
Медь	47	Цинк	59
Молибден	57	Чугун	500

Таблица 8
Плотность твёрдых тел

Твёрдое тело	Плотность, 10 ³ ·кг/м ³	Твёрдое тело	Плотность, 10 ³ ·кг/м ³
Алюминий	2,7	Медь	8,9
Барий	3,5	Никель	8,9
Ванадий	6,0	Свинец	11,3
Висмут	9,8	Серебро	10,5
Железо	7,8	Цезий	1,9
Литий	0,53	Цинк	7,1

Таблица 9
Диэлектрическая проницаемость диэлектриков

Вещество	ε	Вещество	ε
Вода	81	Парафин	2
Керосин	2	Слюда	7
Масло	5	Стекло	6

РЕКОМЕНДУЕМАЯ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

Учебники и учебные пособия

1. Савельев И.В. Курс физики. Т. 2. СПб., М.: Лань, 2008.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 2009.
3. Детлаф А.А. Курс физики / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. М.: Высшая школа, 2009.
4. Яворский Б.М. Основы физики. т. 1, 2 / Б.М. Яворский, А.А. Пинский. М.: Наука, 2009.

Сборники задач

5. Трофимова Т.И. Курс физики. Задачи и решения. М.: Академия, 2009.
6. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике. СПб., М.: Лань, 2007.
7. Рогачев Н.М. Решение задач по курсу общей физики. СПб., М.: Лань, 2008.
8. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. СПб., М.: Лань, 2009.
9. Фирганг Е.В. Руководство к решению задач по курсу общей физики. СПб., М.: Лань, 2009.
10. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики с решениями. М.: Высш. школа, 2009.
11. Чертов А.Г. Задачник по физике / А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. М.: Физматлит, 2009.

Дополнительная литература

12. Трофимова Т.И. Краткий курс физики. М.: Высшая школа, 2010.
13. Свиухин Д.В. Общий курс физики, т. 1-5, М., Наука, 2009.
14. Фриш С.Э. Курс общей физики / С.Э. Фриш, А.В. Тиморева. СПб., М.: Лань, 2008.
15. Калашников Н.П. Физика. Интернет-тестирование базовых знаний / Н.П. Калашников, Н.М. Кожеников. СПб., М.: Лань, 2009. Сайт Росаккредитации www.fepo.ru
17. Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности. -М.: Наука, 1977.

ФИЗИКА
ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

Методические указания и контрольные задания для самостоятельной работы

Составители: Н.Н.Смирнова, А.С.Мустафаев, В.И.Чернобай

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой общей и технической физики

Ответственный за выпуск П.Н.Дмитриев

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 09.06.2011. Формат 60x84/16.

Бум. для копировальной техники. Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 2,2.

Усл.кр.-отт. 2,2. Уч.-изд.л. 2. Тираж 300 экз. Заказ 355. С 168.

Санкт-Петербургский государственный горный университет
 РИЦ Санкт-Петербургского государственного горного университета
 Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2