

Министерство образования и науки Российской Федерации
СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ОБЩАЯ ФИЗИКА

**Сборник контрольных заданий
для студентов специалистов**

Красноярск

УДК 53(07)
ББК 22.3я73
О-280

Составители: А.Е.Бурученко, В. А. Захарова, В. Л. Серебренников, Г. Н. Харук,
Л. В. Степанова, И. А. Логинов, С. И. Мушарапова.

Общая физика. Контрольные задания для студентов специалистов разных специальностей / А. Е. Бурученко, В. А. Захарова, В. Л. Серебренников, Г. Н. Харук, Л. В. Степанова, И. А. Логинов, С. И. Мушарапова – Красноярск: Сиб. федер. Ун-т, 2012. – 104 с.

В контрольных заданиях дана рабочая программа по физике, приведены примеры решения задач из разных разделов физики и дан по вариантам перечень задач по всем разделам. Предназначено для студентов инженерных специальностей:

Специалист – 271101, 130102, 131000, 151000, 190110, 120401

УДК 53(07)
ББК 22.3я73

ВВЕДЕНИЕ

Курс физики составляет основу теоретической подготовки инженера любого профиля. На всех этапах обучения большое значение имеет практическое применение теоретических знаний в процессе решения задач. Это способствует приобщению студентов к самостоятельной творческой работе, учит анализировать изучаемые явления и выделять главные факторы.

Контрольные задания по курсу «Общая физика» включает перечень задач для самостоятельного решения по всем разделам: «механика», «колебания и волны», «молекулярная физика», «термодинамика», «электростатика», «постоянный ток», «электромагнетизм», «оптика и атомная физика», которые входят в учебную программу для специалистов.

Задания состоят из трех частей. В первую часть задания входит материал из разделов «механика», «колебания и волны», «молекулярная физика» и «термодинамика», во вторую – материал из разделов «электростатика», «постоянный ток», «электромагнетизм», в третью – материал из разделов «оптика и атомная физика».

В контрольных заданиях дан перечень основных законов и формул, на основе которых решаются задачи.

Самостоятельное решение задач позволит студентам закрепить программный теоретический материал курса физики и уяснить сущность физических явлений.

ЧАСТЬ 1. МЕХАНИКА. МОЛЕКУЛЯРНАЯ И ТЕРМОДИНАМИКА

Задачи, приведенные в методических указаниях, соответствуют программе общего курса физики в техническом вузе и охватывают разделы «Механика», «Колебания и волны», «Молекулярная физика» и «Термодинамика».

В работе отсутствуют сведения, которые при необходимости могут быть найдены в учебных пособиях по курсу общей физики (см. библиографический список). Поэтому вначале помещен краткий перечень формул и законов, необходимых для решения задач.

В приложении приведены основные справочные данные, дополняющие условия задач. Номера вариантов, которые должен выполнить студент, указывает преподаватель.

1.1. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ И ЗАКОНЫ МЕХАНИКИ

1.1.1. Кинематика

Средняя скорость материальной точки: $\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$,

где $\Delta \vec{r}$ – перемещение; Δt – время движения.

Средняя путевая скорость: $\langle v \rangle = \frac{\Delta S}{\Delta t}$,

где ΔS – длина пути; Δt – время движения.

Мгновенная скорость материальной точки: $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$,

где $\vec{r} = \vec{r}(t)$ – радиус-вектор.

Модуль скорости материальной точки: $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$, где v_x, v_y, v_z – проекции вектора скорости \vec{v} на оси координат. Если известна зависимость пути S , пройденного материальной точкой, от времени ее движения t , то модуль мгновенной скорости: $v = \frac{dS}{dt}$.

Среднее ускорение материальной точки: $\langle \vec{a} \rangle = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$, где $\Delta \vec{v}$ – изменение вектора скорости \vec{v} за время Δt .

Мгновенное ускорение материальной точки: $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$.

Кинематическое уравнение равнопеременного движения материальной точки ($a = |\vec{a}| = \text{const}$) вдоль оси Ox :

$$x = x_0 + vt \pm \frac{at^2}{2}.$$

Скорость материальной точки при равнопеременном движении: $v = v_0 \pm at$.

При равномерном движении $v = const$ и координата материальной точки: $x = x_0 \pm vt$.

При криволинейном движении ускорение материальной точки можно представить как векторную сумму нормальной \vec{a}_n и тангенциальной \vec{a}_τ составляющих: $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$, где $a_n = |\vec{a}_n| = \frac{v^2}{R}$; $a_\tau = \frac{dv}{dt}$, (R – радиус вписанной окружности); $a = |\vec{a}| = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}$.

Средняя угловая скорость материальной точки: $\langle \vec{\omega} \rangle = \frac{\Delta \vec{\varphi}}{\Delta t}$, где $\Delta \vec{\varphi}$ – изменение угла поворота точки за время Δt .

Мгновенная угловая скорость материальной точки: $\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}$.

Среднее угловое ускорение материальной точки: $\langle \vec{\varepsilon} \rangle = \frac{\Delta \vec{\omega}}{\Delta t}$,

где $\Delta \vec{\omega}$ – изменение угловой скорости материальной точки за время Δt .

Мгновенное угловое ускорение материальной точки: $\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$.

Кинематическое уравнение равномерного вращения материальной точки:

$\varphi = \varphi_0 \pm \omega t$, где $\varphi_0 = |\vec{\varphi}_0|$ – модуль начального угла и $\omega = |\vec{\omega}|$ – модуль вектора угловой скорости. При равномерном вращении $\omega = const$ и $\varepsilon = |\vec{\varepsilon}| = const$. Частота вращения равна $n = \frac{N}{t}$ или $n = \frac{1}{T}$, где N – количество оборотов материальной точки за время t ; T – период вращения.

Кинематическое уравнение равнопеременного вращения ($\varepsilon = const$) материальной точки:

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

Модуль угловой скорости материальной точки при равнопеременном вращении: $\omega = \omega_0 \pm \varepsilon t$.

Связи между линейными и угловыми величинами, характеризующими вращение материальной точки по окружности радиуса R , выражается формулами:

$$; \quad ; \quad ; \quad ; \quad ; \quad a_\tau = \omega^2 R.$$

1.1.2. Динамика материальной точки и тела, движущегося поступательно

Уравнение движения материальной точки (второй закон Ньютона) в вектор-

ной форме:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{F},$$

где $\vec{p} = m\vec{v}$ - импульс материальной точки массой m , \vec{F} - результирующая сила.

При $m = const$: $m\vec{a} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{F}$.

Третий закон Ньютона:

Сила упругости: $F = kx$, где k - коэффициент упругости и x - изменение длины тела.

Сила гравитационного взаимодействия двух тел: $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$,

где G - гравитационная постоянная, m_1 и m_2 - массы тел; r - расстояние между центрами масс тел.

Сила трения скольжения: $F = \mu N$, где μ - коэффициент трения и N - нормальная составляющая реакции опоры.

Закон сохранения импульса замкнутой системы тел:

$$\sum_{i=1}^n \vec{p}_i = const \quad \text{или} \quad \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = const.$$

Работа, совершаемая постоянной силой \vec{F} : $\Delta A = \vec{F} \Delta \vec{r} = F \Delta r \cos \alpha$,

где $\Delta \vec{r}$ - перемещение тела, α - угол между векторами силы и перемещения.

Работа, совершаемая переменной силой: $A = \int_L F(r) \cos \alpha dr$.

При этом интегрирование проводится вдоль траектории, обозначаемой L .

Средняя мощность, развиваемая силой в течение времени Δt : $\langle P \rangle = \frac{\Delta A}{\Delta t}$.

Мгновенная мощность: $P = \frac{dA}{dt}$, или $P = \vec{F} \vec{v} = Fv \cos \alpha$,

где α - угол между векторами силы \vec{F} и скорости \vec{v} .

Кинетическая энергия материальной точки (или тела, движущегося поступательно):

$$T = \frac{mv^2}{2} \quad \text{или} \quad T = \frac{p^2}{2m}.$$

Потенциальная энергия упругодеформированного тела (сжатой или растянутой пружины):

$$П = \frac{1}{2} kx^2,$$

где k - коэффициент упругости и x - изменение длины тела.

Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия двух материаль-

ных точек (двух тел) массами m_1 и m_2 , находящихся на расстоянии r :

$$\Pi = G \frac{m_1 m_2}{r}.$$

Потенциальная энергия тела, находящегося в однородном поле силы тяжести, на высоте h :

$$\Pi = mgh,$$

где g – ускорение свободного падения тела.

В замкнутой системе тел, в которой действуют только консервативные силы, полная механическая энергия этих тел является постоянной величиной:

$$E = T + \Pi = \text{const.}$$

Из законов сохранения энергии и импульса следует, что после прямого центрального удара двух шаров скорость абсолютно неупругих шаров равна

$$u = \frac{(m_1 v_1 + m_2 v_2)}{(m_1 + m_2)},$$

а скорости абсолютно упругих шаров равны

$$u_1 = \frac{v_1(m_1 - m_2) + 2m_2 v_2}{m_1 + m_2} \quad \text{и} \quad u_2 = \frac{v_2(m_2 - m_1) + 2m_1 v_1}{m_1 + m_2},$$

где v_1 и v_2 – проекции первоначальных скоростей шаров, имеющих, соответственно, массы m_1 и m_2 , на их направление движения.

1.1.3. Механика твёрдого тела

Момент силы \vec{F} , действующей на тело, относительно точки O : $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$, где \vec{r} – радиус-вектор, проведенный из точки O в точку приложения силы \vec{F} .

Модуль момента силы \vec{F} : $M = Fr \sin \alpha = Fl$,

где α – угол между векторами \vec{F} и \vec{r} , $l = r \sin \alpha$ – плечо силы.

Момент инерции материальной точки относительно оси вращения: $J = mr^2$, где m – масса точки, r – расстояние этой точки до оси.

Момент инерции твердого тела относительно оси: $J = \sum_{i=1}^n \Delta m_i r_i^2$,

где Δm_i – масса i -го элемента объема тела, r_i – расстояние i -го элемента объема до оси.

Момент инерции твердого тела в интегральной форме: $J = \int r^2 dm$.

Момент инерции стержня относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его середину: $\frac{1}{12} ml^2$, где m – масса стержня и l – его длина.

Момент инерции стержня относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его конец: $\frac{1}{3} ml^2$.

Момент инерции кольца (обруча) относительно оси, перпендикулярной плоскости кольца (обруча) и проходящей через его центр: mR^2 ,

где m – масса кольца (обруча) и R – его радиус.

Момент инерции круглого однородного диска (цилиндра) относительно его оси симметрии: $\frac{1}{3}mR^2$,

где m – масса диска (цилиндра) и R – его радиус.

Момент инерции однородного шара относительно его оси симметрии: $\frac{2}{5}mR^2$,

где m – масса шара и R – его радиус.

