

ФИЗИКА
МЕХАНИКА, ЭЛЕКТРИЧЕСТВО
И МАГНЕТИЗМ

*Методические указания и контрольные задания
для самостоятельной работы студентов бакалавриата
направления 22.03.02*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2017

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

Кафедра общей и технической физики

ФИЗИКА

МЕХАНИКА, ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

*Методические указания и контрольные задания
для самостоятельной работы студентов бакалавриата
направления 22.03.02*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2017

УДК 531/534 (073)

ФИЗИКА. Механика, электричество и магнетизм: Методические указания и контрольные задания для самостоятельной работы / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *Т.В. Стоянова, А.Ю. Егорова*. СПб, 2017. 60 с.

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта для подготовки бакалавров по дисциплине «Физика».

Предназначены для студентов бакалавриата направления 22.03.02 «Металлургия». Выполняются индивидуально в соответствии с вариантом.

Научный редактор проф. *А.С. Мустафеев*

РЕКОМЕНДАЦИИ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

Настоящие методические рекомендации содержат варианты для самостоятельной работы студентам по основным разделам общей физики: классической механике, колебаниям, молекулярной физике и термодинамике, постоянному электрическому току и электромагнетизму.

В работе студента по изучению физики можно выделить пять основных этапов: самостоятельное изучение теоретического материала по учебникам и учебным пособиям, опираясь на конспект лекций, решение задач, выполнение контрольных и расчётно-графических работ, выполнение лабораторных работ, сдача зачетов и экзаменов.

Процесс решения задач помогает студентам более глубоко и сознательно овладеть изучаемым материалом, а с другой стороны, – знание теоретического материала есть непременное условие умения решать задачи. Поскольку задачи по физике разнообразны как по содержанию, так и по степени трудности, умение их решать приобретает студентом в процессе систематических упражнений, причем, в некоторых случаях необходимо знание специальных методов, приемов, идентичных для определенной группы задач.

При решении задач необходимо руководствоваться следующей схемой:

1. Записать полностью условие задачи. Выписать все величины, входящие в условие и выразить их в одних единицах (преимущественно в Международной системе единиц (СИ)). Решение записать в стандартном виде:

Дано:	Решение:
Найти:	

Ответ:	

2. Осмыслить физическую сущность задачи, представив ее наглядно по возможности в виде четкого рисунка, на котором, условно, указать все параметры, характеризующие те явления, которому соответствует условие задачи.

3. Указать основные законы и формулы, на которых базируется решение задачи, дать словесную формулировку этих законов, разъяснить буквенные обозначения, употребляемые при написании формул. Если при решении задачи применяется формула, полученная для частного случая, не выражающая какой-нибудь физической закон или не являющаяся определением какой-нибудь физической величины, то ее следует вывести. Пояснения должны быть краткими, но исчерпывающими.

4. Решить задачу сначала в общем виде, т.е. в буквенных обозначениях, заданных в условии задачи.

5. Перед построением графиков необходимо получить аналитическое выражение функциональной зависимости. Выбрать удобный масштаб и указать его на осях координат, а так же физические величины и единицы измерения.

6. Убедиться в правильности размерности искомой величины, подставив в рабочую формулу размерности или сокращенные обозначения единиц измерения величин.

7. Дать ответ в численном виде. При вычислении соблюдать правила приближенных вычислений и округлений.

8. Проанализировать полученный результат.

Задачи могут иметь несколько вариантов решения. Контрольные задания необходимо оформить на компьютере. На титульном листе указать: название университета, наименование дисциплины, название работы, фамилию и инициалы студента, фамилию и инициалы ведущего преподавателя, год выполнения работы.

Необходимо полностью переписать задачу своего варианта, а заданные физические величины выписать отдельно, при этом все числовые значения должны быть переведены в одну систему единиц. При получении расчётной формулы приведите её полный подробный вывод.

МЕХАНИКА. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

Кинематическое уравнение движения:

$$\vec{r} = \vec{r}(t),$$

где \vec{r} – вектор перемещения. Средняя скорость:

$$\vec{v}_{\text{cp.}} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}.$$

Средняя скорость вдоль траектории:

$$v_{\text{cp.}} = \frac{S}{t},$$

где S – путь. Мгновенная скорость:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{r}' = x' \cdot \vec{i} + y' \cdot \vec{j} + z' \cdot \vec{k}.$$

Среднее ускорение:

$$\vec{a}_{\text{cp.}} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}.$$

Мгновенное ускорение:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{v}' = \vec{r}'' = x'' \cdot \vec{i} + y'' \cdot \vec{j} + z'' \cdot \vec{k}$$

Равнопеременное движение ($\vec{a} = \text{const}$). Радиус-вектор материальной точки:

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2}.$$

Длина пути:

$$\Delta S = v_0 t + \frac{a t^2}{2}; \quad \Delta S = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}; \quad \Delta S = \frac{v + v_0}{2} t.$$

Скорость при равнопеременном движении:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t.$$

Величина тангенциального (касательного) ускорения:

$$a_{\tau} = \frac{dv}{dt}.$$

Величина нормального (центростремительного) ускорения:

$$a_n = \frac{v^2}{R},$$

где v – линейная скорость материальной точки, R – радиус кривизны траектории. Полное ускорение:

$$\vec{a} = \vec{a}_{\tau} + \vec{a}_n.$$

Модуль полного ускорения:

$$a = \sqrt{a_{\tau}^2 + a_n^2}.$$

Угловая скорость:

$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt},$$

где $\vec{\varphi}$ – вектор углового перемещения. Угловое ускорение:

$$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}.$$

Связь линейных и угловых величин:

$$\Delta S = R \cdot \Delta\varphi; v = R \cdot \omega; a_{\tau} = R \cdot \varepsilon.$$

где R – радиус кривизны траектории. Угловой путь:

$$\Delta\varphi = 2 \cdot \pi \cdot N,$$

где N – число оборотов. Связь угловой скорости с частотой и периодом вращения:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \nu = \frac{2\pi}{T},$$

где ν – частота.

Равнопеременное вращательное движение ($\varepsilon = \text{const}$):

Угловая координата:

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2},$$

где φ_0, ω_0 – начальные угловая координата и угловая скорость.

Угловой путь:

$$\Delta\varphi = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2 \cdot \varepsilon}; \quad \Delta\varphi = \frac{\omega + \omega_0}{2} \cdot t.$$

Угловая скорость:

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon \cdot t.$$

Импульс тела:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}.$$

Второй закон Ньютона:

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}_i}{m}; \quad \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (\Delta\vec{p} = \vec{F}\Delta t),$$

Закон всемирного тяготения:

$$F_{\text{тяг.}} = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

где $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ – гравитационная постоянная.

Сила тяжести:

$$F_{\text{тяж.}} = m \cdot g ,$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

Вес тела:

$$P = m(g \pm a) .$$

Сила упругости:

$$F_{\text{упр.}} = -k\Delta l ,$$

где k – коэффициент жёсткости, Δl – удлинение.

Сила трения:

$$F_{\text{тр.}} = \mu N ,$$

где μ – коэффициент трения.

Радиус-вектор центра масс:

$$\vec{r}_{\text{ц.масс}} = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{\sum_i m_i} .$$

Работа силы:

$$dA = \vec{F}d\vec{S} = FdS \cos \alpha ; \quad A = \int \vec{F}d\vec{S} .$$

Мощность:

$$P = \frac{dA}{dt} ; \quad P = \vec{F} \cdot \vec{v} .$$

Коэффициент полезного действия:

$$\eta = \frac{A_{\text{полез.}}}{A_{\text{затр.}}} .$$

Кинетическая энергия поступательного движения:

$$E_{\text{кин.}} = \frac{m\upsilon^2}{2}$$

Потенциальная энергия тела, поднятого над Землёй на небольшую высоту ($h \ll R_{\text{Земли}}$)

$$E_{\text{пот.}} = mgh .$$

Потенциальная энергия упруго деформированного тела:

$$E_{\text{пот.}} = \frac{k(\Delta l)^2}{2} .$$

Связь потенциальной энергии и консервативной силы:

$$\vec{F} = -\text{grad}E_{\text{пот.}} ; \quad (F_x = -\frac{dE_{\text{пот.}}}{dx}) .$$

Момент силы:

$$\vec{M} = [\vec{r} \times \vec{F}] ; \quad (M = Fl) .$$

Момент инерции тела:

$$J = \int_m r^2 dm \quad (J = \sum_i m_i r_i^2) .$$

Момент инерции материальной точки:

$$J_{\text{мат.точки}} = mr^2 .$$

Моменты инерции тел относительно оси, проходящей через центр масс:

$$J_{\text{кольца}} = mR^2 ; \quad J_{\text{цилиндра}} = \frac{mR^2}{2} ; \quad J_{\text{толст.кольца}} = \frac{m}{2}(R_1^2 + R_2^2) ;$$

$$J_{\text{шара}} = \frac{2mR^2}{5} ; \quad J_{\text{стержня}} = \frac{ml^2}{12} .$$

Теорема Штейнера:

$$J = J_0 + md^2 .$$

Закон динамики вращательного движения:

$$\varepsilon_z = \frac{\sum M_z}{J_z} .$$

Момент импульса тела:

$$\vec{L} = [\vec{r} \times \vec{p}]; \quad \vec{L} = J\vec{\omega} .$$

Закон динамики вращательного движения в импульсной форме (закон изменения момента импульса):

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt}; \quad (\Delta\vec{L} = \vec{M}\Delta t) .$$

Закон сохранения момента импульса:

$$\sum_i \vec{M}_i = 0, \quad \sum_i \vec{L}_{i\text{нач.}} = \sum_i \vec{L}_{i\text{кон.}}$$

Работа при вращательном движении:

$$dA = Md\varphi .$$

Кинетическая энергия вращательного движения:

$$E_{\text{кин.}} = \frac{J\omega^2}{2} .$$

Смещение из положения равновесия, скорость и ускорение колеблющейся точки:

$$\begin{aligned} x &= x_{\text{max}} \cos(\omega t + \varphi_0); \\ v &= \frac{dx}{dt} = -x_{\text{max}} \omega \sin(\omega t + \varphi_0); \\ a &= \frac{dv}{dt} = -\omega^2 x_{\text{max}} \cos(\omega t + \varphi_0) \end{aligned}$$

Дифференциальное уравнение гармонических колебаний:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0 .$$

Возвращающая сила при гармонических колебаниях:

$$F = -\omega^2 mx = -kx .$$

Периоды пружинного, математического и физического маятников:

$$T_{\text{пруж.}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} ; \quad T_{\text{матем.}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} ; \quad T_{\text{физ.маятн.}} = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgl}} ;$$

Закон сохранения энергии:

$$E_{\text{полн.}} = \frac{kx_{\text{max}}^2}{2} = \frac{m\omega^2 x_{\text{max}}^2}{2} ;$$

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{m\omega^2 x^2}{2} = \frac{kx_{\text{max}}^2}{2} .$$

Амплитуда A и начальная фаза результирующего колебания при сложении однонаправленных колебаний одинаковой частоты:

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_{02} - \varphi_{01})} ; \quad \varphi_0 = \arctg \frac{A_1 \sin \varphi_{01} + A_2 \sin \varphi_{02}}{A_1 \cos \varphi_{01} + A_2 \cos \varphi_{02}}$$

Уравнение траектории точки, колеблющейся с одинаковыми частотами в перпендикулярных направлениях:

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - 2\frac{xy}{A_1A_2} \cos(\Delta\varphi) = \sin^2(\Delta\varphi)$$

Волновое число:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{v} .$$

Длина волны:

$$\lambda = \nu \cdot T = \frac{\nu}{\nu}$$

Релятивистское сокращение длины:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{\nu^2}{c^2}}$$

Релятивистское замедление времени:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{\nu^2}{c^2}}}$$

Релятивистский закон сложения скоростей:

$$\nu = \frac{\nu' + \nu_0}{1 + \frac{\nu' \nu_0}{c^2}}$$

$$\nu' = \frac{\nu - \nu_0}{1 - \frac{\nu \nu_0}{c^2}}$$

Энергия покоя:

$$E_0 = mc^2$$

где $c = 2,99 \cdot 10^8$ м/с.

Взаимосвязь энергии и импульса:

$$E^2 - p^2 c^2 = m^2 c^4$$

Кинетическая энергия:

$$E_{кин.} = E - E_0 = mc^2 \left(\left(1 / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right) - 1 \right).$$

Полная энергия:

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Релятивистский импульс:

$$p = \frac{mv}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Уравнение Клапейрона-Менделеева:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT,$$

где $R = 8,31$ Дж/(моль · К) – универсальная газовая постоянная, V – объём, p – давление, m – масса, μ – молярная масса, T – термодинамическая температура.

Количество вещества в моль:

$$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{\mu},$$

где $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ – число Авогадро.

Объединенный газовый закон:

$$\frac{pV}{T} = const .$$

Уравнение состояния изотермического процесса:

$$pV = const, T = const$$

Уравнение состояния изобарного процесса:

$$\frac{V}{T} = const, p = const$$

Уравнение состояния изохорного процесса:

$$\frac{p}{T} = const, V = const$$

Уравнение состояния адиабатного процесса (уравнение Пуассона):

$$PV^\gamma = const$$

где $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$ - показатель адиабаты, C_p - теплоёмкость при постоянном давлении, C_V - теплоёмкость при постоянном объёме.

Закон Дальтона. Давление смеси p смеси различных газов равно сумме парциальных давлений газов, составляющих смесь:

$$p = p_1 + p_2 + \dots p_n.$$

Первое начало термодинамики:

$$Q = \Delta U + A$$

Молярная теплоемкость при постоянном объеме:

$$C_{V\mu} = \frac{i}{2} R$$

Молярная теплоемкость газа при постоянном давлении:

$$C_{p\mu} = \frac{i+2}{2} R,$$

i – число степеней свободы молекулы газа.

Средняя кинетическая энергия молекулы:

$$\langle E \rangle = \frac{i}{2} kT,$$

где $k = R/N_A = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа:

$$p = \frac{2}{3} n \langle E_n \rangle,$$

где n – концентрация молекул газа.

Внутренняя энергия идеального газа:

$$U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT = \frac{m}{\mu} C_{v\mu} T.$$

Работа расширения газа в изотермическом процессе:

$$A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1},$$

Работа расширения газа в изобарном процессе:

$$A = p\Delta V = \frac{m}{\mu} R\Delta T.$$

Работа расширения в адиабатном процессе:

$$A = -\Delta U = \frac{m}{\mu} C_{v\mu} \Delta T \quad \text{или} \quad A = \frac{RT_1}{\gamma-1} \frac{m}{\mu} \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} \right].$$

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Уравнение движения тела имеет вид $x = 10t + 1,6t^3$.
Определить ускорение и скорость тела в начальный момент времени, а также среднее ускорение за первые 5 секунд движения.

Дано: $x = 10t + 1,6t^3$ $t_0 = 0$ $t = 5 \text{ с}$	Решение: Найдём мгновенную скорость точки как первую производную от координаты по времени $v_x = \frac{dx}{dt} = 10 + 1,6 \cdot 3t^2 \quad (1)$
--	--

Найти: v_{0x} ; a_{0x} ; $a_{\text{ср}}$	Из (1), при $t = 0$, следует: $v_{0x} = 10 \text{ м/с}$ Ускорение точки найдём, взяв первую производную от скорости по времени $a_x = \frac{dv_x}{dt} = 4,8 \cdot 2t = 9,6t. \quad (2)$ Если $t = 0$, то: $a_{0x} = 0 \text{ м/с}^2$. Найдём проекцию среднего ускорения на ось x : $a_{\text{ср.}} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_t - v_0}{t},$ где проекцию скорости в момент времени $t = 5 \text{ с}$ находим из (1): $v_x = v_5 = 10 + 4,8 \cdot 5^2 = 130 \text{ м/с}$. Окончательно: $a_{\text{ср.}} = \frac{130 - 10}{5} = 25 \text{ м/с}^2$.
---	--

Ответ: $a_{0x} = 0 \text{ м/с}^2$; $v_{0x} = 10 \text{ м/с}$; $a_{\text{ср}} = 25 \text{ м/с}^2$.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО МЕХАНИКЕ

Вариант 1

1. Движение двух автомобилей описывается уравнениями $x_1 = t + 0,1t^2$ и $x_2 = 40 - 2t$. Величины измерены в единицах СИ. Опишите характер движения каждого автомобиля. Когда и где

произойдет встреча автомобилей? По какому закону изменяется расстояние между ними с течением времени? Найдите расстояние между ними через 10 с после начала движения. Какое перемещение совершит каждый автомобиль за это время?

2. Колесо, вращаясь равнозамедленно, при торможении уменьшило свою частоту за 1 минуту от 300 об/мин до 180 об/мин. Найдите угловое ускорение колеса и число оборотов, сделанных им за это время. Через какое время колесо остановится?

3. Невесомый блок укреплен на вершине двух наклонных плоскостей, составляющих с горизонтом углы 30 градусов и 45 градусов. Бруски одинаковой массы 1 кг соединены нитью, перекинутой через блок. Найдите ускорение брусков и натяжение нити, если коэффициент трения брусков о плоскости 0,1.

4. Шар, радиус которого равен r , скатывается по наклонному желобу и описывает окружность в вертикальной плоскости («мёртвую петлю») радиусом R . Пренебрегая трением качения и сопротивлением воздуха, найдите наименьшую начальную высоту h центра масс шара над центром петли, при которой это возможно.

5. Физический маятник представляет собой тонкий однородный стержень длиной $l = 35$ см. Определить, на каком расстоянии от центра масс должна быть точка подвеса, чтобы частота колебаний была максимальной.

6. Две частицы движутся навстречу друг другу со скоростями $0,5C$ и $0,75C$ по отношению к лабораторной системе отсчёта (где C – скорость света). Найдите: 1) скорость, с которой уменьшается расстояние между частицами; 2) относительную скорость частиц.

7. В сосуде вместимостью $V = 0,01$ м³ содержится смесь газов – азота массой $m_1 = 7$ г и водорода массой $m_2 = 1$ г – при температуре 280 К. Определить давление смеси газов.

8. Определить количество тепла, выделяющего при изотермическом сжатии 7 г азота от нормального давления 0,1 МПа до 0,5 МПа. Температура азота 25 °С.

Вариант 2

1. Уравнения движения двух тел имеют вид $x_1 = 5t + 0,2t^2$ и $x_2 = -3t + t^2$. Опишите характер движения каждого тела. Найдите место и время их встречи. В какой момент времени тела будут иметь одинаковые по модулю и направлению скорости? Будут ли тела находиться в какой-нибудь из этих моментов времени в одной точке пространства? Каким будет расстояние между ними через 5 с после начала движения?

2. Точка движется по окружности радиусом 20 см с постоянным тангенциальным ускорением 5 см/с^2 . Через сколько времени после начала движения нормальное ускорение точки будет равно тангенциальному?

3. Стальной шарик массой 20 г, падая с высоты 1 м на стальную плиту, отскакивает от неё на высоту 81 см. Найти импульс силы, полученный плитой за время удара, и количество теплоты, выделившейся при ударе.

4. Через блок, имеющий форму полого диска с внутренним и внешним радиусами 2 см и 4 см соответственно, перекинут шнур. К концам шнура привязаны грузики массой 1 кг и 1,2 кг. Найти угловое ускорение блока. Какова сила натяжения шнура по обе стороны блока? Масса блока 2 кг.

5. Груз массой m подвешен к системе двух параллельно соединенных пружин жесткостями K_1 и K_2 . Система выведена из состояния равновесия и предоставлена сама себе. Энергия, сообщенная системе, равна W . Написать уравнение колебаний, определить амплитуду и частоту колебаний. Спротивлением среды пренебречь.

6. На космическом корабле-спутнике находятся часы, синхронизированные до полета с земными. Скорость спутника составляет $7,9 \text{ км/с}$. На сколько отстанут часы на спутнике за полгода по измерениям земного наблюдателя?

7. В сосуде находится смесь $m_1 = 7,0 \text{ г}$ азота и $m_2 = 11 \text{ г}$ углекислого газа при температуре 290 К и давлении $p_0 = 1,0 \text{ атм}$. Найдите плотность этой смеси, считая газы идеальными.

8. Два моля идеального газа при температуре 300 К охладили изохорически, вследствие чего его давление уменьшилось в 2 раза. Затем газ изобарически расширили так, что в конечном состоянии его температура стала равной первоначальной. Найдите количество тепла, поглощённого газом в данном процессе.

Вариант 3

1. Уравнения движения двух тел имеют вид $x_1 = -15t - 0,6t^2$ и $x_2 = 9t - 3t^2$. Опишите характер движения каждого тела. Найдите место и время их встречи. В какой момент времени тела будут иметь одинаковые по модулю скорости и совпадать по направлению? Будут ли тела находиться в какой-нибудь из этих моментов времени в одной точке пространства? Каким будет расстояние между ними через 5 с после начала движения?

2. Колесо радиусом 0,1 м вращается так, что зависимость угла поворота радиуса колеса от времени даётся уравнением $\varphi = A + Bt^2 + Ct^3$, где $B = 2 \text{ рад/с}^2$, $C = 1 \text{ рад/с}^3$. Для точек, лежащих на ободе колеса, найдите через 2 с после начала движения: угловую скорость; линейную скорость; угловое, тангенциальное, нормальное и полное ускорение.

3. Пуля массой 9 г, летящая со скоростью 500 м/с, попадает в доску, установленную перпендикулярно направлению полёта пули, и углубляется в неё на 6 см. Определить среднюю силу сопротивления доски движению пули.

4. Блок массой 1 кг укреплен на конце стола. Гири одинаковой массы 1 кг соединены нитью, перекинутой через блок. Одна гиря находится на поверхности стола, вторая свешивается со стола. Коэффициент трения гири о стол равен 0,1. Найдите ускорение, с которым движутся гири, и силы натяжения нити по обе стороны блока. Блок считать однородным диском.

5. Определить отношение кинетической энергии гармонически колеблющейся точки к ее потенциальной энергии, если известна фаза колебания.

6. Две релятивистские частицы движутся в лабораторной системе отсчёта со скоростями 0,6 c (где c – скорость света) и 0,9 c

вдоль одной прямой. Определите их относительную скорость в двух случаях: а) частицы движутся в одном направлении; б) частицы движутся в противоположных направлениях.

7. При нагревании идеального газа на 1 К, при постоянном давлении, объём его увеличился на $1/350$ первоначального объёма. Найдите начальную температуру газа.

8. Расширяясь, водород совершил работу 6 кДж. Определите количество теплоты Q , подведенное к газу, если процесс протекал: 1) изобарно; 2) изотермически.

Вариант 4

1. Тело падает с начальной скоростью 16 м/с, с высоты 200 м. Определите, через сколько времени тело достигнет земли, если начальная скорость направлена: а) вверх; б) вниз. Докажите, что скорость приземления в обоих случаях одинакова.

2. Колесо радиусом 5 см вращается так, что зависимость угла поворота радиуса колеса от времени даётся уравнением $\varphi = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где $D = 1 \text{ рад/с}^3$. Найдите для точек, лежащих на ободе колеса, тангенциальное ускорение через 5 с после начала движения.

3. Какую работу надо совершить, чтобы заставить движущееся тело массой 2 кг увеличить свою скорость от 2 м/с до 5 м/с? Остановиться при начальной скорости 8 м/с?

4. Тонкостенный цилиндр диаметром 30 см и массой 12 кг вращается так, что зависимость угла поворота от времени имеет вид: $\varphi = 4 - 2t + 0,2t^3$. Определить действующий на цилиндр момент сил в момент времени 3 с.

5. Точка одновременно участвует в двух гармонических колебаниях одинаковой частоты, направленных вдоль одной прямой: $A_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$ и $A_2 \sin(\omega t + \varphi_2)$. Определите амплитуду и фазу результирующего колебания.