По теореме Штейнера момент инерции тела относительно произвольной оси равен

$$J = J_c + ma^2,$$

где J_c – момент инерции тела относительно параллельной оси, проходящей через центр масс тела; m – масса тела и a – расстояние между указанными осями.

Момент импульса вращающегося тела относительно неподвижной оси:

$$\vec{L} = J\vec{\omega},$$

где J – момент инерции тела относительно неподвижной оси; $\vec{\omega}$ – угловая скорость тела.

Основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M},$$

где \vec{M} – момент силы \vec{F} , действующей на тело, относительно точки O , находящейся на неподвижной оси.

Основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси в случае постоянного момента инерции:

$$\vec{M} = J\vec{\epsilon},$$

где J – момент инерции тела относительно неподвижной оси; $\vec{\epsilon}$ – угловое ускорение тела.

Закон сохранения момента импульса для замкнутой системы тел, момент инерции которой меняется относительно неподвижной оси:

$$J_1\omega_1 = J_2\omega_2,$$

где J_1 и J_2 , соответственно, начальный и конечный моменты инерций системы тел; ω_1 и ω_2 , соответственно, начальная и конечная угловые скорости этой системы тел.

Закон сохранения момента импульса для двух взаимодействующих тел относительно неподвижной оси:

$$J_1\omega_1 + J_2\omega_2 = J_1'\omega_1' + J_2'\omega_2',$$

где J_1, J_2 и J_1', J_2' , соответственно, начальные и конечные моменты инерций

тел; ω_1, ω_2 и ω'_1, ω'_2 , соответственно, начальные и конечные угловые скорости этих тел.

Элементарная работа постоянного момента силы M , действующего на вращающееся тело: $dA = Md\varphi$, где $d\varphi$ - угол поворота тела.

Мгновенная мощность, развиваемая моментом силы при вращении тела:

$$P = \frac{dA}{dt} = M\omega, \quad \text{где } \omega - \text{мгновенная угловая скорость тела.}$$

Кинетическая энергия вращающегося тела: $T = \frac{J\omega^2}{2}$,

где J - момент инерции тела относительно его оси вращения.

Кинетическая энергия тела, катящегося по плоскости без скольжения:

$$T = \frac{m\upsilon^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2},$$

где m - масса тела; υ - скорость движения центра масс тела; J - момент инерции тела и ω - угловая скорость вращения тела относительно оси, проходящей через центр масс этого тела.

Работа силы, совершаемая при вращении тела, расходуется на изменение его кинетической энергии:

$$A = \frac{J\omega_2^2}{2} - \frac{J\omega_1^2}{2}.$$

где ω_1 и ω_2 , соответственно, начальная и конечная угловые скорости тела.

Относительное продольное растяжение (сжатие) тела: $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$.

где l - начальная длина тела, Δl - изменение его длины.

Напряжение деформации тела: $\sigma = \frac{F}{S}$,

где F - модуль силы, действующей на площадь S поперечного сечения тела.

Закон Гука для малой деформации тела: $\sigma = E\varepsilon$, где E - модуль Юнга.

Потенциальная энергия упругого растянутого (сжатого) стержня:

$$\Pi = \frac{1}{2} \frac{ES}{l} \Delta l^2 = \frac{E\varepsilon^2}{2} V,$$

где $V = Sl$ - первоначальный объем тела.

1.1.4. Механические колебания

Уравнение гармонических колебаний точки вдоль оси Ox :

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где A - амплитуда колебаний; ω_0 - циклическая (круговая) частота; φ_0 - начальная фаза колебаний в момент времени $t = 0$, $\varphi = (\omega_0 t + \varphi_0)$ - фаза колебаний в момент времени t .

Циклическая частота колебаний: $\omega_0 = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$,

где $\nu = \frac{1}{T}$ - линейная частота колебаний; T - период колебаний.

Скорость точки, совершающей гармонические колебания вдоль оси Ox :

$$v_o = \frac{dx}{dt} = \dot{x} = -A\omega_o \sin(\omega_o t + \varphi_o).$$

Ускорение точки, совершающей гармонические колебания вдоль оси Ox :

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x} = -A\omega_o^2 \cos(\omega_o t + \varphi_o).$$

Амплитуда A результирующего колебания, полученного при сложении двух гармонических колебаний с одинаковыми частотами, происходящих по одной прямой

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

определяется по формуле

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1),$$

где A_1 , φ_1 и A_2 , φ_2 - амплитуды и начальные фазы складываемых колебаний.

Начальная фаза φ результирующего гармонического колебания определяется по формуле:

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

Уравнение траектории точки, участвующей в двух взаимно перпендикулярных гармонических колебаниях с амплитудами A_1 и A_2 , и начальными фазами φ_1 и φ_2 :

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1A_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1).$$

Если начальные фазы φ_1 и φ_2 складываемых колебаний одинаковы, то уравнение траектории принимает вид

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} = 1.$$

Дифференциальное уравнение гармонических колебаний материальной точки, на которую действует упругая сила :

$$m\ddot{x} = -kx \text{ или } \ddot{x} + \omega_o^2 x = 0,$$

где m - масса материальной точки; k - коэффициент упругости; $\omega_o = \sqrt{\frac{k}{m}}$ -

циклическая частота свободных незатухающих колебаний.

Кинетическая энергия материальной точки, совершающей гармонические колебания:

$$T = \frac{mV^2}{2} = \frac{mA^2\omega_o^2}{2} \sin^2(\omega_o t + \varphi_o).$$

Потенциальная энергия материальной точки, совершающей гармонические колебания:

$$\Pi = \frac{m\omega_o^2 x^2}{2} = \frac{mA^2\omega_o^2}{2} \cos^2(\omega_o t + \varphi_o).$$

Полная энергия материальной точки, совершающей гармонические колебания:

$$E = T + \Pi = \frac{mA^2\omega_o^2}{2} = \frac{1}{2}kA^2.$$

Период колебаний пружинного маятника: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$,

где m - масса маятника, k - коэффициент упругости пружины.

Период колебаний математического маятника: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$,

где l - длина маятника; g - ускорение свободного падения.

Период колебаний физического маятника: $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mgl}}$,

где $L = \frac{J}{ml}$ - приведенная длина физического маятника; g - ускорение свободного падения; l - расстояние между точкой подвеса и центром масс маятника; J - момент инерции маятника относительно оси, проходящей через точку подвеса.

Дифференциальное уравнение затухающих колебаний пружинного маятника:

$$m\ddot{x} = -kx - r\dot{x} \quad \text{или} \quad \ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_o^2 x = 0,$$

где m - масса маятника; k - коэффициент упругости пружины; r - коэффициент сопротивления среды; $\delta = \frac{r}{2m}$ - коэффициент затухания; $\omega_o = \sqrt{\frac{k}{m}}$ - циклическая частота свободных незатухающих колебаний.

Решение дифференциального уравнения затухающих колебаний:

$$x = A_o e^{-\delta t} \cos(\omega t + \varphi),$$

где $A = A_o e^{-\delta t}$ - амплитуда затухающих колебаний; A_o - амплитуда колебаний в момент времени $t=0$; e - основание натурального логарифма; δ - коэффициент затухания; φ - начальная фаза затухающих колебаний.

Циклическая частота затухающих колебаний: $\omega = \sqrt{\omega_o^2 - \delta^2}$.

Логарифмический декремент затухания: $\theta = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \delta T = \frac{T}{\tau} = \frac{1}{N_e}$,

где T - период затухающих колебаний; τ - время релаксации; N_e - число колебаний, совершаемых за время уменьшения амплитуды в e раз.

Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний:

$$m\ddot{x} = -kx - r\dot{x} + F_o \cos\omega t \quad \text{или} \quad \ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_o^2 x = f_o \cos\omega t,$$

где $f_o \cos\omega t$ – внешняя приведенная периодическая сила, действующая на колеблющуюся материальную точку и вызывающая вынужденные колебания, F_o – её амплитудное значение, $f_o = \frac{F_o}{m}$.

Амплитуда вынужденных колебаний:

$$A = \frac{f_o}{\sqrt{\omega_o^2 - \omega^2}^2 + 4\delta^2\omega^2}.$$

Резонансная частота и резонансная амплитуда :

$$\omega_{\text{рез}} = \sqrt{\omega_o^2 - 2\delta^2} \quad \text{и} \quad A_{\text{рез}} = \frac{f_o}{2\delta\sqrt{\omega_o^2 - 2\delta^2}}.$$

1.1.5. Волновые процессы

Длина гармонической волны: $\lambda = \nu T$,

где ν – скорость распространения волны, T – период колебаний физических величин в данной точке пространства.

Для всех типов волн скорость их распространения: $\nu = \lambda\nu$,

где $\nu = \frac{1}{T}$ – линейная частота колебаний физических величин.

Уравнение плоской гармонической волны, распространяющейся вдоль положительного направления оси Ox : $\zeta(x, t) = A \cos(\omega t - kx + \varphi_o)$,

где $\zeta(x, t)$ – колеблющаяся физическая величина; A – амплитуда колеблющейся физической величины; $\varphi = (\omega t - kx + \varphi_o)$ – фаза волны; ω – циклическая частота; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число; φ_o – начальная фаза волны.

Скорость колеблющейся частицы в гармонической волне:

$$\dot{\zeta} = \frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\omega A \sin(\omega t - kx + \varphi_o).$$

Ускорение колеблющейся частицы в гармонической волне:

$$\ddot{\zeta} = \frac{\partial \dot{\zeta}}{\partial t} = -\omega^2 A \cos(\omega t - kx + \varphi_o).$$

Две волны называются когерентными, если разность их фаз остается постоянной во времени: $\delta = \varphi_2 - \varphi_1 = \text{const}$.

Когерентные волны имеют одинаковые частоты и длины:

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega \quad \text{и} \quad \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda.$$

При наложении в пространстве двух когерентных волн происходит увеличение или уменьшение амплитуды результирующей волны в разных его точках. Это явление называется интерференцией волн.