6. Стержень движется в продольном направлении с постоянной скоростью относительно инерциальной системы

отсчета. При каком значении скорости длина стержня в этой системе отсчета будет на 50% меньше его собственной длины?

7. Определить число N молекул ртути, содержащихся в воздухе объёмом $V = 1 \text{ м}^3$ в помещении, заражённом ртутью, при температуре $t = 20^\circ\text{C}$, если давление p насыщенного пара ртути при этой температуре равно $0,13 \text{ Па}$.

8. Какая работа совершается при изотермическом расширении водорода массой 5 г , взятого при температуре 290 К , если объём газа увеличивается в три раза?

Вариант 5

1. Тело брошено под углом 30° к горизонту. С какой скоростью было брошено тело и какова горизонтальная дальность его полёта, если оно находилось в полете 2 с ? Какова максимальная высота подъема тела?

2. Автомобиль движется по закруглению шоссе, имеющему радиус кривизны 50 м . Длина пути автомобиля выражается уравнением $S = 10 + 10t + 0,5t^2$. Найдите скорость автомобиля, его тангенциальное, нормальное и полное ускорения через 5 с после начала движения.

3. Человек массой 60 кг , бегущий со скоростью 8 км/ч , догоняет тележку массой 80 кг , движущуюся со скоростью $2,9 \text{ км/ч}$, и вскакивает на нее. С какой скоростью будет двигаться тележка? С какой скоростью будет двигаться тележка, если человек бежал ей навстречу?

4. Однородный стержень длиной 85 см подвешен на горизонтальной оси, проходящей через верхний конец стержня. Какую наименьшую скорость надо сообщить нижнему концу стержня, чтобы он сделал полный оборот вокруг оси?

5. Материальная точка одновременно участвует в двух взаимно перпендикулярных колебаниях: $x = 2\cos(\pi t/2)$ и $y = -\cos(\pi t)$. Определите уравнение траектории точки.

6. Стержень пролетает с постоянной скоростью мимо метки, неподвижной в K -системе отсчета. Время полёта 20 нс в K -системе.

В системе же отсчёта, связанной со стержнем, метка движется вдоль него в течение 25 нс. Найти собственную длину стержня.

7. Смесь гелия и аргона находится при температуре $T = 1,2$ кК. Определить среднюю квадратичную скорость $v_{\text{ср.кв}}$ и среднюю кинетическую энергию атомов гелия и аргона.

8. Вычислить теплоемкость одноатомного газа при постоянном объеме, заключенном в сосуде емкостью 20 л при нормальных условиях.

Вариант 6

1. Скорость тела выражается формулой $v = 9 - t^2$. Найти путь и перемещение тела через 10 секунд от начала движения.

2. Материальная точка движется по окружности радиуса 80 см по закону $S = 10t - 0,1t^3$. Найти скорость, тангенциальное, нормальное и полное ускорения через 2 с после начала движения.

3. На железнодорожной платформе установлено орудие. Масса платформы с орудием 15 тонн. Орудие стреляет под углом 60° к горизонту в направлении движения. Какую скорость приобретет платформа вследствие отдачи, если масса снаряда 20 кг, а его скорость 600 м/с?

4. Медный шар радиусом 10 см вращается с частотой 2 об/с вокруг оси, проходящей через его центр. Какую работу надо совершить, чтобы увеличить угловую скорость вращения шара вдвое? Плотность меди 8900 кг/м³.

5. Амплитуда затухающих колебаний математического маятника за 1 минуту уменьшилась вдвое. Во сколько раз она уменьшится за 3 минуты?

6. Собственное время жизни некоторой нестабильной частицы 10 нс. Какой путь пролетит эта частица до распада в лабораторной системе отсчета, где ее время жизни 20 нс?

7. Полюй шар вместимостью $v = 10$ см³, заполненный воздухом при температуре $T_1 = 573$ К, соединили трубкой с чашкой, заполненной ртутью. Определить массу m ртути, вошедшей в шар

при остывании воздуха в нем до температуры $T_2 = 293 \text{ К}$. Изменением вместимости шара пренебречь.

8. Разность удельных теплоёмкостей $c_p - c_v$ некоторого двухатомного газа равна $260 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. Найдите молярную массу газа и его удельные теплоемкости c_v и c_p .

Вариант 7

1. Зависимость координаты тела от времени даётся уравнением $x = 16 - 9t^2 + 2t^3$. Найти среднее значение модуля скорости и величину среднего ускорения тела в интервале времени от 1 секунды до 4 секунд.

2. Тело брошено горизонтально со скоростью 15 м/с . Найдите нормальное и касательное ускорение через 1 с после начала движения.

3. Тело массой $0,5 \text{ кг}$ движется прямолинейно, причём координата изменяется по закону $x = A - Bt + 5t - t^3$. Найти силу, действующую на тело в конце первой секунды движения.

4. С какой наименьшей высоты должен съехать велосипедист, чтобы по инерции (без трения) проехать дорожку, имеющую форму окружности («мёртвой петли») радиусом 3 м , и не оторваться от дорожки в верхней точке петли? Масса велосипедиста вместе с велосипедом 75 кг , причём на массу колёс приходится 3 кг . Колеса считать обручами.

5. Полная энергия тела, совершающего гармонические колебания, равна $9 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}$. Амплитуда колебаний $2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$. Определить смещение, при котором на тело действует сила $2,25 \cdot 10^{-5} \text{ Н}$, и максимальную силу.

6. Частица, движущаяся со скоростью $0,99c$ (где c – скорость света), пролетела от места своего рождения до точки распада расстояния 3 км . Определите: 1) собственное время жизни частицы; 2) расстояние, которое пролетела частица с «её точки зрения».

7. Газ при температуре 309 К и давлении $0,7 \text{ МПа}$ имеет плотность $\rho = 12 \text{ кг/м}^3$. Определить относительную молекулярную массу газа.

8. Давление азота объёмом 3 л при нагревании увеличилось на $\Delta p = 1$ МПа. Определить количество теплоты, полученное газом, если объём газа остался неизменным.

Вариант 8

1. Материальная точка движется прямолинейно. Уравнение движения тела имеет вид: $x = 2 + 3t + 0,01t^3$. Каковы скорость и ускорение в моменты времени 0 с и 10 с от начала движения?

2. Движение точки на плоскости задано уравнением $x = 2(1 - t)$ м, $y = (1 - t)^2$ м. Определить скорость и тангенциальное ускорение точки при $t_1 = 2$ с.

3. Брусек массой 200 г движется по горизонтальному столу под действием силы натяжения привязанной к ней нити. Нить перекинута через прикрепленный к столу блок и привязана к другому, падающему бруску массой 300 г. Определить силу натяжения нити, если коэффициент трения равен 0,25.

4. Через неподвижный блок массой 0,5 кг перекинут шнур, к концам которого подвешены разные по массе грузы. Определить разность сил натяжения шнура по обе стороны блока, если известно, что грузы движутся с ускорением 2 м/с^2 . Блок считать однородным диском.

5. Под действием силы $F = A \cos(\omega t)$ ($A = 2$ Н, $\omega = \pi/3$ рад/с) движется тело массой 100 г. Начальная скорость тела равна нулю. Найдите зависимость кинетической энергии тела от времени и определить ее максимум.

6. При какой относительной скорости движения релятивистское сокращение длины движущегося тела составляет 25%?

7. В оболочке сферического аэростата находится газ объёмом 1500 м^3 , заполняющий оболочку лишь частично. На сколько изменится подъемная сила аэростата, если газ в аэростате нагреть от 273 К до 293 К? Давления газа в оболочке и окружающего воздуха постоянны и равны нормальному атмосферному давлению.

8. При адиабатном расширении кислорода с начальной температурой 320 К внутренняя энергия уменьшилась на $\Delta U = 8,4$ кДж, а его объем увеличился в 10 раз. Определить массу кислорода.

Вариант 9

1. Уравнение движения тела имеет вид $x = 5t + 0.8t^3$. Определить ускорение и скорость тела в начальный момент времени, а также среднее ускорение за первые 5 секунд движения.

2. Движение точки по окружности радиусом $R = 4$ м задано уравнением $s = A + Bt + Ct^2$, где $A = 10$ м, $B = -2$ м/с, $C = 1$ м/с². Найти тангенциальное a_τ нормальное a_n и полное a ускорения точки в момент времени $t = 2$ с.

3. Вычислить работу, совершаемую на пути $s = 6$ м равномерно возрастающей силой, если в начале пути сила $F_1 = 5$ Н, в конце пути $F_2 = 23$ Н.

4. Карандаш длиной $l = 15$ см, поставленный вертикально, падает на стол. Какую угловую и линейную скорости будет иметь в конце падения: 1) середина карандаша? 2) верхний его конец? Считать, что трение настолько велико, что нижний конец карандаша не проскальзывает.

5. Источник незатухающих гармонических колебаний движется по закону $S_0 = A \sin(\omega t)$. Определить смещение от положения равновесия, скорость и ускорение точки через $t = 1$ с, находящейся на расстоянии $l = 340$ м от источника, если скорость распространения плоских волн равна 340 м/с, $A = 5$ мкм, $\omega = 3140$ рад/с.

6. Определить, на сколько должна увеличиться энергия покоя тела, чтобы его масса возросла на 1 г.

7. Колба вместимостью $V = 300$ см³, закрытая пробкой с краном, содержит разреженный воздух. Для измерения давления в колбе горлышко колбы погрузили в воду на незначительную глубину и открыли кран, в результате чего в колбу вошла вода массой 292 г. Определите первоначальное давление в колбе, если атмосферное давление $p_0 = 100$ кПа.

8. Чему равны удельные теплоемкости некоторого двухатомного газа, если плотность этого газа при нормальных условиях равна $1,43 \text{ кг/м}^3$.

Вариант 10

1. Начальная посадочная скорость пассажирского самолёта имеет величину 135 км/ч . Длина пробега 500 м . Определите время t_1 пробега по посадочной полосе и величину ускорения самолёта, считая движение равнозамедленным.

2. Тело вращается вокруг неподвижной оси по закону, выражаемому формулой $\varphi = 10 + 20t - 2t^2$. Найдите величину полного ускорения точки, находящейся на расстоянии $0,1 \text{ м}$ от оси вращения для момента времени $t = 4 \text{ с}$.

3. Движение материальной точки описывается уравнением $x = 25 - 10t + 2t^2$. Приняв её массу равной 3 кг , найдите величину импульса в момент начала наблюдения и через $t_1 = 8 \text{ с}$ после этого. Найти величину средней силы, вызвавшей изменение импульса за указанный промежуток времени.

4. Два однородных тонких стержня: AB длиной $l_1 = 40 \text{ см}$ и массой $m_1 = 900 \text{ г}$ и CD длиной $l_2 = 40 \text{ см}$ и массой $m_2 = 400 \text{ г}$ скреплены под прямым углом. Определить момент инерции J системы стержней относительно оси OO' , проходящей через конец стержня AB параллельно стержню CD .

5. Смещение от положения равновесия точки, находящейся на расстоянии 4 см от источника колебаний, колеблющегося по закону: $x = \sin(\omega t)$, в момент времени $t = T/6$ равно половине амплитуды. Найти длину волны. Волна плоская.

6. В лабораторной системе отсчёта удаляются друг от друга две частицы с одинаковыми по модулю скоростями. Их относительная скорость u в той же системе отсчёта равна $0,5c$ (где c – скорость света). Определите скорости частиц.

7. В баллоне содержится газ при температуре 100°C . До какой температуры нужно нагреть газ, чтобы его давление увеличилось в два раза?

8. Трехатомный газ под давлением 240 кПа при температуре 293 К занимает объем 10 л. Определить теплоемкость этого газа при постоянном давлении.

Вариант 11

1. Начальная скорость брошенного под некоторым углом к горизонту камня равна 10 м/с, а спустя 0,5 с скорость камня равна 7 м/с. На какую максимальную высоту над начальным уровнем поднимется камень?

2. Определить тангенциальное, нормальное и полное ускорение точки окружности диска для момента времени 10 с от начала движения, если радиус окружности 0,2 м, а угол между осью OX и радиус-вектором точки изменяется по закону: $\varphi = 3 - t + 0,2t^3$.

3. С поверхности Земли вертикально вверх пущена ракета со скоростью 5 км/с. На какую высоту она поднимется?

4. К ободу однородного диска радиусом 20 см приложена постоянная касательная сила 98,1 Н. При вращении на диск действует момент сил трения 5 Н·м. Найдите массу диска, если он вращается с постоянным угловым ускорением 100 рад/с².

5. Найдите частоту колебаний груза массой $m = 0,2$ кг, подвешенного на пружине и помещенного в масло, если коэффициент сопротивления в масле $r = 0,5$ кг/с, а коэффициент жесткости пружины $k = 50$ Н/м.

6. Собственное время жизни некоторой нестабильной частицы $\Delta t_0 = 10$ нс. Найти путь, который пролетит эта частица до распада в лабораторной системе отсчёта, где её время жизни $\Delta t = 20$ нс.

7. Вычислите удельные теплоёмкости c_V и c_p смеси неона и водорода, если массовая доля неона 80%, массовая доля водорода 20%. Значения удельных теплоёмкостей газов при постоянном объёме соответственно $6,24 \cdot 10^2$ Дж/(кг·К) для неона и $1,04 \cdot 10^4$ Дж/(кг·К) для водорода.

8. Во сколько раз увеличится объём 0,4 моля водорода при изотермическом расширении, если при этом газ получил количество

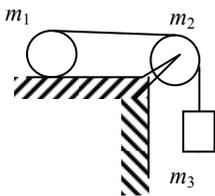
теплоты 800 Дж? Температура водорода 27 °С. Чему равна работа расширения?

Вариант 12

1. Уравнение движения точки имеет вид: $x = 2t^3 + 2t^2 - t$, м. Определите: а) среднюю скорость в промежутке времени от 2 с до 4 с; б) значение скорости в момент времени $t = 3$ с

2. Тело вращается вокруг неподвижной оси по закону $\varphi = 5 + 10t - t^2$. Найти полное ускорение точки (величину и направление), находящейся на расстоянии 0,5 м от оси вращения, для момента времени $t = 2$ с.

3. Лифт опускается вниз и перед остановкой движется замедленно. Определить, с какой силой будет давить на пол лифта человек массой 80 кг, если ускорение лифта равно 4 м/с^2 .



4. Однородный цилиндр массы m_1 , лежит на горизонтальной плоскости и обмотан тросом, перекинутым через блок, представляющий собой однородный цилиндр массы m_2 , вращающийся вокруг неподвижной оси, совпадающей с его осью симметрии. К свободному концу троса прикреплен груз массы m_3 . При опускании груза с постоянной скоростью, величина которой равна v , трос, разматываясь, приводит в движение без проскальзывания цилиндр, лежащий на плоскости. Определите кинетическую энергию системы цилиндр – блок – груз. Трос считать невесомым и нерастяжимым. Верхние точки цилиндра и блока находятся на одной высоте.

5. Материальная точка массой 0,01 кг совершает гармонические колебания по закону синуса с периодом $T = 2$ с и начальной фазой φ_0 , равной нулю. Полная энергия колеблющейся точки $W = 0,1$ мДж. Найдите амплитуду колебаний; напишите закон данных колебаний $x = f(t)$; найдите наибольшее значение силы F_{max} , действующей на точку.

6. Две частицы, двигавшиеся по одной прямой с одинаковой скоростью $v = 5/6 c$ (где c – скорость света), попали в неподвижную

мишень с интервалом времени $\Delta t = 50$ нс. Найдите собственное расстояние между частицами до попадания в мишень.

7. Баллон содержит 40 г кислорода и 160 г аргона. Давление смеси $p = 1$ МПа, температура $T = 300$ К. Принимая данные газы за идеальные, определите объем баллона.

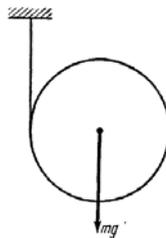
8. В закрытом сосуде объёмом 2 л находится азот, плотность которого $1,4$ кг/м³. Какое количество теплоты надо сообщить азоту, чтобы нагреть его на 100 К? На сколько увеличится внутренняя энергия азота?

Вариант 13

1. Из орудия вылетает снаряд со скоростью v_0 под углом α к горизонту. Определить: а) скорость (модуль и направление) и положение (координаты) снаряда в любой момент времени; б) время подъёма до наивысшей точки и время полёта; в) высоту подъёма и дальность полёта. Сопротивлением воздуха пренебречь.

2. Движение точки по кривой задано уравнениями $x = A_1 t^3$ и $y = A_2 t$, где $A_1 = 1$ м/с³, $A_2 = 2$ м/с. Найдите уравнение траектории точки, её скорость и полное ускорение a в момент времени $t = 1,6$ с.

3. На однородный сплошной цилиндр массы 1 кг и радиуса 10 см намотана гибкая невесомая лента, второй конец которой закреплён, как показано на рисунке. Определите линейное и угловое ускорения цилиндра.



4. Два шара массами m и $2m$ ($m = 10$ г) закреплены на тонком невесомом стержне длиной $l = 40$ см так, что шар меньшей массы находится в центре стержня, а шар с большей массой – на одном из его концов. Определите моменты инерции J системы относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его конец. Размеры шаров пренебречь.

5. Амплитуда гармонических колебаний материальной точки $A = 0,02$ м, полная энергия колебаний $W = 0,3$ мкДж. Определить

смещение точки от положения равновесия в момент, когда на неё действует сила $F = 45$ мкН.

6. Стержень движется вдоль линейки с некоторой постоянной скоростью. Если зафиксировать положение обоих концов данного стержня одновременно в системе отсчета, связанной с линейкой, то разность отсчетов по линейке $\Delta x_1 = 4,0$ м. Если же положение обоих концов зафиксировать одновременно в системе отсчета, связанной со стержнем, то разность отсчетов по этой же линейке $\Delta x_2 = 9,0$ м. Найдите собственную длину стержня и его скорость относительно линейки.

7. Плотность некоторого газа $\rho = 0,06$ кг/м³ средняя квадратичная скорость его молекул равна 500 м/с. Определить давление p , которое газ оказывает на стенки сосуда.

8. Азот массой $m = 0,1$ кг был изобарно нагрет от температуры $T_1 = 200$ К до температуры $T_2 = 400$ К. Определить работу A , совершенную газом, полученную им теплоту Q и изменение ΔU внутренней энергии.

Вариант 14

1. Уравнение движения материальной точки имеет вид: $S = 5 + 2t - t^2 + 3t^3$, где S измеряется в метрах, время – в секундах. Найдите скорость и ускорение в моменты времени 0 с и 5 с.

2. Тело брошено под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. Найдите тангенциальное a_t и нормальное a_n ускорения в начальный момент времени.

3. Тело массой 10 кг ударяется о неподвижное тело массой 5 кг, которое после удара начинает двигаться с кинетической энергией 10 Дж. Считая удар центральным и упругим, найти кинетическую энергию первого тела до и после удара.

4. Шар массой 1 кг, катящийся без скольжения со скоростью 10 см/с, ударяется о стенку и откатывается от неё со скоростью 8 см/с. Найдите количество теплоты, выделившейся при ударе.

5. Две точки находятся на прямой, вдоль которой распространяются волны со скоростью 20 м/с. Частота колебаний

10 Гц, расстояние между точками 20 см. Найдите разность фаз колебаний этих точек.

6. Фотонная ракета движется относительно Земли со скоростью $0,6c$ (где c – скорость света). Во сколько раз замедлится ход времени в ракете с точки зрения земного наблюдателя?

7. Плотность некоторого газа $\rho = 0,082 \text{ кг/м}^3$ при давлении 100 кПа и температуре $t = 17^\circ\text{C}$. Найдите среднюю квадратичную скорость молекул газа. Какова молярная масса μ этого газа?

8. Водород массой 6,5 г, находящийся при температуре 27°C , расширяется вдвое при постоянном давлении за счет притока тепла извне. Найти работу расширения газа, изменение внутренней энергии газа и количество теплоты, сообщенное газу.

Вариант 15

1. Движение двух материальных точек выражается уравнениями: $x_1 = 20 + 2t - 4t^3$ и $x_2 = 2 + 2t + 0,5t^3$. В какой момент времени скорости этих точек будут одинаковы? Чему равны скорости и ускорения точек в этот момент?

2. Материальная точка массой 1 кг равномерно движется по окружности со скоростью 10 м/с. Найдите модуль изменения импульса точки за $0,75$ периода.

3. Какую работу совершил мальчик, стоящий на гладком льду, сообщив санкам скорость 5 м/с относительно льда, если масса санок 3 кг, а масса мальчика 25 кг?

4. Платформа в виде сплошного диска радиусом 1,5 м и массой 180 кг вращается по инерции вокруг вертикальной оси с частотой 10 об/мин. В центре платформы стоит человек массой 60 кг. Какую линейную скорость относительно пола помещения будет иметь человек, если он перейдет на край платформы?

5. Определите амплитуду, период, циклическую частоту и начальную фазу колебаний, заданных уравнением $x(t) = 5\cos 2\pi(t + 1/8)$.

6. С какой скоростью движется частица, если её релятивистская масса в три раза больше массы покоя?

7. Определите среднюю длину свободного пробега молекул воздуха, если сосуд откачан до давления 0,13 Па. Диаметр молекулы воздуха примите равным 0,27 нм. Температура воздуха равна 300 К.

8. Молярная масса газа равна 0,004 кг/моль. Отношение теплоёмкостей равно 1,67. Вычислите удельные теплоемкости газа.

ЭЛЕКТРИЕСТВО И МАГНЕТИЗМ. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

Закон Кулона:

$$F = q_1 q_2 / (4\pi\epsilon_0 r^2),$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м. Напряжённость электрического поля:

$$\vec{E} = \vec{F} / q_0.$$

Диэлектрическая проницаемость среды:

$$\epsilon = E_0 / E,$$

где E_0 , E – модуль напряжённости электрического поля в вакууме и среде соответственно.

Модуль напряжённости электрического поля точечного заряда:

$$E = q / (4\pi\epsilon_0 r^2),$$

Потенциал электростатического поля в точке:

$$\phi = W / q_0.$$

Работа электрического поля по перемещению точечного заряда между двумя точками поля:

$$A = q_0(\phi_1 - \phi_2) = q_0 U,$$

где $(\phi_1 - \phi_2) = U$ – разность потенциалов (напряжение) между этими точками.

Модуль напряжённости однородного поля:

$$E = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2)}{d} = \frac{U}{d}.$$

где d – расстояние вдоль линии напряжённости между точками 1 и 2.

Линейная плотность заряда:

$$\tau = dq / dl .$$

Поверхностная плотность заряда:

$$\sigma = dq / dS .$$

Напряжённость поля двух бесконечных, параллельных плоскостей, равномерно заряженных с поверхностной плотностью заряда $+\sigma$ и $-\sigma$:

$$E_{\text{внутр}} = \sigma / \varepsilon_0 , \quad E_{\text{внеш}} = 0 .$$

Потенциал поля точечного заряда в некоторой точке:

$$\varphi = q / (4\pi\varepsilon_0\varepsilon r),$$

Ёмкость уединённого проводника:

$$C = q / \varphi .$$

Ёмкость конденсатора:

$$C = q / U .$$

Ёмкость плоского конденсатора:

$$C = \varepsilon_0\varepsilon S / d .$$

Параллельное соединение конденсаторов:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i .$$

Последовательно соединённые конденсаторы:

$$1/C = \sum_{i=1}^n (1/C_i) .$$

Энергия электростатического поля плоского конденсатора:

$$W = qU / 2 = q^2 / (2C) = CU^2 / 2.$$

Объёмная плотность энергии электрического поля:

$$w = ED / 2 = D^2 / (2\epsilon\epsilon_0) = \epsilon\epsilon_0 E^2 / 2.$$

Электродвижущая сила источника:

$$\epsilon = A_{\text{ст}} / q.$$

Падение напряжения на участке цепи, содержащей источник тока с ЭДС ϵ :

$$IR = (A + A_{\text{ст}}) / q = (\varphi_1 - \varphi_2) + \epsilon,$$

где $(\varphi_1 - \varphi_2)$ – разность потенциалов. Сила постоянного тока:

$$I = q / t = ne\langle v \rangle S,$$

где n – концентрация свободных зарядов в проводнике.