Контрольное задание №1

Вариант 1

1. Тело движется по прямой согласно уравнению $S = 0,5t^4 + 0,2t^2 + 2$. Найти скорость и ускорение тела в момент времени 4с. Каковы средние значения скорости и ускорения за первые 4 с движения ?
2. Определить время полета самолета между двумя пунктами, находящимися на расстоянии 477 км, если скорость самолета относительно воздуха равна 280 м/с, а скорость встречного ветра, направленного под углом 14° к направлению движения, равна 16 м/с.
3. Тело вращается вокруг неподвижной оси по закону: $\varphi = A + Bt + Ct^2$, где $A = 10$ рад, $B = 20$ рад/с, $C = -2$ рад/с². Найти угловую скорость и угловое ускорение для момента времени $t = 5$ с.
4. Диск радиусом 2 м вращается согласно уравнению: $\varphi = A + Bt + Ct^3$, где $A = 3$ рад, $B = -10$ рад/с, $C = 0,1$ рад/с³. Определить тангенциальное и нормальное ускорения точек на окружности диска для момента вращения $t = 10$ с.
5. Два небольших тела массой 2 кг и 1 кг связаны невесомой и нерастяжимой нитью и расположены на горизонтальной плоскости. К первому телу приложена сила 10 Н, направленная под углом 30° к горизонту (вверх). Определить ускорение системы, если коэффициент трения тел о плоскость одинаков и равен 0,1.
6. Через блок перекинута нить, на концах которой висят два груза с одинаковыми массами M . Одновременно на каждый из грузов кладут по перегрузку: справа – массой $3m$; слева массой – m . Определить ускорение системы, силу натяжения нити и силу давления перегрузков на основные грузы.
7. Камень брошен под углом к горизонту $\alpha = 60^\circ$. Кинетическая энергия $E_{к0}$ камня в начальный момент времени равна 20 Дж. Определить кинетическую E_k и потенциальную $E_{п}$ энергии камня в высшей точке его траектории. Сопротивлением воздуха пренебречь.
8. Наклонная плоскость имеет длину $L = 5$ м и высоту $H = 3$ м. Тело массой $m = 400$ кг прижимается к наклонной плоскости силой, параллельной ее основанию. Какой должна быть эта сила, чтобы тело двигалось равномерно вверх? Коэффициент трения о плоскость $\mu = 0,1$.
9. Падающий вертикально шарик массой 0,2 кг ударился об пол и подпрыгнул на высоту 0,4 м. Найти среднюю силу, действующую со стороны пола на шарик, если длительность удара 0,01 с. К моменту удара об пол скорость шарика равна 5 м/с.

10. Колесо, вращаясь при торможении равномерно, уменьшило в течение времени $t=1$ мин частоту своего вращения с 300 об/мин до 180 об/мин. Момент инерции колеса $2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Определить угловое ускорение колеса и тормозящий момент.
11. На полый тонкостенный цилиндр намотана нить, свободный конец которой прикреплен к потолку. Цилиндр сматывается с нити под действием собственного веса. Найти ускорение цилиндра и силу натяжения нити, если массой и толщиной нити можно пренебречь. Начальная длина нити намного больше радиуса цилиндра.
12. Круглая платформа радиусом 1 м, момент инерции которой $130 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, вращается по инерции вокруг вертикальной оси, делая 1 оборот в секунду. На краю платформы стоит человек, масса которого 60 кг. Сколько оборотов в секунду будет совершать платформа, если человек перейдет в ее центр? Момент инерции человека рассчитывать как для материальной точки.
13. Написать уравнение гармонических колебаний, совершающихся по закону косинуса. За время 1 мин совершается 60 колебаний, амплитуда которых 8 см, а начальная фаза равна $3/2\pi$ рад. Построить график зависимости смещения от времени.
14. Тонкий обруч радиусом 50 см подвешен на вбитый в стену гвоздь и колеблется в плоскости, параллельной стене. Найти период колебаний обруча.
15. Точка участвует в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, выраженных уравнениями $x=2\cos\omega t$ и $y=3\sin 0,5\omega t$. Найти уравнение траектории точки и построить ее на чертеже.

Вариант 2

1. Уравнение движения материальной точки вдоль оси имеет вид $x=A+Bt+Ct^2$, где $A=2 \text{ м}$; $B=1 \text{ м/с}$; $C=-0,5 \text{ м/с}^2$. Найти координату скорости и ускорения точки в момент времени $t=2 \text{ с}$.
2. Тело брошено под углом к горизонту. Оказалось, что максимальная высота подъема равна дальности полета. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить угол броска к горизонту.
3. Колесо при вращении имеет начальную частоту 5 с^{-1} , после торможения его частота уменьшилась до 3 с^{-1} . Найти угловое ускорение колеса и число оборотов, сделанных им за это время.
4. Диск радиусом $r = 20 \text{ см}$ вращается согласно уравнению $\varphi = A + Bt + Ct^3$, где $A = 3 \text{ рад}$; $B = -1 \text{ рад/с}$; $C = 0,1 \text{ рад/с}^3$. Определить a_τ тангенциальное, a_n нормальное и полное a ускорения точек на окружности диска для момента времени, равного $t = 10 \text{ с}$.
5. Две гири массой 1 кг и 2 кг соединены невесомой нерастяжимой нитью, перекинутой через невесомый блок, подвешенный к динамометру. Какое

- значение покажет динамометр во время движения грузов? Трения в оси блока нет.
6. Определить работу, совершаемую при подъеме груза массой $m = 50$ кг по наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30^\circ$ к горизонту на высоту $h = 4$ м, если время подъема $t = 2$ с, а коэффициент трения $\mu = 0,06$.
 7. Материальная точка массой 1 кг движется под действием силы согласно уравнению $x = 10 - 2t^2 - 0,2t^3$ (длина в метрах, время в секундах). Найти мощность, затрачиваемую на движение точки в момент времени равной 3 секундам.
 8. Тело массой 990 г лежит на горизонтальной поверхности. В него попадает пуля массой 10 г и застревает в нем. Скорость пули равна 700 м/с и направлена горизонтально. Какой путь пройдет тело до остановки? Коэффициент трения между телом и поверхностью равен $0,05$.
 9. Камень массой $0,5$ кг бросили под углом к горизонту с некоторой начальной скоростью. Его начальная кинетическая энергия равна 25 Дж. На высоте 2 м скорость камня равна v . Определить начальную скорость камня, скорость камня на высоте 2 м и угол, под которым бросили камень.
 10. Найти момент инерции тонкого стержня длиной 50 см и массой $0,36$ кг относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через: 1) конец стержня; 2) точку, отстоящую от стержня на $1/6$ его длины.
 11. Маховик в виде сплошного диска, момент инерции которого равен 150 кг·м², вращается с частотой 240 об/мин. Через минуту он остановился. Определить момент сил торможения, угловое ускорение, число оборотов маховика со времени начала торможения до полной остановки.
 12. Полый тонкостенный цилиндр массой 500 г, катящийся без скольжения, ударяется о стенку и отскакивает от нее. Скорость цилиндра до удара о стенку равна $1,4$ м/с, после удара 1 м/с. Определить выделившееся при ударе количество теплоты.
 13. Уравнение движения материальной точки задано в виде $x = 2\sin(\pi/2t + \pi/4)$ м. Определить период колебаний точки и максимальные значения ее скорости и ускорения.
 14. Математический маятник, отведенный на натянутой нити на угол α от вертикали, проходит положение равновесия со скоростью v . Считая колебания гармоническими, найти частоту ω_0 собственных колебаний маятника.
 15. Точка участвует одновременно в двух колебаниях одного направления, происходящих согласно уравнениям $x_1 = 2\sin\omega t$ и $x_2 = 2\sin(\omega t + \pi/2)$. Записать уравнение результирующего колебания и представить векторную диаграмму сложения амплитуд. Определить скорость и ускорение результирующего колебания.

1. Движение двух материальных точек выражаются следующими уравнениями: $x_1=A_1+B_1t+C_1t^2$, $x_2=A_2+B_2t+C_2t^2$, где $A_1=20$ м; $A_2=2$ м; $B_2=B_1=2$ м/с; $C_1=-4$ м/с²; $C_2=0,5$ м/с². В какой момент времени скорости этих точек будут одинаковыми? Определить скорости и ускорения точек в этот момент.
2. Камень падает с высоты $h = 1200$ м. Какой путь пройдет камень за последнюю секунду своего падения?
3. Тело брошено с начальной скоростью 20 м/с под углом 60° к горизонту. Найти радиус кривизны траектории в точке наивысшего подъема тела над поверхностью земли.
4. Диск радиусом 20 см вращается с угловым ускорением $3,14$ рад/с². Найти для точек, находящихся на краю диска, к концу второй секунды после начала движения: а) угловую скорость; б) линейную скорость; в) тангенциальное, нормальное и полное ускорения.
5. На наклонной плоскости укреплен блок, через который перекинута нить. К одному концу нити привязан груз массой 1 кг, лежащий на наклонной плоскости. На другом конце нити висит груз массой 3 кг. Наклонная плоскость образует с горизонтом угол в 30° . Коэффициент трения между грузом и наклонной плоскостью равен 0,1. Определить ускорение грузов.
6. Брусочек скользящий по гладкой горизонтальной поверхности, со скоростью 5 м/с наезжает на шероховатую поверхность с коэффициентом трения, равным 0,8. При какой длине бруска его задняя грань остановится на границе гладкой и шероховатой поверхностей?
7. Какую работу совершает двигатель автомобиля массой $m = 1,3$ т при движении с места на первых $S = 75$ м пути, если это расстояние автомобиль проходит за $t = 10$ с, а коэффициент сопротивления движению равен $\mu = 0,05$?
8. Молекула летит со скоростью 500 м/с и упруго ударяется о поршень, движущийся навстречу ей. Скорость молекулы составляет угол в 60° с нормалью поршня. Определить величину и направление скорости молекулы после удара. Скорость поршня равна 20 м/с.
9. К ободу колеса, имеющему форму диска, радиус которого равен 0,5 м, а масса 50 кг, приложена касательная сила, равная 100 Н. Найти: а) угловое ускорение колеса; б) через какое время после начала действия силы колесо будет иметь частоту вращения 100 об/с.
10. На краю горизонтальной платформы, имеющей форму диска радиусом 2 м и массой 4 кг, стоит человек, масса которого равна 80 кг. Платформа может свободно вращаться вокруг вертикальной оси, проходящей через ее центр. С какой угловой скоростью будет вращаться платформа, если человек идет вдоль ее края со скоростью 2 м/с относительно платформы?
11. Определить момент инерции однородного диска радиусом 20 см и массой 1 кг относительно оси, перпендикулярной плоскости диска и проходящей через: а) центр диска; б) середину одного из радиусов диска.

12. Кинетическая энергия вала, вращающегося с постоянной частотой 6 об/с, равна 60 Дж. Найти момент импульса этого вала.
13. Материальная точка совершает гармонические колебания с частотой 0,5 Гц. Амплитуда колебания равна 3 см. Определить скорость точки в момент времени, когда смещение равно 1,5 см.
14. Как относятся длины математических маятников, если за одно и то же время один совершил 10, а другой 30 колебаний?
15. Вынужденные колебания описываются дифференциальным уравнением $0,1 \frac{d^2 x}{dt^2} + 0,12 \frac{dx}{dt} + 0,4x = 0,4 \sin 1,5t$. При какой частоте внешней силы будет наблюдаться резонанс?