Сопrotивление проводника:

$$R = \rho \ell / S$$

Закон Ома для участка цепи:

$$I = U / R = GU$$

где G – проводимость проводника.

Последовательное соединение n проводников:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i.$$

Параллельное соединение n проводников:

$$1 / R = \sum_{i=1}^n 1 / R_i.$$

Закон Ома для замкнутой цепи:

$$I = \varepsilon / (R + r).$$

Закон Ома для участка неоднородной цепи, содержащей источник ЭДС – ε и сопротивления – R_i

$$I = ((\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon) / \sum_{i=1}^n R_i.$$

Закон Ома в дифференциальной форме:

$$j = \sigma E,$$

где $\sigma = 1/\rho$ – удельная электропроводность.

Правила Кирхгофа для разветвлённых цепей:

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0 \qquad \sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_{i=1}^m \varepsilon_i.$$

Работа тока на участке цепи:

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = U^2 t / R = IUt = I^2 Rt.$$

Мощность тока на участке цепи:

$$N = U^2 / R = IU = I^2 R.$$

Работа, совершенная силами поля по перемещению положительного заряда q из точки 1 в точку 2:

$$A = -\Delta W_p = q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Разность потенциалов и модуль напряжённости электрического поля:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \varepsilon_l dl, \quad \varepsilon = -\frac{d\varphi}{dl},$$

Закон Джоуля-Ленца:

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

где Q – количество теплоты, выделенное на участке цепи.

Работа, совершенная источником электрической энергии за время t ,

$$A = \varepsilon I t = I^2 R_{\text{полн}} t = \frac{\varepsilon^2}{R_{\text{полн}}} t ,$$

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

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

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

Закон Био-Савара-Лапласа:

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

где α – угол между радиус-вектором и направлением тока.

Магнитная индукция в центре кругового тока радиуса R :

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

Магнитная индукция на оси кругового тока

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

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

Магнитная индукция поля прямого тока:

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

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

Магнитная индукция поля, создаваемого отрезком проводника с током

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I}{r_0} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2),$$

где α_1 и α_2 – углы, между радиус-векторами, проведёнными к концам проводника, и направлением тока.

Магнитная индукция поля соленоида:

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

где n – отношение числа витков соленоида к его длине.

Сила Ампера:

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

где α – угол между направлением тока и вектором магнитной индукции \vec{B} .

Магнитный момент плоского контура с током:

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

где \vec{n} – единичный вектор нормали к плоскости контура.

Механический (вращательный) момент, действующий на контур с током в однородном магнитном поле:

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

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

Потенциальная энергия (механическая) контура с током в магнитном поле:

$$E_p = -(\vec{p}_m, \vec{B}), \text{ или } E_p = -p_m B \cos \alpha.$$

Сила Лоренца

$$\vec{F} = Q[\vec{v}, \vec{B}], \text{ или } F = QvB \sin \alpha$$

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

Магнитный поток:

- для однородного магнитного поля и плоской поверхности

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

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

- для неоднородного поля и произвольной поверхности

$$\Phi = \int_S B_n dS.$$

Потокосцепление (полный поток)

$$\Psi = N\Phi.$$

Работа по перемещению замкнутого контура в магнитном поле:

$$dA = Id\Phi.$$

ЭДС индукции

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

Заряд, протекающий при изменении магнитного потока, пронизывающего контур:

$$dQ = d\Phi / R, \text{ или } dQ = Nd\Phi / R = d\Psi / R$$

Индуктивность контура:

$$L = \Phi / I$$

ЭДС самоиндукции

$$\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt}$$

Индуктивность соленоида

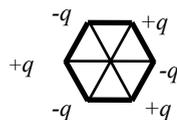
$$L = \mu\mu_0 n^2 V,$$

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

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ И МАГНЕТИЗМУ

Вариант 1

1. В вершинах правильного шестиугольника расположены три положительных и три отрицательных заряда. Найдите модуль и направление вектора напряжённости электрического поля в центре шестиугольника. Модуль каждого заряда равен 1,5 нКл, все стороны шестиугольника – по 3 см.



2. Тонкий стержень длиной 20 см несёт равномерно распределённый заряд $\tau = 0,1$ мкКл. Определите напряжённость электрического поля, создаваемого распределённым зарядом в точке А, лежащей на оси стержня на расстоянии $a = 20$ см от его конца.

3. Площадь пластин плоского воздушного конденсатора $S = 0,01$ м², расстояние между ними $d = 5$ мм. К пластинам приложена разность потенциалов $U_1 = 300$ В. После отключения конденсатора от источника напряжения, пространство между пластинами заполняется эбонитом ($\varepsilon_1 = 3$). Какова будет разность потенциалов U_2 между пластинами после заполнения? Найдите ёмкость конденсатора C_1 и C_2 и поверхностные плотности зарядов σ_1 и σ_2 на пластинах до и после заполнения.

4. Электрон влетает в плоский горизонтальный конденсатор параллельно его пластинам со скоростью 10^7 м/с. Напряжённость поля в конденсаторе 100 В/см, длина пластины конденсатора 5 см.

Найдите скорость, полное, тангенциальное и нормальное ускорение электрона при вылете его из конденсатора, а также работу сил поля, совершенную над электроном в конденсаторе.

5. Определите ток короткого замыкания источника ЭДС, если при внешнем сопротивлении $R_1 = 44$ Ом ток в цепи $I_1 = 0,25$ А, а при $R_2 = 100$ Ом – $I_2 = 0,15$ А.

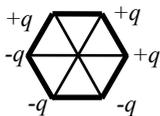
6. По отрезку прямого провода длиной 80 см течёт ток силой 50 А. Определите магнитную индукцию поля, создаваемого этим током, в точке, равномерно удалённой от концов отрезка провода и находящейся на расстоянии $r_0 = 30$ см от его середины.

7. Магнитная индукция поля между полюсами двухполосного генератора $B = 0,8$ Тл. Ротор имеет 100 витков площадью 400 см². Найдите частоту вращения якоря, если максимальное значение ЭДС индукции 200 В.

8. В цепи переменного тока частотой $f = 50$ Гц находятся реостат и катушка с индуктивностью $L = 0,1$ Гн. Между напряжением и силой тока наблюдается сдвиг фазы $\varphi = 30^\circ$. Найдите сопротивление реостата, ёмкость, которую нужно включить последовательно в цепь, чтобы устранить наблюдаемый сдвиг фазы.

Вариант 2

1. В вершинах правильного шестиугольника расположены три положительных и три отрицательных заряда. Найдите модуль и направление вектора напряжённости электрического поля в центре шестиугольника. Модуль каждого заряда равен 1 нКл; сторона шестиугольника – 2 см.



2. По тонкому полукольцу радиуса 10 см равномерно распределён заряд с линейной плотностью $\tau = 1$ мКл/м. Определите напряжённость электрического поля, создаваемого распределённым зарядом в точке О, совпадающей с центром кольца.

3. Площадь пластин плоского воздушного конденсатора $0,1$ м², расстояние между ними $d = 5$ мм. К пластинам приложена разность потенциалов $U_1 = 100$ В. При включённом к источнику напряжения конденсаторе, пространство между пластинами заполня-

ется эбонитом ($\epsilon_1 = 3$). Какова будет разность потенциалов U_2 между пластинами после заполнения? Найдите ёмкость конденсатора C_1 и C_2 и поверхностные плотности зарядов σ_1 и σ_2 на пластинах до и после заполнения.

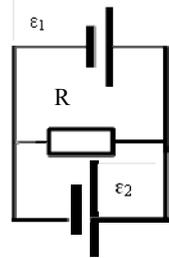
4. Электрон, обладающий скоростью $6 \cdot 10^9$ см/с, влетает в плоский конденсатор параллельно его пластинам. Расстояние между пластинами конденсатора 1 см, длина конденсатора 5 см, разность потенциалов на пластинах 600 В. Найдите отклонение электрона, вызванное напряжением на конденсаторе.

5. Определить напряжение на зажимах резистора сопротивлением $R = 3$ Ом, если ЭДС и внутреннее сопротивление источников тока равны $\epsilon_1 = 5$ В, $\epsilon_2 = 1$ Ом, $r_1 = 3$ В, $r_2 = 0,5$ Ом.

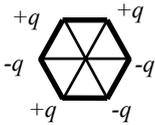
6. Два параллельных бесконечно длинных провода, по которым текут в одном направлении электрические токи силой 60 А, расположены на расстоянии $d = 10$ см друг от друга. Определите магнитную индукцию поля, создаваемого проводниками с током в точке отстоящей от оси одного проводника на расстоянии $r_1 = 5$ см, от другого – $r_2 = 12$ см.

7. Рамка площадью 50 см², содержащая 100 витков, равномерно вращается в однородном магнитном поле, индукция которого $B = 4 \cdot 10^{-2}$ Тл. Определите максимальную ЭДС индукции, если ось вращения лежит в плоскости рамки, перпендикулярна вектору магнитной индукции и проходит через центр рамки, а период вращения рамки $6,25 \cdot 10^{-2}$ с. Постройте графические зависимости магнитного потока, пронизывающего рамку и ЭДС индукции от времени.

8. Колебательный контур состоит из конденсатора $C = 10$ мкф, катушки индуктивности $L = 0,5$ Гн и резистора $R = 60$ Ом. Конденсатор заряжен количеством электричества $q = 5 \cdot 10^{-6}$ Кл. Найдите период колебаний, коэффициент затухания, запишите уравнения $U = U(t)$ и $I = I(t)$.



Вариант 3



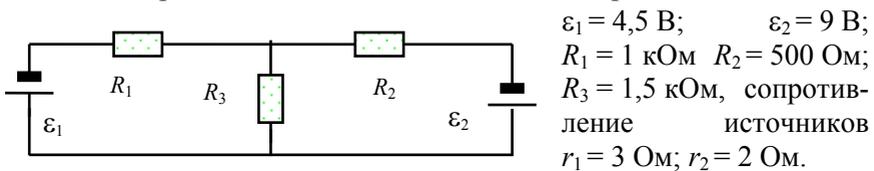
1. В вершинах правильного шестиугольника расположены три положительных и три отрицательных заряда. Найдите напряжённость электрического поля в центре шестиугольника. Модуль каждого заряда равен 2 нКл; все стороны шестиугольника – по 2 см.

2. Четверть тонкого кольца, радиусом $R = 10$ см несёт равномерно распределённый заряд $Q = 0,05$ мкКл. Определите напряжённость электрического поля, создаваемого распределённым зарядом в точке, совпадающей с центром кольца.

3. Дан плоский конденсатор, имеющий три диэлектрические прокладки толщиной 2 мм из стекла ($\epsilon_1 = 7$), слюды ($\epsilon_1 = 6$) и парафина ($\epsilon_1 = 3$), заполняющие весь объём между обкладками. Площадь обкладки конденсатора 200 см^2 . Определите ёмкость этого конденсатора и падение напряжения на каждом диэлектрике при подаче на конденсатор напряжения в 50 В. Определите энергию поля, накопленную в конденсаторе, и поверхностную плотность зарядов на каждом диэлектрике.

4. Однозарядный ион изотопа калия с атомным весом 39 а.е. массы ускоряется разностью потенциалов, равной 300 В, и влетает в однородное магнитное поле, перпендикулярное скорости. Найдите радиус кривизны траектории, если индукция магнитного поля 0,08 Тл.

5. Определите силы токов в ветвях электрической цепи, если



6. Шины электростанции представляют собой параллельные полосы длиной 3 м, находящиеся на расстоянии 50 см друг от друга. При коротком замыкании по ним может пройти ток силой 10000 А. Определите силу, с которой взаимодействуют при этом шины, на

пряжённость и индукцию магнитного поля в точке, лежащей между шинами посередине. Шины считать бесконечно длинными проводниками.

7. Рамка площадью 50 см^2 , содержащая 100 витков, равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией 40 мТл. Определить максимальную ЭДС индукции, если ось вращения лежит в плоскости рамки и составляет с линиями индукции угол 30° , а рамка вращается с частотой 960 мин^{-1} .

8. В цепь переменного тока включены последовательно катушка индуктивности, конденсатор и активное сопротивление. Найдите действующее значение напряжения на активном сопротивлении U_R , если известно, что $U_C = 5 U_R$; $U_L = 2 U_R$. Максимальное значение подаваемого в цепь переменного синусоидального напряжения $U_o = 200 \text{ В}$.

Вариант 4

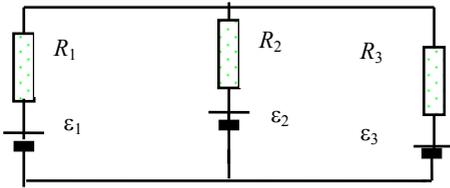
1. Электрическое поле создано двумя точечными зарядами $q_1 = 40 \text{ нКл}$ и $q_2 = -10 \text{ нКл}$, находящимися на расстоянии 10 см друг от друга. Определить напряжённость поля в точке, удалённой от первого заряда на $r_1 = 12 \text{ см}$ и от второго на $r_2 = 6 \text{ см}$.

2. Две трети тонкого кольца радиусом 10 см несут равномерно распределённый заряд с линейной плотностью $0,2 \text{ мкКл/м}$. Определите напряжённость электрического поля, создаваемого распределённым зарядом в точке, совпадающей с центром кольца.

3. Плоский конденсатор зарядили с помощью источника ЭДС - $\varepsilon = 200 \text{ В}$. Затем конденсатор был отключён от источника. Определить напряжение между пластинами, если расстояние между ними увеличить с 0,2 до 0,7 мм, а пространство между пластинами заполнить слюдой ($\varepsilon = 7$). Найдите поверхностную плотность связанных зарядов.

4. Электрон влетает в плоский вакуумный конденсатор на равном расстоянии от пластин, имея скорость $2 \cdot 10^7 \text{ м/с}$, направленную параллельно пластинам конденсатора. Расстояние между пластинами 1 см, их длина 5 см, напряжение на конденсаторе 90 В. Вы-

летит ли электрон из конденсатора? Определите расстояние, на которое сместится электрон под действием электрического поля в конденсаторе.



5. Определите силы токов в ветвях электрической цепи, если $\varepsilon_1 = 2 \text{ В}$; $R_1 = 0,2 \text{ Ом}$; $\varepsilon_2 = 1,5 \text{ В}$; $R_2 = 0,15 \text{ Ом}$; $\varepsilon_3 = 1,2 \text{ В}$; $R_3 = 0,4 \text{ Ом}$. Внутренними сопротивлениями источников

ЭДС пренебречь.

6. Определите напряжённость магнитного поля, созданного участком прямого провода длиной 30 см в точке, удалённой от его концов на расстояниях $r_1 = 40 \text{ см}$ и $r_2 = 50 \text{ см}$. Ток, текущий по проводу равен $I = 3,14 \text{ А}$.

7. Квадратную рамку со стороной 5 см вращают в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. Угловая скорость вращения – $62,8 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}$. Определите закон изменения магнитного потока через рамку и ЭДС индукции в рамке в зависимости от времени. Число витков рамки – 50. Постройте графики указанных зависимостей.

8. Найдите ёмкость конденсатора, ёмкостная проводимость которого эквивалентна проводимости реостата с сопротивлением 500 Ом при частоте тока 50 Гц. Эти конденсаторы и реостат включены в цепь переменного тока частотой 50 Гц. Определите общее сопротивление цепи. Вычислите сдвиг по фазе $\Delta\varphi$ между напряжением источника и током цепи.

Вариант 5

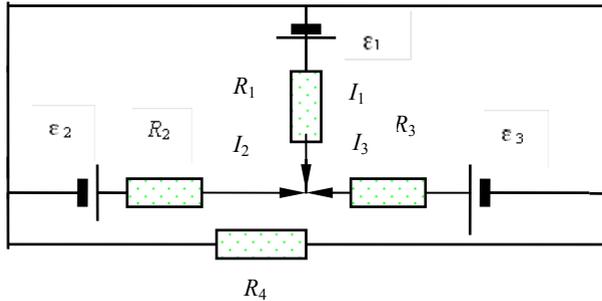
1. В трёх вершинах квадрата со стороной 0,4 м находятся одинаковые положительные заряды по $5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$ каждый. Найти напряжённость и потенциал поля в четвёртой вершине квадрата.

2. Тонкое полукольцо радиуса 20 см заряжено равномерно зарядом 0,7 нКл. Найдите модуль напряжённости электрического поля в центре кривизны этого полукольца.

3. Электроёмкость плоского конденсатора равна 1,5 пФ, расстояние между пластинами $d = 5$ мм. Найти ёмкость конденсатора, если на нижнюю пластину положен лист эбонита толщиной $d_1 = 3$ мм ($\epsilon_1 = 3$). Определить поверхностную плотность связанных зарядов в эбоните, если к конденсатору приложить напряжение 8,5 В.

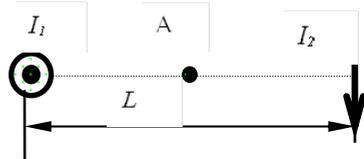
4. Электронный луч, пройдя между обкладками конденсатора электронно-лучевой трубки, отклоняется на 2 мм. Длина пластин конденсатора 5 см, расстояние между ними 1 см, приложенное напряжение 120 В. Определите среднюю скорость электронов.

5. Определите токи, текущие через резисторы. Сопротивлениями источников тока и соединительных проводов пренебречь. $\epsilon_1 = 1$ В; $R_1 = 100$ Ом;



$\epsilon_2 = 2$ В; $R_2 = 200$ Ом; $\epsilon_3 = 3$ В; $R_3 = 300$ Ом, $R_4 = 400$ Ом.

6. Определите напряжённость магнитного поля в точке А, расположенной на середине отрезка длиной 0,5 м. Сила токов, текущих по бесконечно длинным проводам, $I_1 = I_2 = 3,14$ А. Покажите, что сила взаимодействия этих проводников с током равна нулю.



7. В однородном магнитном поле, индукция которого равна 0,1 Тл, вращается катушка, состоящая из 200 витков. Ось вращения катушки перпендикулярна её оси, направление магнитного поля составляет угол 60° с осью катушки. Период обращения равен 0,2 с,

площадь поперечного сечения катушки 4 см^2 . Найти максимальную ЭДС индукции во вращающейся катушке.

8. Сопротивление 10 Ом и катушка с индуктивностью $0,1 \text{ Гн}$ соединены последовательно. Определите ёмкость, которую нужно включить последовательно в цепь, чтобы уменьшить сдвиг по фазе между ЭДС и силой тока на $\Delta\varphi = 27^\circ$. Источник переменной ЭДС имеет частоту 50 Гц .

Вариант 6

1. В центр квадрата, в вершинах которого находятся положительные заряды величиной $2,3 \text{ нКл}$, помещён отрицательный заряд. Найдите значение этого заряда, если результирующая сила, действующая на заряд, равна нулю.

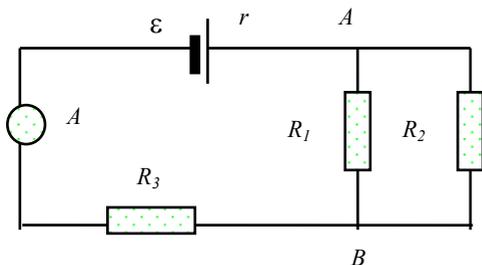
2. Две бесконечно длинные равномерно заряженные нити расположены параллельно друг другу на расстоянии 10 см . Найдите геометрическое место точек, где результирующая напряжённость поля равна нулю, если линейные плотности зарядов нитей имеют значения $\tau_1 = 0,2 \text{ мкКл/м}$, $\tau_2 = 0,6 \text{ мкКл/м}$.

3. Конденсатор ёмкостью 16 мкФ последовательно соединён с конденсатором неизвестной ёмкости, и оба они подключены к источнику постоянного напряжения 12 В . Определите ёмкость второго конденсатора, если заряд батареи 24 мкКл .

4. В плоском горизонтально расположенном вакуумном конденсаторе капля ртути находится в равновесии. Определите радиус капли, если её заряд равен $8 \cdot 10^{-16} \text{ Кл}$, напряжение на конденсаторе

600 В , расстояние между пластинами 2 см .

5. В цепь включены: элемент с ЭДС — $\varepsilon = 100 \text{ В}$ и внутренним сопротивлением $r = 2 \text{ Ом}$; сопротивления $R_1 = 25 \text{ Ом}$ и $R_2 = 78 \text{ Ом}$. На сопротивлении R_1 выделяется мощ-



ность $P_1 = 16$ Вт. Какой ток I показывает амперметр?

6. Два параллельных бесконечно длинных провода, по которым текут противоположно направленные токи силой $I_1 = 3$ А и $I_2 = 4$ А, расположены на расстоянии $d = 10$ см друг от друга. Определите магнитную индукцию поля и напряжённость в точке, находящейся посередине между проводами. Определить силу, действующую на единицу длины проводов.

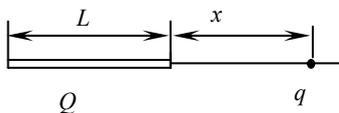
7. Замкнуты на себя соленоид радиусом $0,1$ м, содержащий 10 витков, вращается с угловой скоростью 5 рад/с вокруг диаметра одного из витков в однородном магнитном поле с индукцией $1,4$ Тл. Ось вращения перпендикулярна вектору магнитной индукции. Сопротивление соленоида – 5 Ом, индуктивность $L = 1$ Гн. Определить максимальную силу тока, текущую через соленоид.

8. В цепь переменного тока частотой 50 Гц включены последовательно индуктивность $L = 2,26 \cdot 10^{-2}$ Гн и активное сопротивление R . Найдите величину R , если известно, что сдвиг по фазе между током и напряжением равен 60° .

Вариант 7

1. Два положительных точечных заряда Q и $9 \cdot Q$ закреплены на расстоянии 100 см друг от друга. Определите, в какой точке на прямой, проходящей через заряды, следует поместить третий заряд так, чтобы он находился в равновесии. Указать какой знак должен иметь этот заряд для того, чтобы равновесие было устойчивым, если перемещения зарядов возможны только вдоль прямой, проходящей через закреплённые заряды.

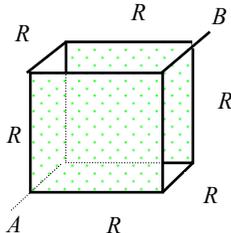
2. Тонкий стержень, имеющий длину 10 см, равномерно заряжен положительным зарядом $0,05$ мкКл. Найдите силу, действующую на точечный заряд q , расположенный на расстоянии $x = 20$ см от него, лежащий на продолжении стержня. Найти напряжённость поля в точках, лежащих на продолжении стержня, как функцию расстояния до стержня.



3. Одной из пластин плоского конденсатора площадью $0,2 \text{ м}^2$ сообщили заряд $3,14 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$. Расстояние между пластинами $d = 2 \text{ мм}$. Между пластинами, параллельно им, находится стеклянная пластинка, толщиной $d_1 = 0,5 \text{ мм}$. Определить напряжённость электрического поля в стекле ($\epsilon = 7$) и в воздухе ($\epsilon = 1$), поверхностную плотность связанных зарядов и напряжение на конденсаторе.

4. Электрон, ускоренный разностью потенциалов 100 В , влетает в плоский конденсатор параллельно пластинам, на равном расстоянии от пластин. Напряжение, подаваемое на конденсатор – $1,48 \text{ В}$, расстояние между ними 4 см , длина пластин 20 см . Определите расстояние, на которое сместится электрон под действием электрического поля в конденсаторе.