Вариант 4

1. Кинематические уравнения движения двух материальных точек имеют вид $x_1 = A_1 t + B_1 t^2 + C_1 t^3$ и $x_2 = A_2 t + B_2 t^2 + C_2 t^3$, где $B_1 = 4 \text{ м/с}^2$, $C_1 = -3 \text{ м/с}^3$, $B_2 = -2 \text{ м/с}^2$, $C_2 = 1 \text{ м/с}^3$. Определить момент времени, для которого ускорения этих точек будут равны.
2. Снаряд, выпущенный из орудия под углом 30° к горизонту, дважды был на одной и той же высоте h : спустя 10 с и 50 с после выстрела. Определить начальную скорость и высоту h .
3. Диск радиусом $r = 20 \text{ см}$ вращается согласно уравнению $\varphi = A + Bt + Ct^3$, где $A = 3 \text{ рад}$; $B = -1 \text{ рад/с}$; $C = 0,1 \text{ рад/с}^3$. Определить тангенциальное, нормальное и полное ускорения точек на окружности диска для момента времени, равного 10 с.
4. Вентилятор вращается со скоростью соответствующей частоте 600 об/мин. После выключения вентилятор остановился через 0,5 мин. Сколько оборотов сделал вентилятор до полной остановки.
5. Через вращающийся вокруг горизонтальной оси блок перекинута невесомая нерастяжимая нить, к концам которой привязаны грузы массой 0,5 кг и 0,6 кг. Найти силу давления блока на ось при движении грузов. Массой блока и трением в оси можно пренебречь.
6. Летчик давит на сиденье кресла самолета в нижней точке петли Нестерова с силой в 7200 Н. Масса летчика 80 кг, радиус петли 250 м. Определить скорость самолета.
7. Тело, брошенное с высоты 5 м вертикально вниз со скоростью 20 м/с, погружилось в грунт на глубину 20 см. Найти работу силы сопротивления грунта, если масса тела равна 2 кг. Сопротивлением воздуха пренебречь.
8. Снаряд, летевший горизонтально со скоростью 100 м/с, разрывается на две равные части на высоте 40 м. Одна часть падает через 1 с на землю точно под местом взрыва. Определить величину и направление скорости движения второй части снаряда сразу после взрыва.

9. Маховое колесо, имеющее момент инерции $245 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, вращается, делая 20 оборотов в секунду. Через 1 мин после того как на колесо перестал действовать вращающий момент, оно остановилось. Найти: а) момент сил трения; б) число оборотов, которое сделало колесо до полной остановки (после прекращения действия сил).
10. На сплошной цилиндрический вал радиусом 0,5 м намотан шнур, к концу которого привязан груз массой 10 кг. Найти момент инерции вала и его массу, если груз при разматывании шнура, опускается с ускорением 2 м/с^2 .
11. К ободу покоящегося диска массой 5 кг приложена постоянная касательная сила в 20 Н. Какую кинетическую энергию будет иметь диск через 5 с после начала действия силы? Диск может свободно вращаться относительно оси, проходящей через центр диска и перпендикулярной его плоскости.
12. Платформа в виде диска вращается по инерции вокруг вертикальной оси с частотой 15 об/мин. На краю платформы стоит человек. Когда человек перешел в центр платформы, частота возросла до 25 об/мин. Масса человека 70 кг. Определить массу платформы. Момент инерции человека рассчитывать как для материальной точки.
13. Материальная точка массой 0,05 кг совершает гармонические колебания, уравнение которых имеет вид $x=0,1\sin 5t$. Найти силу, действующую на точку: а) в момент, когда фаза колебаний $\varphi=30^\circ$; б) при наибольшем отклонении точки.
14. Определить период колебаний груза массой 2,5 кг, подвешенного к пружине, если пружина под действием силы в 30 Н растягивается на 9 см.
15. Точка одновременно участвует в двух гармонических колебаниях, происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях и описываемых уравнениями $x=3\cos\omega t$ и $y=4\cos\omega t$. Определить уравнение траектории точки.

Вариант 5

1. Точка движется по прямой согласно уравнению $S=6t+1/8t^3$ (длина в метрах, время в секундах). Определить среднюю скорость и ускорение точки за интервал времени от 2 с до 6 с.
2. С башни высотой 30 м в горизонтальном направлении брошено тело с начальной скоростью 10 м/с. Определить: 1) скорость тела в момент падения на Землю; 2) угол, который образует эта скорость с горизонтом в точке его падения.
3. Тело вращается вокруг неподвижной оси по закону $\varphi=A+Bt+Ct^2$, где $A = 10 \text{ рад}$; $B = 20 \text{ рад/с}$; $C = -2 \text{ рад/с}^2$. Найти полное ускорение точки, находящейся на расстоянии 0,1 м от оси вращения, для момента времени, равного 4 с.

4. Колесо автомашины вращается равноускоренно. Сделав $N = 50$ полных оборотов, оно изменило частоту вращения от $n_1 = 4 \text{ с}^{-1}$ до $n_2 = 6 \text{ с}^{-1}$. Определить угловое ускорение ε колеса.
5. В вагоне, движущемся горизонтально с ускорением 2 м/с^2 , на шнуре висит груз массой 200 г . Найти силу натяжения шнура и угол его отклонения от вертикального положения.
6. Найти работу подъема груза по наклонной плоскости, если масса груза 100 кг , длина наклонной плоскости 2 м , угол наклона 30° , коэффициент трения $0,1$, а груз движется с ускорением 1 м/с^2 .
7. Тело массой 10 кг брошено с высоты 100 м вертикально вниз со скоростью 14 м/с . Определить среднюю силу сопротивления грунта, если тело углубилось в него на $0,2 \text{ м}$. Сопротивление воздуха не учитывать.
8. Два конькобежца массами 80 и 50 кг , держась за концы натянутого длинного шнура, неподвижно стоят на льду один против другого. Один из них начинает укорачивать шнур, выбирая его со скоростью 1 м/с . С какими скоростями будут двигаться по льду конькобежцы? Трением пренебречь.
9. Маховик, момент инерции которого равен $J = 50 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, вращается по закону: $\varphi = A + Bt + Ct^2$, где $A = 2 \text{ рад}$; $B = 16 \text{ рад/с}$; $C = -2 \text{ рад/с}^2$. Найти закон изменения вращающего момента и закон изменения мощности. Какова мощность в момент времени $t = 3 \text{ с}$.
10. Через неподвижный блок перекинута нить, к концам которой привязаны грузы массой 100 г и 110 г . С каким ускорением они будут двигаться, если масса блока равна 400 г ? Трением в блоке пренебречь.
11. Платформа в виде диска радиусом 1 м и массой 200 кг вращается вокруг вертикальной оси, делая 1 оборот в минуту. На краю нее стоит человек массой 50 кг . Сколько оборотов в секунду будет делать платформа, если человек перейдет на полметра ближе к центру. Считать платформу однородным диском, а человека – точечной массой.
12. К катящемуся шару массой 1 кг приложили силу в 1 Н , под действием которой шар остановился, пройдя путь 1 м . Определить скорость, с которой двигался шар до начала торможения.
13. Скорость материальной точки, совершающей гармонические колебания, задается уравнением $V(t) = -6\sin 2\pi t$. Записать зависимость смещения этой точки от времени.
14. К пружине подвешен груз. Максимальная кинетическая энергия колебаний груза 1 Дж . Амплитуда колебаний равна 5 см . Найти жесткость пружины.
15. Точка совершает одновременно два гармонических колебания, происходящих вдоль оси x и описываемых уравнениями $x_1 = 3 \cos(\omega t + \pi/4) \text{ см}$ и $x_2 = \cos(\omega t - \frac{3}{4}\pi) \text{ см}$. Записать уравнение результирующего колебания и представить векторную диаграмму сложения амплитуд. Найти макси-

мальную скорость колебания, построить графики колебаний x_1 и x_2 и скорости результирующего колебания.

Вариант 6

1. Уравнения прямолинейного движения точек заданы в виде $S_1 = 4t^2 + t$ и $S_2 = 5t^3 + t^2$ (расстояние – в метрах, время – в секундах). В какой момент времени скорости точек будут равны? Определить ускорение в этот момент времени.
2. Тело брошено со скоростью 10 м/с под углом 45° к горизонту. Найти радиусы кривизны траектории тела спустя 0,5 с после начала движения и в точке наивысшего подъема тела над поверхностью земли.
3. Колесо радиусом $R=0,2$ м вращается так, что зависимость угла поворота радиуса колеса от времени дается уравнением $\varphi = A + Bt + Ct^3$, где $B=4$ рад/с и $C=2$ рад/с³. Для точек лежащих на ободе колеса, найти через время $t=3$ с после начала движения: а) угловую скорость, б) линейную скорость, в) угловое ускорение.
4. Автомобиль начал двигаться равноускоренно по закругленному участку дороги и, пройдя 100 м, развил скорость 36 км/ч. Радиус закругления 300 м. Определить тангенциальное и нормальное ускорения автомобиля в конце 10 секунды после начала движения.
5. Брусок массой 400 г, лежащий на столе, соединен с бруском (свисает с края стола) массой 100 г через нить, которая перекинута через блок, находящийся на краю стола. Брусок наибольшей массы проходит из состояния покоя путь 80 см за 2 с. Найти коэффициент трения бруска о поверхность стола.
6. Определить работу, совершаемую при подъеме груза массой 50 кг по наклонной плоскости с углом наклона 30° к горизонту на высоту 4 м, если время подъема – 2 с, а коэффициент трения равен 0,06.
7. Автомашина массой 1,8 т движется в гору, уклон которой составляет 3 м на каждые 100 м пути. Определить: 1) работу, совершаемую двигателем автомашины на пути 5 км, если коэффициент трения равен 0,1; 2) развиваемую двигателем мощность, если известно, что этот путь был преодолен за 5 мин.
8. Из пушки, стоящей на гладкой горизонтальной площадке, стреляют под углом 30° к горизонту. Масса снаряда 20 кг, его начальная скорость 200 м/с. Какую скорость приобретет пушка при выстреле, если ее масса 500 кг?
9. Брошенное вертикально вверх тело массой 200 г упало на землю спустя 1,44 с. Найти кинетическую энергию тела в момент падения на землю и потенциальную энергию в верхней точке траектории.

10. Диск массой 0,6 кг и диаметром 40 см вращается с угловой скоростью 157 рад/с. При торможении он останавливается в течение 10 с. Найти среднюю величину тормозящего момента.
11. Обруч и диск имеют одинаковую массу и катятся без проскальзывания с одинаковой скоростью. Кинетическая энергия обруча равна 40 Дж. Найти кинетическую энергию диска.
12. На краю горизонтально вращающейся платформы радиусом 1 м лежит груз. В какой момент времени после начала вращения платформы груз соскользнет с нее, если ее вращение – равноускоренное, а в момент времени, равный 2 мин, она имеет угловую скорость 1,4 рад/с? Коэффициент трения между грузом и платформой равен 0,05.
13. Период гармонических колебаний составляет 4 с. Определить время t_1 , за которое тело, совершающее эти колебания, пройдет путь, равный половине амплитуды, если в начальный момент времени тело проходило положение равновесия; s_2 – путь, равный амплитуде; s_3 – путь, равный $\frac{3}{2}$ амплитуды.
14. Сплошной медный диск массой 1 кг и толщиной 1 см колеблется вокруг горизонтальной оси, проходящей через середину одного из радиусов перпендикулярно плоскости диска. Определить период колебания такого физического маятника.
15. Методом векторных диаграмм сложить два гармонических колебания одного направления, описываемых уравнениями колебаний $x_1 = \cos(\omega t + \pi/4)$ см и $x_2 = 4\cos(\omega t - \frac{3}{4}\pi)$ см. Записать уравнение результирующего колебания и построить графики x_1 , x_2 и результирующего колебания.

Вариант 7

1. На некотором участке пути движение описывается уравнением $S = 0,5t + 0,15t^2$, где путь выражен в метрах, время – в секундах. Определить начальную скорость и ускорение на этом участке. Найти скорость и ускорение в конце 7-й секунды движения.
2. Камень, брошенный с высоты 2,1 м под углом 45° к горизонту, падает на землю на расстоянии 42 м (по горизонтали) от места бросания. Найти начальную скорость камня, время полета и максимальную высоту подъема над уровнем земли. Определить также радиусы кривизны траектории в верхней точке и в точке падения камня.
3. Уравнение вращения твердого тела $\varphi = 3t^2 + t$ (угол в радианах, время в секундах.). Определить число оборотов тела, угловую скорость, угловое ускорение через 10 секунд после начала вращения.

4. Колесо при вращении имеет начальную частоту $n_1 = 5 \text{ с}^{-1}$, после торможения его частота уменьшилась до $n_2 = 3 \text{ с}^{-1}$. Найти угловое ускорение ε колеса и число N оборотов, сделанных им за это время.
5. Две гири массой 2 кг и 1 кг соединены нитью, перекинутой через навесной блок. Найти ускорение, с которым движутся гири. Трением в блоке пренебречь. Через какое время гиря массой 2 кг опустится на 40 см?
6. Наклонная плоскость имеет длину 5 м и высоту 3 м. Тело массой 400 кг прижимается к наклонной плоскости силой, параллельной ее основанию. Какой должна быть эта сила, чтобы тело двигалось равномерно вверх? Коэффициент трения о плоскость 0,1.
7. На горизонтальных рельсах стоит платформа с песком (общая масса равна $5 \cdot 10^3$ кг). В песок попадает снаряд массой 5 кг, пролетевший вдоль рельсов. В момент попадания скорость снаряда равна 400 м/с и направлена сверху вниз под углом 37° к горизонту. Найти скорость платформы, если снаряд застревает в песке.
8. Определить момент инерции сплошного однородного диска радиусом 40 см и массой 1 кг относительно оси, проходящей через середину одного из радиусов перпендикулярно плоскости диска.
9. Диск радиусом 20 см и массой 5 кг вращается с частотой 8 об/с. При торможении он остановился через 4 с. Определить тормозящий момент.
10. На сплошной цилиндрический вал радиусом 0,5 м намотан шнур, к концу которого привязан груз массой 10 кг. Найти момент инерции вала и его массу, если груз, при разматывании шнура опускается с ускорением 2 м/с^2 .
11. Кинетическая энергия вращающегося маховика равна 1000 Дж. Под действием постоянного тормозящего момента маховик начал вращаться равномерно замедленно и, сделав 30 оборотов, остановился. Определить момент силы торможения.
12. Круглая платформа радиусом 1 м, момент инерции которой $130 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, вращается по инерции вокруг вертикальной оси, делая 1 оборот в секунду. На краю платформы стоит человек, масса которого 60 кг. Сколько оборотов в секунду будет совершать платформа, если человек перейдет в ее центр? Момент инерции человека рассчитывать как для материальной точки.
13. Точка совершает гармонические колебания по синусоидальному закону и в некоторый момент времени имеет следующие модули смещения, скорости и ускорения: $x = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; $v = 0,05 \text{ м/с}$; $a = 0,8 \text{ м/с}^2$. Каковы амплитуда и период колебаний точки? Какова фаза колебаний в рассматриваемый момент времени? Каковы максимальная скорость и ускорение точки?
14. Один конец нити прикреплен к потолку лифта, а на другом находится груз пренебрежимо малого размера. Лифт начинает опускаться с ускорением $0,81 \text{ м/с}^2$. Каков период малых колебаний груза, если длина нити равна 1 м?

15. Две точки находятся на прямой, вдоль которой распространяются волны со скоростью 50 м/с. Период колебаний равен 0,05 с, расстояние между точками составляет 0,5 м. Найти разность фаз колебаний в этих точках.

Вариант 8

1. Уравнение движения точки имеет вид $x = 5 + t + 2t^2 + t^3$ (длина – в метрах, время – в секундах). Найти положение точки в моменты времени $t_1 = 1$ с и $t_2 = 4$ с; скорости и ускорения в эти моменты времени.
2. Свободно падающее без начальной скорости тело в последнюю секунду преодолело $2/3$ своего пути. Найти путь, пройденный телом.
3. Тело вращается вокруг неподвижной оси по закону $\varphi = A + Bt + Ct^2$, где $A = 10$ рад; $B = 20$ рад/с; $C = -2$ рад/с². Найти угловую скорость и угловое ускорение для момента времени, равного 5 с.
4. Зависимость пройденного телом пути по окружности радиусом 3 м задается уравнением $S = At^2 + Bt$ ($A = 0,4$ м/с², $B = 0,1$ м/с). Определить для момента времени, равного одной секунде после начала движения: нормальное, тангенциальное и полное ускорение.
5. При помощи веревки груз массой 80 кг можно поднимать с ускорением 19,6 м/с². Какой наибольшей массы груз можно опустить при помощи этой веревки с ускорением 4,9 м/с²?
6. Через блок, подвешенный к динамометру, перекинут шнур, на концах которого укреплены грузы массами 2 кг и 8 кг. На какое значение указывает динамометр при движении грузов?
7. Наклонная плоскость, образующая угол в 25° с плоскостью горизонта, имеет длину 2 м. Тело, двигаясь равноускоренно, соскользнуло с этой плоскости за 2 с. Определить коэффициент трения тела о плоскость.
8. Шарик массой 100 г свободно падает с высоты 1,25 м на стальную плиту и подпрыгивает на высоту 0,8 м. Определить импульс (по величине и направлению), сообщенный плите шариком. Ускорение свободного падения g – считать равным 9,81 м/с².
9. Через блок, укрепленный на горизонтальной оси, проходящей через его центр, перекинута нить, к концам которой прикреплены грузы массой 300 г и 200 г. Масса блока равна 300 г. Блок считать однородным диском. Найти ускорение движения грузов.
10. Маховик радиусом 0,2 м и массой 10 кг соединен с мотором при помощи ремня. Сила натяжения ремня, идущего без скольжения, постоянна и равна 14,7 Н. Какое число оборотов в секунду будет делать маховик через 10 с после начала движения? Маховик считать однородным диском.
11. Диск массой 1 кг и диаметром 0,6 м вращается вокруг оси, проходящей через его центр и перпендикулярной его плоскости, делая 20 оборотов в секунду. Какую минимальную работу надо совершить, чтобы остановить диск?

12. Платформа, имеющая форму диска, может вращаться около вертикальной оси. На краю платформы стоит человек массой $m_1 = 60$ кг. На какой угол φ повернется платформа, если человек пойдет вдоль края платформы и, обойдя его, вернется в исходную точку на платформе? Масса платформы $m_2 = 240$ кг. Момент инерции J человека рассчитывать как для материальной точки.
13. Материальная точка совершает гармонические колебания по закону косинуса с начальной фазой $-\pi$, амплитудой 6 см и циклической частотой 3π . Каково смещение точки из положения равновесия в начальный момент времени? Какова максимальная скорость в момент времени 2 с?
14. Найти отношение кинетической энергии точки, совершающей гармонические колебания по синусоидальному закону, к ее потенциальной энергии для моментов времени, если смещение точки от положения равновесия составляет : а) $x = \frac{A}{4}$; б) $x = \frac{A}{2}$; в) $x = A$.
15. Рыболов заметил, что за время, равное 10 с, поплавок совершил на волне 20 колебаний, а расстояние между соседними гребнями волн равно 1,2 м. Какова скорость распространения волн?

Вариант 9

1. Зависимость пройденного телом пути от времени задается уравнением $S = At - Bt^2 + Ct^3$, где $A = 2$ м/с; $B = 3$ м/с² и $C = 4$ м/с³. Определить расстояние, пройденное телом, скорость и ускорение тела через 2 с после начала движения.
2. Камень падает с высоты 1200 м. Какой путь пройдет камень за последнюю секунду своего падения?
3. Колесо радиусом 0,2 м вращается так, что зависимость угла поворота радиуса колеса от времени выражается уравнением $\varphi = A + Bt + Ct^3$, где $B = 4$ рад/с; $C = 2$ рад/с³. Для точек, лежащих на ободу колеса, найти угловую скорость, угловое ускорение, тангенциальное и нормальное ускорения через 3 с после начала движения.
4. Велосипедное колесо вращается с частотой $n = 5$ с⁻¹. Под действием сил трения оно остановилось через $t = 1$ мин. Определить угловое ускорение ε и число оборотов N , которое сделает колесо за это время.
5. Тело массой 0,4 кг скользит с наклонной плоскости высотой 10 см и длиной 1 м. Коэффициент трения тела на всем пути 0,04. Определить: 1) кинетическую энергию тела у основания плоскости; 2) путь, пройденный телом на горизонтальном участке до остановки.
6. Через блок, прикрепленный к потолку кабины лифта, перекинута нить, к концам которой привязаны грузы массой 0,5 кг и 0,6 кг. Найти силу давления блока на ось при движении грузов в двух случаях: лифт поднима-

- ется равномерно; лифт идет с ускорением 1 м/с^2 . Масса блока пренебрежимо мала.
7. На наклонной плоскости находится груз массой 5 кг , связанный нитью, перекинутой через блок, с другим грузом массой 2 кг . Коэффициент трения между первым грузом и плоскостью равен $0,1$. Угол наклона плоскости к горизонту составляет 37° . Определить ускорение грузов. Нить считать нерастяжимой.
 8. Автомобиль движется в гору с ускорением 15 м/с^2 в течение 5 мин , угол наклона горы к горизонту равен 10° , вес автомобиля 7391 Н . Коэффициент трения равен $0,069$. Найти мощность, развиваемую мотором.
 9. Падающий вертикально шарик массой 200 г ударился об пол со скоростью 5 м/с и подпрыгнул на высоту 46 см . Найти изменение импульса шарика при ударе.
 10. Шар массой 10 кг и радиусом $0,2 \text{ м}$ вращается вокруг оси, проходящей через его центр. Закон движения шара имеет вид $\varphi = A + Bt^2 + Ct^3$, где $B=4 \text{ рад/с}^2$; $C = -1 \text{ рад/с}^3$. Найти зависимость момента сил, действующих на шар, от времени. Каков будет момент сил в момент времени, равный 2 с ?
 11. Однородный стержень длиной 1 м и массой $0,5 \text{ кг}$ вращается в вертикальной плоскости вокруг горизонтальной оси, проходящей через середину стержня. С каким угловым ускорением вращается стержень, если вращающий момент сил равен $9,8 \cdot 10^{-2} \text{ Н}\cdot\text{м}$?
 12. Карусель диаметром $4,5 \text{ м}$ свободно вращается с угловой скоростью $0,7 \text{ рад/с}$; ее полный момент инерции равен $1750 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Стоящие на земле 4 человека массой по 65 кг одновременно прыгают на край карусели. Какова после этого будет угловая скорость карусели? Какой была бы угловая скорость карусели, если бы люди, стоящие вначале на ней, в некоторый момент спрыгнули бы на землю?
 13. Частица массой $0,01 \text{ кг}$ совершает гармонические колебания с периодом 2 с . Полная энергия колеблющейся частицы 10^{-2} Дж . Определить амплитуду колебаний и наибольшее значение силы, действующей на частицу.
 14. Определить отношение периодов колебаний математического маятника на некоторой планете и на Земле, если масса первой планеты в $6,25$ раз больше массы Земли, а ее радиус в 2 раза меньше земного.
 15. Движение частицы представляет собой суперпозицию двух гармонических колебаний вдоль оси x следующего вида: $x_1 = 2\cos 2\pi t$ см и $x_2 = 2\cos(2\pi t - \pi/2)$ см. С помощью метода векторных диаграмм найти амплитуду и начальную фазу результирующего колебания, записать уравнение результирующего колебания и построить его график.