5. Определите сопротивление проволочного каркаса, имеющего форму куба, если напряжение подводится к точкам A и B . Сопротивление каждой стороны равно R .



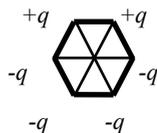
6. По тонкому проводящему кольцу радиусом 10 см течёт ток силой 8 А . Найдите магнитную индукцию в точке, удалённой от всех точек кольца на расстоянии 20 см .

7. Рамка площадью 50 см^2 , содержащая 100 витков, равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией 40 мТл . Определите максимальное ЭДС индукции, если ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции, а рамка вращается с частотой 960 мин^{-1} . Представить графические зависимости потока, пронизывающего площадь рамки и ЭДС индукции от времени.

8. Колебательный контур состоит из конденсатора $C = 7 \text{ мкФ}$, катушки индуктивности $L = 0,23 \text{ Гн}$. Конденсатор заряжен количеством электричества $q = 5,6 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}$. Найдите период колебаний в контуре, если $R = 40 \text{ Ом}$. Записать уравнение $U = U(t)$ и $I = I(t)$.

Вариант 8

1. В вершинах правильного шестиугольника расположены два положительных и четыре отрицательных заряда. Найдите модуль и направление вектора напряжённости электрического поля в центре шестиугольника. Модуль каждого заряда равен $1,5 \text{ нКл}$; каждая сторона шестиугольника – 3 см .



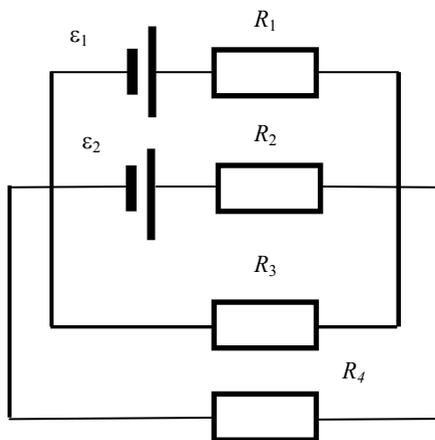
2. Четверть тонкого кольца, радиусом $R = 10 \text{ см}$ несёт равномерно распределённый заряд $Q = 0,05 \text{ мкКл}$. Определите напряжённость электрического поля, создаваемого распределённым зарядом в точке, совпадающей с центром кольца.

3. Конденсаторы ёмкостью $C_1 = 5 \text{ мкФ}$ и $C_2 = 10 \text{ мкФ}$ заряжены до напряжений $U_1 = 60 \text{ В}$ и $U_2 = 100 \text{ В}$ соответственно. Определить напряжение на обкладках конденсаторов после их соединения обкладками, имеющими одноимённые заряды.

4. Электрон влетает в пространство между обкладками плоского конденсатора на равном расстоянии от пластин, в направлении, параллельном обкладкам со скоростью $2 \cdot 10^7 \text{ м/с}$. При какой минимальной разности потенциалов на обкладках электрон не вылетит из конденсатора, если длина конденсатора 10 см , а расстояние между его обкладками 1 см ?

5. Определите напряжение на резисторах сопротивлениями $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = R_3 = 4 \text{ Ом}$ и $R_4 = 2 \text{ Ом}$, включённых в цепь, если $\varepsilon_1 = 10 \text{ В}$, $\varepsilon_2 = 4 \text{ В}$. Сопротивлениями источников тока пренебречь.

6. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводникам в вакууме,



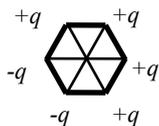
расстояние между которыми 10 см, текут токи 60 А и 40 А в одном направлении. Определить магнитную индукцию в точке, удалённой на 10 см от первого проводника и 5 см от второго проводника.

7. Рамка из провода сопротивлением 0,04 Ом равномерно вращается в однородном магнитном поле ($B = 0,6$ Тл). Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Площадь рамки 200 см^2 . Определить заряд Q , который потечёт по рамке при изменении угла между нормалью к рамке и линиями индукции от 0° до 45° .

8. Определите сдвиг фаз колебаний напряжения и силы тока для электрической цепи, состоящей из последовательно включённых проводников с активным сопротивлением 1000 Ом, катушки индуктивностью $L = 0,5$ Гн и конденсатора ёмкостью 1 мкФ. Определите мощность, которая выделяется в цепи, если амплитуда напряжения $U_0 = 100$ В, а частота равна 50 Гц.

Вариант 9

1. В вершинах правильного шестиугольника расположены четыре положительных и два отрицательных заряда. Найдите модуль и направление вектора напряжённости электрического поля в центре шестиугольника. Модуль каждого заряда равен 1,5 нКл; стороны шестиугольника – по 3 см.



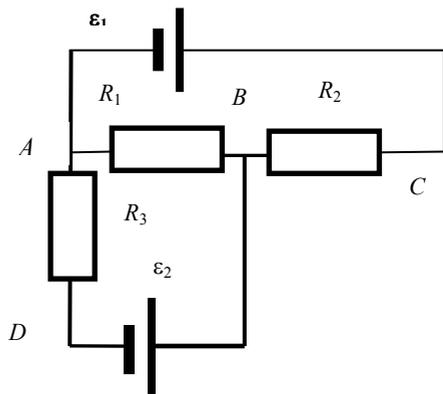
2. Две трети тонкого кольца несут равномерно распределённый заряд с линейной плотностью $\tau = 2$ мкКл/м. Определить напряжённость электрического поля, создаваемого распределённым зарядом в точке, совпадающей с центром кольца, если радиус кольца $R = 10$ см.

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

4. Электрон, обладающий скоростью 10^9 см/с, влетает в плоский конденсатор параллельно его пластинам. Расстояние между пластинами конденсатора 1 см, длина конденсатора 8 см, разность

потенциалов на пластинах 400 В. Найдите отклонение электрона, вызванное напряжением на конденсаторе.

5. Сопротивления
участков цепи АВ, ВС и AD соответственно равны 1000 Ом, 500 Ом и 200 Ом. Гальванический элемент, полюсы которого подключены к точкам А и С, имеет ЭДС 1,8 В. Гальванометр регистрирует силу тока 0,5 мА в направлении, указанном стрелкой. Определите ЭДС второго гальванического элемента, пренебрегая внутренними сопротивлениями элементов и внутренним сопротивлением гальванометра.



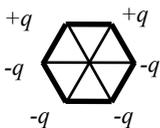
6. По двум параллельным проводам длиной 3 м каждый текут одинаковые токи $I = 500$ А. Расстояние d между проводами равно 10 см. Определить силу взаимодействия проводов.

7. Рамка из провода сопротивлением 0,04 Ом равномерно вращается в однородном магнитном поле ($B = 0,8$ Тл). Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Площадь рамки – 200 см². Определить заряд, который потечёт по рамке при изменении угла между нормалью к рамке и линиями индукции от 45° до 90°.

8. В цепи, состоящей из последовательно соединённых резистора сопротивлением 20 Ом, катушки индуктивностью 1 мГн и конденсатора ёмкостью 0,1 мкФ, действует синусоидальное ЭДС. Определите действующие значения силы тока, напряжений на всех элементах цепи при резонансе, если при этом действующее значение ЭДС равно 30 В.

Вариант 10

1. В вершинах правильного шестиугольника расположены два положительных и четыре отрицательных заряда. Найдите модуль и направление вектора напряжённости электрического поля в центре шестиугольника. Модуль каждого заряда равен 1 нКл; сторона шестиугольника – 3 см.



2. Тонкое кольцо несёт распределённый заряд 0,2 мкКл. Определите напряжённость электрического поля, создаваемого распределённым зарядом в точке А, равноудалённой от всех точек кольца на расстояние $r = 20$ см. Радиус кольца $R = 10$ см.

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

4. Электрон влетает в плоский воздушный конденсатор параллельно его пластинам со скоростью 10^6 м/с. Длина конденсатора 2 см, напряжённость электрического поля в нём $2 \cdot 10^3$ Н/Кл. Найдите скорость электрона при вылете из конденсатора и его смещение вдоль направления перпендикулярного пластинам конденсатора.

5. Три одинаковых источника тока с внутренним сопротивлением 6 Ом замкнули, один раз соединив последовательно, другой раз – параллельно на некоторый резистор. При этом сила тока в цепи была в обоих случаях одинакова. Определить сопротивление резистора.

6. Определить магнитную индукцию поля, создаваемого отрезком бесконечного длинного провода, в точке, равноудалённой от концов отрезка и находящейся на расстоянии $R = 4$ см от его середины. Длина отрезка провода – 20 см, а сила тока в проводе $I = 10$ А.

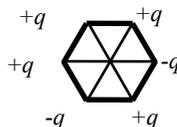
7. Рамка, содержащая $N = 200$ витков тонкого провода, может свободно вращаться относительно оси, лежащей в плоскости рамки. Площадь рамки – 50 см². Ось рамки перпендикулярна линиям индукции однородного магнитного поля ($B = 0,05$ Тл). Определите

максимальную ЭДС (ϵ_{\max}), которая индуцируется в рамке при её вращении с частотой 40 с^{-1} .

8. Цепь состоящая из последовательно соединённых конденсатора ёмкости 22 мкФ и катушки с активным сопротивлением 20 Ом и индуктивностью $0,35 \text{ Гн}$, подключена к сети переменного напряжения с амплитудой 180 В и частотой 314 с^{-1} . Найдите амплитуду тока в цепи и разность фаз между током и внешним напряжением.

Вариант 11

1. В вершинах правильного шестиугольника расположены четыре положительных и два отрицательных заряда. Найдите модуль и направление вектора напряжённости электрического поля в центре шестиугольника. Модуль каждого заряда равен 2 нКл ; каждая сторона шестиугольника – 2 см .



2. По тонкому кольцу радиуса 20 см равномерно распределён заряд 10 нКл . Определите напряжённость электрического поля, создаваемого распределённым зарядом в точке A , лежащей на оси кольца и удалённой от его центра на расстояние, равное радиусу кольца.

3. Два одинаковых плоских воздушных конденсатора ёмкостью 100 пФ каждый соединены в батарею последовательно. Определите, на сколько изменится ёмкость батареи, если пространство между пластинами одного из конденсаторов заполнить парафином ($\epsilon_1 = 3$).

4. В однородное электрическое поле напряжённостью 200 В/м влетает (вдоль силовой линии) электрон со скоростью $2 \cdot 10^6 \text{ м/с}$. Определить расстояние ℓ , которое пройдёт электрон до точки, в которой его скорость будет равна половине начальной.

5. Дано: $R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 20 \text{ Ом}$, $R_3 = 30 \text{ Ом}$ $\epsilon_1 = 1,5 \text{ В}$, $\epsilon_2 = 2 \text{ В}$ $\epsilon_3 = 2,5 \text{ В}$. Внутренние сопротивления источников тока пренебрежи-

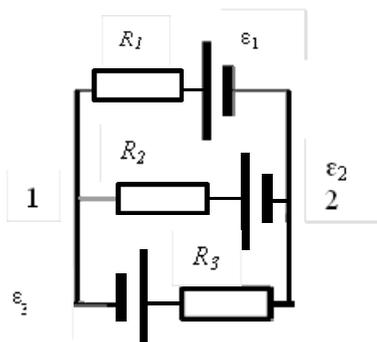
мо малы. Найдите силу тока через сопротивление R_3 и разность потенциалов между точками 1 и 2.

6. Тонкий провод длиной 20 см изогнут в виде полукольца и помещён в магнитное поле ($B = 10$ мТл) так, что площадь полукольца перпендикулярна линиям магнитной индукции. По проводу пропустили ток $I = 50$ А.

Определите силу, действующую на провод. Подводящие провода направлены вдоль линий магнитной индукции.

7. Круговой проводящий контур радиусом 0,1 м и током 1 А установился в магнитном поле так, что плоскость контура перпендикулярна направлению магнитного поля с индукцией 20 мТл. Определите работу, которую следует совершить, чтобы медленно повернуть контур на 90° относительно оси, совпадающей с диаметром контура.