Вариант 10

1. Две материальные точки движутся согласно уравнениям $x_1 = A_1 t + B_1 t^2 + C_1 t^3$, $x_2 = A_2 t + B_2 t^2 + C_2 t^3$, где $A_1 = 4 \text{ м/с}$; $B_1 = 8 \text{ м/с}^2$; $C_1 = -16 \text{ м/с}^3$; $A_2 = 2 \text{ м/с}$; $B_2 = -4 \text{ м/с}^2$; $C_2 = 1 \text{ м/с}^3$. В какой момент времени ускорения

- движения этих точек будут одинаковы? Найти скорость точек в этот момент.
2. Под каким углом к горизонту брошено тело, если известно, что максимальная высота подъема в 17 раз больше дальности полета? Сопротивлением воздуха пренебречь.
 3. Велосипедное колесо вращается с частотой 5 с^{-1} . Под действием сил трения оно остановилось через 1 мин. Определить угловое ускорение и число оборотов, которое сделает колесо за это время.
 4. Диск радиусом $R = 20$ см вращается с угловым ускорением $\varepsilon = 3,14$ рад/с². Найти для точек, находящихся на краю диска, к концу второй секунды после начала движения: а) угловую скорость ω ; б) линейную скорость v ; в) тангенциальное a_t , нормальное a_n и полное ускорения a точек.
 5. На невесомой нерастяжимой нити, перекинутой через неподвижный легкий блок, подвешены грузы массой 400 кг и 450 кг. За некоторое время после начала движения грузы прошли путь 1,2 м, двигаясь с некоторым ускорением. Найти время, ускорение движения грузов и силу натяжения нити.
 6. Лыжник начал спуск по склону, имеющему угол 30° . Считая, что коэффициент трения равен 0,1, вычислить ускорение лыжника, скорость, которую он приобретет через 10 с.
 7. Материальная точка массой 2 кг двигалась под действием некоторой силы согласно уравнению $x = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где $A = 10$ м; $B = -2$ м/с; $C = 3$ м/с³; $D = -0,2$ м/с³. Найти мощность, затрачиваемую на движение точки, в моменты времени 2 с и 5 с.
 8. Тело массой 4 кг движется со скоростью 3 м/с и ударяется о неподвижное тело такой же массы. Считая удар центральным и неупругим, определить количество теплоты, выделившейся при ударе.
 9. Два конькобежца массами 80 и 50 кг, держась за концы натянутого длинного шнура, неподвижно стоят на льду один против другого. Один из них начинает укорачивать шнур, выбирая его со скоростью 1 м/с. С какими скоростями будут двигаться по льду конькобежцы? Трением пренебречь.
 10. К ободу однородного сплошного диска радиусом 50 см приложена постоянная касательная сила в 100 Н. При вращении диска на него действует момент сил трения $M_{\text{тр}} = 2$ Н·м. Определить массу диска, если известно, что его угловое ускорение постоянно и равно 12 рад/с².
 11. Маховик, момент инерции которого равен 50 кг·м², вращается по закону: $\varphi = A + Bt + Ct^2$, где $A = 2$ рад; $B = 16$ рад/с; $C = -2$ рад/с². Найти закон изменения вращающего момента сил и закон изменения мощности. Какова мощность в момент времени $t = 3$ с.
 12. Человек стоит на скамейке Жуковского и ловит рукой мяч массой 0,4 кг, летящий в горизонтальном направлении со скоростью 20 м/с. Траектория мяча проходит на расстоянии 0,8 м от вертикальной оси вращения скамейки. С какой угловой скоростью начнет вращаться скамейка Жуков-

ского, когда человек поймает мяч? Считать, что суммарный момент инерции человека и скамейки равен $6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

13. Материальная точка совершает колебания по закону $x = 2,4 \cos\left(\frac{5\pi}{4}t + \frac{\pi}{6}\right)$ см. Найти: а) период и частоту колебаний, смещение и скорость в момент времени $t = 0$; б) скорость и ускорение в момент времени $t = 1$ с.
14. Маятник состоит из шарика массой 100 г, подвешенного на нити длиной 2 м. Определить период колебаний маятника и энергию, которой он обладает, если наибольший угол его отклонения от положения равновесия составляет 10° .
15. Частица массой $0,01$ кг совершает гармонические колебания с периодом 2 с. Полная энергия колеблющейся частицы 10^{-2} Дж. Определить амплитуду колебаний и наибольшее значение силы, действующей на частицу.

1.2. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ И ЗАКОНЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ

1.2.1 Молекулярная физика

Количество молей (вещества) газа: $\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}$,

где m – масса газа, M – молярная масса газа, N – количество молекул газа, N_A – постоянная Авогадро.

Если система представляет собой смесь нескольких газов, то количество молей (вещества) этой системы:

$$\nu = \nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_n = \frac{N_1}{N_A} + \frac{N_2}{N_A} + \dots + \frac{N_n}{N_A} = \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} + \dots + \frac{m_n}{M_n},$$

где $\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_n$ – количества молей, N_1, N_2, \dots, N_n – количества молекул, m_1, m_2, \dots, m_n – массы и M_1, M_2, \dots, M_n – молярные массы газов, n – число компонентов смеси.

Уравнение Менделеева - Клапейрона (уравнение состояния идеального газа):

$$pV = \frac{m}{M}RT = \nu RT,$$

где p – давление, V – объем, T – термодинамическая температура, m – масса и M – молярная масса газа, R – универсальная газовая постоянная.

Закон Бойля-Мариотта (изотермический процесс: $T = \text{const}$, $m = \text{const}$, $pV = \text{const}$) для двух состояний газа: $p_1V_1 = p_2V_2$.

Закон Гей-Люссака (изобарный процесс: $p = \text{const}$, $m = \text{const}$, $V/T = \text{const}$) для двух состояний газа: $V_1/T_1 = V_2/T_2$.

Закон Шарля (изохорный процесс: $V = \text{const}$, $m = \text{const}$, $p/T = \text{const}$) для двух

состояний газа: $p_1/T_1 = p_2/T_2$.

Объединенный газовый закон ($m = const, pV/T = const$) для двух

состояний газа: $p_1V_1/T_1 = p_2V_2/T_2$.

Закон Дальтона определяет давление смеси газов:

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

где p_1, p_2, \dots, p_n - парциальные давления компонентов смеси; n - число компонентов смеси.

Молярная масса смеси газов: $M = \frac{(m_1 + m_2 + \dots + m_n)}{(v_1 + v_2 + \dots + v_n)}$,

где v_1, v_2, \dots, v_n - количества молей, m_1, m_2, \dots, m_n - массы газов, n - число компонентов смеси.

Концентрация молекул газа: $n = \frac{N}{V} = \frac{N_A \rho}{M}$,

где N - количество молекул, V - объем, N_A - постоянная Авогадро, M - молярная масса и ρ - плотность газа.

Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы:

$$\langle \varepsilon_o \rangle = \frac{3}{2} kT,$$

где $k = \frac{R}{N_A}$ - постоянная Больцмана, T - термодинамическая температура.

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов:

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

где p - давление, n - концентрация молекул газа.

Зависимость давления газа от концентрации молекул и термодинамической температуры:

$$p = nkT.$$

Из основного уравнения молекулярно-кинетической теории идеальных газов следует, что

$$pV = \frac{2}{3} E,$$

где $E = N \langle \varepsilon_o \rangle$ - суммарная кинетическая энергия поступательного движения N молекул газа.

Средняя полная механическая энергия одной молекулы: $\langle \varepsilon \rangle = \frac{i}{2} kT$,

где i - сумма числа поступательных, числа вращательных и удвоенного числа колебательных степеней свободы молекулы:

$$i = i_{\text{пост}} + i_{\text{вращ}} + 2i_{\text{кол}}.$$

Скорости молекул газа:

среднеквадратичная - $\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m_o}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$;

среднеарифметическая - $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_o}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$;

наиболее вероятная - $\langle v_{\text{в}} \rangle = \sqrt{\frac{2kT}{m_o}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$,

где m_o - масса одной молекулы, M - молярная масса газа.

Среднее число соударений, испытываемых одной молекулой газа в единицу времени:

$$\langle z \rangle = \sqrt{2}\pi d^2 n \langle v \rangle ,$$

где d – эффективный диаметр молекулы; n – концентрация молекул; $\langle v \rangle$ – среднеарифметическая скорость молекул.

Средняя длина свободного пробега молекул газа:

$$\langle l \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n} .$$

1.2.2. Физические основы термодинамики

Первое начало термодинамики: $\delta Q = dU + \delta A$,

где δQ - количество теплоты, переданное газу; dU - изменение внутренней энергии газа и δA - элементарная работа, совершаемая газом против внешних сил.

Элементарная работа, совершаемая газом против внешних сил:

$$\delta A = p dV ,$$

где p - давление, dV - изменение объема газа.

Работа, совершаемая газом при изменении его объема от V_1 до V_2 :

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV .$$

Работа, совершаемая газом в изобарном процессе:

$$A = p(V_2 - V_1) = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1) ,$$

где T_1 и T_2 - начальная и конечная термодинамические температуры газа.

Работа, совершаемая газом в изотермическом процессе:

$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{p_1}{p_2} .$$

где p_1 и p_2 - начальное и конечное давления газа.

Связь между молярной C^m и удельной C теплоемкостями вещества:

$$C^m = MC , \text{ где } M - \text{ молярная масса вещества.}$$

Молярные теплоемкости газа при постоянном объеме C_V^m и постоянном давлении C_p^m :

$$C_V^m = \frac{i}{2}R \quad \text{и} \quad C_p^m = \left(\frac{i+2}{2}\right)R,$$

где i - сумма числа поступательных, числа вращательных и удвоенного числа колебательных степеней свободы молекулы.