8. В сеть переменного тока включены последовательно катушка индуктивностью 3 мГн и активным сопротивлением 20 Ом и конденсатор ёмкостью 30 мкФ. Напряжение на конденсаторе 50 В. Определите напряжение на зажимах цепи, ток в цепи, напряжение на катушке, активную и реактивную мощность.



Вариант 12

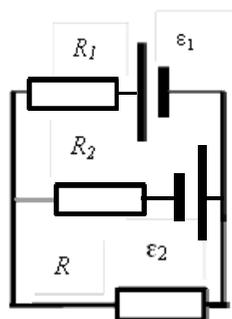
1. Электрическое поле создано двумя точечными зарядами $q_1 = -20$ нКл и $q_2 = 10$ нКл, находящимися на расстоянии 10 см друг от друга. Определить напряжённость поля в точке, удалённой от первого заряда на $r_1 = 8$ см и от второго на $r_2 = 6$ см.

2. По тонкому полукольцу радиуса 20 см равномерно распределён заряд с линейной плотностью $\tau = 2$ мкКл/м. Определите напряжённость электрического поля, создаваемого распределённым зарядом в точке, совпадающей с центром кольца.

3. Два конденсатора ёмкостями $C_1 = 5 \text{ мкФ}$ и $C_2 = 8 \text{ мкФ}$ соединены последовательно и присоединены к батарее с ЭДС $\varepsilon = 80 \text{ В}$. Определить заряды конденсаторов и разности потенциалов между их обкладками.

4. Пылинка массой 5 нг , несущая на себе 10 электронов, прошла в вакууме ускоряющую разность потенциалов $U = 1 \text{ МВ}$. Какова кинетическая энергия пылинки? Какую скорость приобрела пылинка?

5. Найдите значение и направление тока через сопротивление R , если $R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 20 \text{ Ом}$, $R = 5 \text{ Ом}$, $\varepsilon_1 = 1,5 \text{ В}$, $\varepsilon_2 = 3,7 \text{ В}$. Внутренние сопротивления источников тока пренебрежимо малы.



6. Определите напряжённость магнитного поля на оси тонкого проводящего кольца радиусом 10 см , в точке, расположенной на расстоянии, равном радиусу кольца при токе $I = 10 \text{ А}$ в кольце.

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

8. В цепи переменного тока частотой 50 Гц находятся реостат и катушка с индуктивностью $L = 0,3 \text{ Гн}$. Между напряжением и силой тока наблюдается сдвиг фазы $\varphi = 45^\circ$. Найдите сопротивление реостата, ёмкость, которую нужно включить последовательно в цепь, чтобы устранить наблюдаемый сдвиг фазы.

Вариант 13

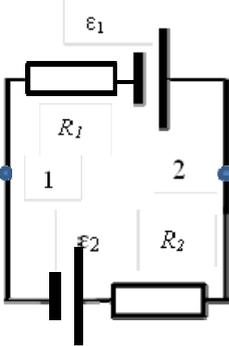
1. В трёх вершинах квадрата со стороной $0,1 \text{ м}$ находятся одинаковые отрицательные заряды по 10^{-9} Кл каждый. Найдите напряжённость и потенциал поля в четвёртой вершине квадрата.

2. По тонкому кольцу радиуса 10 см равномерно распределён заряд $Q = 1$ нКл. Определите напряжённость электрического поля, создаваемого распределённым зарядом в точке А, лежащей на оси кольца и удалённой от его центра на расстояние, равное двум радиусам кольца.

3. Электроёмкость плоского конденсатора равна 1,5 пФ, расстояние между пластинами $d = 5$ мм. Найти ёмкость конденсатора, если на нижнюю пластину положен лист эбонита толщиной $d_1 = 3$ мм ($\epsilon_1 = 3$). Определить поверхностную плотность связанных зарядов в эбоните, если к конденсатору приложить напряжение 8,5 В.

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

5. Найдите разность потенциалов между точками 1 – 2, если $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 20$ Ом, $\epsilon_1 = 5$ В, $\epsilon_2 = 2,0$ В. Внутренние сопротивления источников тока пренебрежимо малы.



6. Тонкое проводящее кольцо с током $I = 40$ А помещено в однородное магнитное поле ($B = 80$ мТл). Плоскость кольца перпендикулярна линиям магнитной индукции. Радиус кольца равен 20 см. Найти силу \vec{F} , растягивающую кольцо.

7. Определить среднюю ЭДС индукции, возникающую в кольце, помещённом перпендикулярно магнитному полю, при повороте его на угол 90° за 10^{-4} с. Радиус кольца 5 см, индукция магнитного поля 1 Тл.

8. Цепь, состоящая из последовательно соединённых конденсатора, катушки и активного сопротивления, подключена к сети переменного напряжения с постоянной амплитудой, частотой, которую можно изменять. Найдите частоту, при которой амплитуда напряжения на конденсаторе максимальна.

Вариант 14

1. Заряды по 1 нКл помещены в вершинах равностороннего треугольника со стороной 0,2 м. Равнодействующая сил, действующих на четвёртый заряд, помещённый на середине одной из сторон треугольника, равна 0,6 мкН. Определите этот заряд, напряжённость и потенциал поля в точке его расположения.

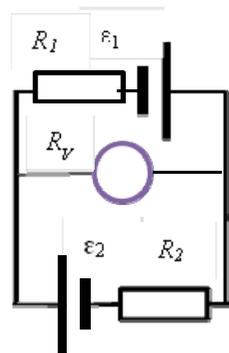
2. Тонкое кольцо несёт заряд 12,56 мкКл. Определите напряжённость электрического поля, создаваемого распределённым зарядом в точке A , равноудалённой от всех точек кольца на расстояние 20 см. Линейная плотность заряда $\tau = 2$ мкКл/м.

3. Одной из пластин плоского конденсатора площадью $0,2 \text{ м}^2$ сообщили заряд $3,14 \cdot 10^{-9}$ Кл. Расстояние между пластинами $d = 2$ мм. Между пластинами параллельно им находится стеклянная пластинка, толщиной $d_1 = 0,5$ мм. Определите напряжённость электрического поля в стекле ($\epsilon = 7$) и в воздухе ($\epsilon = 1$), поверхностную плотность связанных зарядов и напряжение на конденсаторе.

4. Электрон в однородном электрическом поле получает ускорение 10^{11} м/с^2 . Найдите напряжённость электрического поля, скорость, которую получит электрон за время 2 мкс своего движения, работу сил электрического поля за это время и разность потенциалов U , пройденную электроном. Начальная скорость электрона равна нулю.

5. Элементы цепи имеют следующие значения: $R_1 = 1 \text{ кОм}$, $R_2 = 2 \text{ кОм}$, $R_V = 2 \text{ кОм}$, $\epsilon_1 = 1,5 \text{ В}$, $\epsilon_2 = 1,6 \text{ В}$. Определите показания вольтметра. Сопротивлением источников напряжения и соединительных проводов пренебречь

6. Два бесконечно длинных прямых проводника, сила тока в которых 6 А и 8 А, расположены перпендикулярно друг другу. Определить индукцию и напряжённость магнитного поля на середине кратчайшего расстояния между проводниками, равного 2 см.

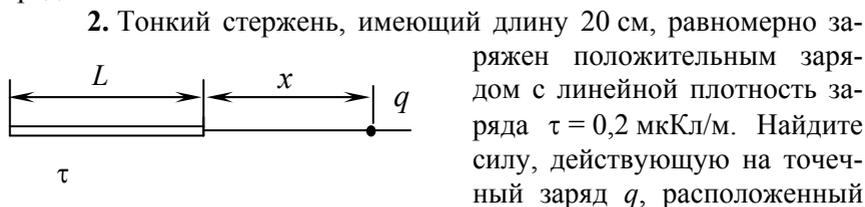


7. Магнитный поток, охваченный контуром проводника, равномерно изменяется на $0,6 \text{ Вб}$ так, что ЭДС индукции равна $1,2 \text{ В}$. Найти время изменения магнитного потока и силу индукционного тока, если сопротивление проводника $0,24 \text{ Ом}$.

8. Цепь, состоящая из последовательно соединённых конденсатора, катушки и активным сопротивлением, подключена к сети переменного напряжения с постоянной амплитудой, частотой, которую можно изменять. Найдите частоту, при которой максимальна амплитуда напряжения на катушке.

Вариант 15

1. На расстоянии 10 см друг от друга в воздухе находятся два положительных заряда по 1 нКл каждый. Определите напряжённость и потенциал поля в точке находящейся на расстоянии 12 см от зарядов.



3. Плоский конденсатор зарядили с помощью источника ЭДС $-E = 100 \text{ В}$. Затем конденсатор был отключён от источника. Определить напряжение между пластинами, если расстояние между ними увеличить с $0,3 \text{ мм}$ до $0,8 \text{ мм}$, а пространство между пластинами заполнить слюдой ($\epsilon = 7$). Найдите поверхностную плотность связанных зарядов.

4. Электрон, ускоренный разностью потенциалов 200 В , влетает в плоский конденсатор параллельно пластинам, на равном расстоянии от пластин. Напряжение, подаваемое на конденсатор -2 В , расстояние между ними 4 см , длина пластин 10 см . Определить рас-

стояние, на которое сместится электрон под действием электрического поля в конденсаторе.

5. Два источника тока с ЭДС 1,5 В и 2 В, соединены одноименными полюсами. Вольтметр, подключённый к зажимам батарей, показал напряжение 1,7 В. Найдите отношение внутренних сопротивлений источников тока.

6. По квадратной рамке со стороной 0,2 м течет ток 4 А. Определите напряжённость и индукцию магнитного поля в центре рамки.

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

8. Определите угол сдвига фаз между напряжением $U = U_0 \sin(\omega t + \varphi)$ и током $I = I_0 \sin(\omega t)$ для электрической цепи, состоящей из последовательно включённых активного сопротивления, величиной 1 кОм, катушки с индуктивностью 0,5 Гн и конденсатора с ёмкостью 1 мкФ. Определите мощность, выделяемую в цепи, если амплитуда напряжения 100 В, а частота тока равна 50 Гц.

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Общая физика. Механика. Сборник задач / Варшавский С. П., Макасюк И. В. Рязанцева О.Л. и др. СПб.: СПГИ, 2000, 74 с.
2. Детлаф А.А., Курс физики. /Детлаф А.А., Яворский Б.М. М.: Высшая школа, 2009, 718 с.
3. Савельев И.В. Курс физики в 3 томах. Учеб. пособие М.: Лань, Т. 1., 2016, 415 с
4. Иродов И. Е. Задачи по общей физике. М.: Бином, 2007, 432 с.
5. Общая физика. Механика. Учебное пособие / А.П. Корольков, А.С. Мустафаев, Н.Н. Смирнова и др. СПб.: СПГИ (ТУ), 2009, 131 с.
6. Сборник задач. Электродинамика. / И.И. Парфёнова, С.В. Егоров, А.С. Мустафаев и др. СПГУ, СПб, 2011, 112 с

\

СОДЕРЖАНИЕ

Рекомендации к решению задач.....	3
Механика. Основные формулы	4
Пример решения задачи	15
Контрольные задания для самостоятельных работ по механике.....	16
Электричество и магнетизм. Основные формулы	31
Контрольные задания для самостоятельных работ по электричеству и магнетизму	38
Рекомендательный библиографический список	59

ФИЗИКА
МЕХАНИКА, ЭЛЕКТРИЧЕСТВО
И МАГНЕТИЗМ

*Методические указания и контрольные задания
для самостоятельной работы студентов бакалавриата
направления 22.03.02*

Составители: *Т.В. Стоянова, А.Ю. Егорова*

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

Ответственный за выпуск *Т.В. Стоянова*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 24.07.2017. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 3,5. Усл.кр.-отт. 3,5. Уч.-изд.л. 2,4. Тираж 100 экз. Заказ 651. С 180.

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