Уравнение Майера: $C_p^m = C_V^m + R$,

где C_p^m и C_V^m - молярные теплоемкости газа при постоянном давлении и постоянном объеме, R - универсальная газовая постоянная.

Внутренняя энергия идеального газа: $U = \frac{m}{M} \frac{i}{2} RT = \frac{m}{M} C_V^m T$,

где C_V^m - молярная теплоемкость газа при постоянном объеме.

Уравнения Пуассона, связывающие термодинамические параметры идеального газа в адиабатном процессе:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma; \quad \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}; \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}},$$

где $\gamma = \frac{C_p^m}{C_V^m}$ - показатель адиабаты.

Работа, совершаемая газом в адиабатическом процессе:

$$A = \frac{m}{M} C_V^m (T_1 - T_2) = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} \right] = \frac{RT_1}{\gamma - 1} \frac{m}{M} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} \right],$$

где $p_1 V_1 = \frac{m}{M} RT_1$.

Коэффициент полезного действия (К.П.Д.) тепловой машины:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

где A - полезная работа, совершаемая тепловой машиной за один цикл;

Q_1 - количество теплоты, полученное рабочим телом от нагревателя, и

Q_2 - количество теплоты, отданное рабочим телом холодильнику за один цикл.

Термический К.П.Д. цикла Карно: $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$,

где T_1 и T_2 - термодинамические температуры нагревателя и холодильника.

Изменение энтропии системы:

$$\Delta S = \int_A^B \frac{dQ}{T},$$

где A и B – пределы интегрирования, соответствующие начальному и конечному состояниям системы. Так как процесс равновесный, то интегрирование не зависит от формы пути системы, совершающей переход из одного состояния в другое.

Формула Больцмана:

$$S = k \ln W,$$

где S – энтропия системы; W – термодинамическая вероятность ее состояния; k – постоянная Больцмана.

Контрольное задание №2

Вариант 1

1. В сосуде при давлении 10^5 Па и температуре 27°C находится смесь азота, кислорода и гелия, массы которых равны. Найти плотность смеси газов.
2. Найти формулу некоторого соединения углерода с водородом, если известно, что это вещество массой 0,66 г в газообразном состоянии при температуре 27°C в объеме 1 дм^3 создает давление 10^5 Па.
3. Подсчитать число молекул, содержащихся в углекислом газе массой 100 г. Найти массу молекулы и концентрацию молекул при нормальных условиях. Плотность газа при нормальных условиях равна $1,94 \text{ кг/м}^3$.
4. Плотность газа в баллоне газонаполненной электрической лампы равна $0,9 \text{ кг/м}^3$. При горении лампы давление в ней возросло с 80 кПа до 110 кПа. Насколько увеличилась при этом среднеквадратичная скорость молекул газа?
5. Определить, во сколько раз среднеквадратичная скорость пылинки массой $1,75 \cdot 10^{-12} \text{ кг}$, взвешенной в воздухе, меньше среднеквадратичной скорости движения молекул воздуха.
6. В закрытом сосуде находится 3 моля гелия при температуре 27°C . На сколько процентов увеличится давление в сосуде, если газу сообщить 3 кДж теплоты?
7. Одноатомный идеальный газ находится в баллоне объемом 10 л при давлении 10^5 Па. Какова внутренняя энергия газа?
8. Для нагревания газа массой 1 кг на 1К при постоянном давлении требуется 912 Дж теплоты, а при постоянном объеме – 649 Дж теплоты. Какой это газ?
9. В вертикальном цилиндре под тяжелым поршнем находится кислород массой 2 кг. Для повышения температуры кислорода на 5 К ему было сообщено 9160 Дж теплоты. Найти удельную теплоемкость кислорода c_p , работу, совершаемую им при расширении и увеличении его внутренней энергии. Молярная масса кислорода $0,032 \text{ кг/моль}$.

Вариант 2

1. Два сосуда, наполненных воздухом при давлениях соответственно $P_1=0,8$ МПа и $P_2=0,6$ МПа, имеют объемы $V_1=3$ л и $V_2=5$ л. Сосуды соединяют трубкой, объемом которой можно пренебречь по сравнению с объемами сосудов. Найти установившееся давление в сосудах. Температуру считать постоянной.
2. При давлении $2 \cdot 10^6$ Па идеальный газ занимает объем 5 литров. В результате изотермического расширения его объем увеличился на 1 л, а концентрация молекул стала равной $n=3,62 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$. При какой температуре протекал этот процесс?
3. Средняя энергия молекулы одноатомного идеального газа равна 0,038 эВ ($1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж). Давление газа равно 0,2 МПа. Найти число молекул в одном кубическом метре газа.
4. Определить наиболее вероятную скорость молекул газа, плотность которого при давлении $p = 40$ кПа составляет $\rho = 0,37 \text{ кг/м}^3$.
5. Во сколько раз изменится средняя квадратичная скорость молекул идеального газа при увеличении его объема в 2 раза? Давление газа при этом увеличится в 3 раза, масса неизменна.
6. В цилиндре объемом $V_1=190 \text{ см}^3$ под поршнем находится газ при температуре $T_1=323 \text{ К}$. Найти работу расширения газа при нагревании его на $\Delta T=100 \text{ К}$. Масса поршня $m = 120 \text{ кг}$, его площадь $S = 50 \text{ см}^2$. Атмосферное давление $p_0=0,1$ МПа.
7. Некоторая масса газа, занимающего объем $V_1 = 0,01 \text{ м}^3$, находится при давлении $p_1=0,1$ МПа и температуре $T_1 = 300 \text{ К}$. Газ нагревается вначале при постоянном объеме до температуры $T_2 = 320 \text{ К}$, а затем при постоянном давлении до температуры $T_3= 350 \text{ К}$. Найти работу, совершаемую газом, при переходе из состояния 1 в состояние 3.
8. Удельная теплоемкость газа при постоянном давлении равна 912 Дж/кг·К, а при постоянном объеме 649 Дж/кг·К. Определить молекулярный вес газа и число степеней свободы его молекул.
9. Коэффициент полезного действия цикла Карно равен 0,3. При изотермическом расширении газ получил от нагревателя 200 Дж энергии. Определить работу, совершаемую при изотермическом сжатии.

Вариант 3

1. Определить плотность смеси газов, находящихся при давлении 1 МПа и температуре 27°C . Смесь состоит из 5 киломолей азота, 1,5 киломолей кислорода и 0,5 киломоля углекислого газа.
2. Какова температура T газа, находящегося под давлением $p = 0,5$ МПа, если в сосуде объемом $V=1,5$ л содержится $N = 1,8 \cdot 10^{24}$ молекул?
3. Какое давление на стенки сосуда производят молекулы газа, если масса газа

- 3 г, объем 50 л, а средняя скорость молекул 500 м/с ?
4. Плотность неизвестного газа равна $\rho = 0,09 \text{ кг/м}^3$. При этом в объеме $V = 0,1 \text{ м}^3$ содержится $N = 2,7 \cdot 10^{24}$ молекул. Какой это газ?
 5. В воздухе взвешена пылинка массой $m = 1,242 \cdot 10^{-20} \text{ кг}$. Температура воздуха $T = 300 \text{ К}$. Подсчитать среднеквадратичную скорость пылинки и ее кинетическую энергию.
 6. Какую работу совершает кислород массой $m = 0,32 \text{ кг}$ при изобарном нагревании на $\Delta T = 20 \text{ К}$?
 7. Один киломоль газа при изобарическом расширении совершает работу $A = 831 \text{ кДж}$. В исходном состоянии объем газа $V_1 = 3 \text{ м}^3$, а температура $T_1 = 300 \text{ К}$. Каковы параметры p_2, V_2, T_2 после расширения?
 8. Кислород массой $m = 2 \text{ кг}$ занимает объем $V_1 = 1 \text{ м}^3$ и находится под давлением $p_1 = 0,2 \text{ МПа}$. При нагревании газ расширяют в условиях постоянного давления до объема $V_2 = 3 \text{ м}^3$, а затем его давление увеличивают до $p_3 = 0,5 \text{ МПа}$ при неизменном объеме. Найти изменение внутренней энергии ΔU газа, совершенную им работу A и теплоту Q , переданную газу. Построить график процесса.
 9. Температура нагревателя 227° С . Определите КПД идеального двигателя и температуру холодильника, если за счет каждого килоджоуля теплоты, полученного от нагревателя, двигатель совершает 350 Дж механической работы.

Вариант 4

1. В сосуде при температуре 100° С и давлении $4 \cdot 10^5 \text{ Па}$ находится 2 м^3 смеси кислорода и сернистого газа. Определить парциальное давление компонентов, если масса сернистого газа 8 кг.
2. Плотность неизвестного газа равна $0,09 \text{ кг/м}^3$. При этом в объеме $0,1 \text{ м}^3$ содержится $2,7 \cdot 10^{24}$ молекул. Какой это газ? Определите его молярную массу.
3. Найти среднюю длину пробега молекулы азота при 0° С и давлении $10^{-3} \text{ мм рт.ст.}$
4. Во сколько раз изменится среднеквадратичная скорость молекул идеального газа при увеличении его объема в 2 раза? Давление газа при этом увеличится в 3 раза, масса неизменна.
5. Молекула кислорода, ударившись о стенку сосуда, передала ей импульс $\Delta p = 5,06 \cdot 10^{-23} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$. Найти температуру газа в сосуде, если скорость данной молекулы была направлена под углом $\alpha = 30^\circ$ к стенке и равнялась удвоенной среднеквадратичной скорости.
6. Какова удельная теплоемкость при постоянном объеме некоторого двухатомного газа, если плотность этого газа при нормальных условиях равна $6,3 \text{ кг/м}^3$?

7. В закрытом сосуде находится смесь азота массой 56 г и кислорода массой 64 г. Определить изменение внутренней энергии этой смеси, если ее охладили на 20°C .
8. Водород массой 40 г, имевший температуру 300 К, адиабатически расширяется; при этом объем газа возрастает втрое. Затем при изотермическом сжатии объем газа уменьшается в 2 раза. Определить полную работу, совершенную газом, и конечную температуру газа. Построить график процесса.
9. Газ совершает цикл Карно: $2/3$ теплоты, полученной от нагревателя, отдается охладителю. Температура охладителя 280 К. Определить температуру нагревателя.

Вариант 5

1. Некоторая масса водорода находится при температуре $T_1=200\text{ К}$ и давлении $p_1=0,4\text{кПа}$. Газ нагревают до температуры $T_2=10000\text{ К}$, при которой молекулы водорода практически полностью распадаются на атомы. Найти давление p_2 газа, если его объем и масса остались без изменения.
2. Сосуд разделен пополам полупроницаемой перегородкой. Объем каждой части – 1 л. В левую половину введены водород массой 2 г и азот массой 28 г. Справа от перегородки – вакуум. Какое давление установится в обеих частях сосуда, если перегородка пропускает только водород, а температура остается постоянной и равной 373 К?
3. Какое давление на стенки сосуда оказывает кислород, если средняя квадратичная скорость его молекул равна 400 м/с, а в объеме $V = 1\text{ см}^3$ содержится $N = 2,7 \cdot 10^{19}$ молекул?
4. Найти концентрацию молекул кислорода, если его давление равно $p = 0,2\text{ МПа}$, а средняя квадратичная скорость его молекул $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 700\text{ м/с}$.
5. Плотность газа в баллоне газонаполненной электрической лампы равна $\rho = 0,9\text{ кг/м}^3$. При горении лампы давление в ней возросло с $p_1 = 80\text{ кПа}$ до $p_2 = 110\text{ кПа}$. Насколько увеличилась при этом средняя квадратичная скорость молекул газа?
6. В закрытом воздухе объемом 61 л находятся равные массы аргона и азота при нормальных условиях. Какое количество теплоты нужно сообщить этой газовой смеси, чтобы нагреть ее на 60°C ?
7. В теплоизолированном цилиндре с поршнем находится азот массой $m=0,2\text{ кг}$ при температуре $t_1=20^{\circ}\text{C}$. Азот, расширяясь, совершает работу $A=4,47\text{ кДж}$. Найти изменение внутренней энергии азота ΔU и его температуру t_2 после расширения. Удельная теплоемкость азота при постоянном объеме – $C_v=745\text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.
8. Объем газа при адиабатическом сжатии уменьшился в 10 раз, а давление увеличилось в 21,4 раза. Определить соотношение удельной теплоемкости при постоянном давлении и удельной теплоемкости при постоянном объеме.

9. Газ совершает цикл Карно. Температура охладителя 17°C . Как изменится КПД цикла, если температура нагревателя повысилась от 127 до 447°C ?

Вариант 6

1. В баллоне емкостью 10 л содержится окисел азота (NO) под давлением 8 атм. Определить массу газа и массу его молекулы. Температура 15°C .
2. Из баллона со сжатым газом вследствие неисправности вентиля вытекал газ. Какая часть газа осталась в баллоне, если первоначально при температуре 27°C манометр показывал давление 60 атм, а через некоторое время при температуре 12°C – 19 атм?
3. Определить среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул газа, находящегося под давлением $0,3$ Па. Концентрация молекул равна 10^{13} см $^{-3}$.
4. Найти среднюю длину свободного пробега молекул азота при 0°C и давлении 10^{-3} мм рт. ст. Диаметр молекулы принять равным $0,3$ нм.
5. $2,18$ кг двухатомного газа находится под давлением $7,8 \cdot 10^5$ Па и имеет плотность $6,28$ кг/м 3 . Найти энергию теплового движения молекул газа при этих условиях.
6. При изотермическом расширении водорода массой 1 г объем увеличился в 2 раза. Определить работу расширения и количество тепла, переданного телу. Температура водорода 300 К.
7. Удельная теплоемкость газа при постоянном давлении равна 912 Дж/кг·К, а при постоянном объеме 649 Дж/кг·К. Определить молекулярный вес газа и число степеней свободы его молекул.
8. Кислород массой 2 кг занимает объем 1 м 3 и находится под давлением $0,2$ МПа. Газ был нагрет сначала при постоянном давлении до объема 3 м 3 , а затем при постоянном объеме до давления $0,5$ МПа. Найти изменение внутренней энергии газа, совершаемую им работу и теплоту, переданную газу. Построить график процесса.
9. Двигатель работает как машина Карно и за цикл получает от нагревателя 3 кДж тепла. Температура нагревателя 600 К, температура холодильника 300 К. Найти совершившуюся за цикл работу и количество теплоты, отдаваемое при этом холодильнику.

Вариант 7

1. Баллон объемом $0,015$ м 3 содержит $7 \cdot 10^{-3}$ кг азота и $4,5 \cdot 10^{-3}$ кг водорода при температуре 27°C . Определить давление смеси.
2. В баллоне, объем которого равен 10 л, находится гелий под давлением 10^5 Па и при температуре 27°C . После того как из баллона была взята проба массой 10 г, давление в баллоне понизилось до $0,9 \cdot 10^5$ Па. Определить температуру гелия, оставшегося в баллоне.

3. В сосуде, объем которого 1 л, содержится 5 г идеального газа под давлением 500 гПа. Определить среднеквадратичную скорость молекул газа.
4. Найти концентрацию молекул кислорода, если его давление равно 0,2 МПа, а средняя квадратичная скорость молекул 700 м/с.
5. Средняя квадратичная скорость молекул некоторого газа равна 480 м/с при температуре 296 К. Сколько молекул содержится в 10-ти г этого газа?
6. Одноатомный идеальный газ изотермически расширился из состояния с давлением 10^6 Па и объемом 1 л вдвое. Найти внутреннюю энергию газа в конечном состоянии.
7. Одному моллю двухатомного газа сообщили 20 Дж тепла, в результате чего газ нагрелся на несколько градусов при постоянном объеме. Какое количество тепла нужно сообщить метану массой 30 г, чтобы нагреть его на такое же число градусов при постоянном давлении?
8. При изобарическом нагревании от температуры 20°C до температуры 50°C газ совершает работу в 2,5 кДж. Определить число молекул, участвующих в этом процессе.
9. Некоторая масса газа, занимающего объем $V_1 = 0,01 \text{ м}^3$, находится при давлении $p_1 = 0,1$ МПа и температуре $T_1 = 300$ К. Газ нагревается вначале при постоянном объеме до температуры $T_2 = 320$ К, а затем при постоянном давлении до температуры $T_3 = 350$ К. Найти работу, совершаемую газом, при переходе из состояния 1 в состояние 3.

Вариант 8

1. В сосуде объемом 10 л находится $2 \cdot 10^{23}$ молекул газа. Какова температура газа, если давление в сосуде равно 0,12 МПа?
2. В баллоне находится газ массой 10 кг при давлении 10 МПа. Какую массу взяли из баллона, если давление стало равным 2,5 МПа? Температуру газа считать постоянной.
3. На сколько процентов увеличится среднеквадратичная скорость молекул водяного пара при повышении его температуры от 37°C до 40°C ?
4. Кинетическая энергия поступательного движения молекул азота, находящегося в баллоне объемом $6,68 \text{ м}^3$, равна $7,9 \cdot 10^4$ Дж, а среднеквадратичная скорость его молекул составляет $7 \cdot 10^3$ м/с. Найти массу азота в баллоне.
5. При некоторой температуре молекулы кислорода имеют среднеквадратичную скорость 460 м/с. Какова при этой температуре среднеквадратичная скорость молекул азота?
6. Вычислить величину отношений удельных теплоемкостей для газовой смеси, состоящей из 5-ти киломолей кислорода и 6-ти киломолей углекислого газа. Газы считать идеальными.
7. Кислород, взятый при температуре 27°C, изобарически сжали до объема, в 5 раз меньшего первоначального. Определить работу внешней силы при сжатии, если масса газа равна 160 г.

8. Водород массой 2 кг при температуре 300 К охлаждают изохорически так, что его давление падает в 3 раза. Затем водород изобарически расширяют. Найти работу газа, если его конечная температура равна начальной.
9. Кислород массой 2 кг занимает объем 1 м^3 и находится под давлением 0,2 МПа. При нагревании газ расширяют в условиях постоянного давления до объема 3 м^3 , а затем его давление увеличивают до 0,5 МПа при неизменном объеме. Найти изменение внутренней энергии газа, совершенную им работу и теплоту, переданную газу. Построить график процесса.

Вариант 9

1. В баллоне, объем которого 719 м^3 , находится газ, состоящий из смеси углекислого газа и паров воды. Температура газа 513°C . Число молекул углекислого газа $8,35 \cdot 10^{22}$, число молекул паров воды $5,87 \cdot 10^{22}$. Вычислить давление газовой смеси.
2. Тонкий резиновый шар радиуса 2 см заполнен воздухом при температуре 20°C и давлении 0,1 МПа. Каков будет радиус шара, если его опустить в воду с температурой 4°C на глубину 20 м?
3. Подсчитать число молекул, содержащихся в углекислом газе массой $m = 100$ г. Найти массу молекулы и концентрацию молекул при нормальных условиях. Плотность газа при нормальных условиях равна $\rho = 1,94 \text{ кг/м}^3$.
4. Гелий находится при температуре 27°C . Кинетическая энергия теплового движения всех молекул газа $E_k = 10$ Дж. Определить число молекул.
5. При температуре 300 К плотность газа равна $1,2 \text{ кг/м}^3$, а среднеквадратичная скорость молекул составляет 500 м/с. Найти концентрацию молекул газа.
6. Азот массой 10 г расширяется изотермически при температуре -20°C , при этом давление меняется от 202 до 101 кПа. Определить работу расширения, изменение внутренней энергии азота и количество сообщенной ему теплоты.
7. Удельная теплоемкость газа при постоянном давлении равна $912 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$, а при постоянном объеме $649 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$. Определить молекулярный вес газа и число степеней свободы его молекул.
8. Азот, находившийся при температуре 400 К, подвергли адиабатическому расширению, в результате которого его объем увеличился в 5 раз, а внутренняя энергия уменьшилась на 4 кДж. Определить массу азота.
9. Температура нагревателя идеальной тепловой машины $t_1 = 117^\circ\text{C}$, а холодильника $-t_2 = 27^\circ\text{C}$. Количество теплоты, получаемое машиной от нагревателя за 1 с, равно $Q = 60$ кДж. Вычислить КПД машины, количество теплоты, отдаваемое холодильнику за 1 с, и мощность машины.

Вариант 10

1. При какой температуре кислород, находясь под давлением 0,2 МПа, имеет плотность $1,2 \text{ кг/м}^3$? Какова при этом концентрация молекул кислорода?

2. Каково давление смеси газов в колбе, если в каждом кубическом сантиметре находится 10^{20} молекул кислорода и $3 \cdot 10^{20}$ молекул азота. Температура смеси 150°C .
3. Определить наиболее вероятную скорость молекул газа, плотность которого при давлении 40 кПа составляет $0,37 \text{ кг/м}^3$.
4. Среднеквадратичная скорость молекул некоторого газа равна 851 м/с. Давление газа составляет $7,4 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Найти плотность газа при этих условиях.
5. В сосуде, объем которого 3 л, находится кислород массой 3 г при температуре 13°C . Определить внутреннюю энергию газа и давление газа на стенки сосуда.
6. Найти удельную теплоемкость при постоянном объеме для газовой смеси, масса киломоля которой равна 22 кг, а отношение удельных теплоемкостей равно 1,395.
7. Работа расширения некоторого двухатомного идеального газа составляет 2 кДж. Определить количество подведенной к газу теплоты, если процесс протекает изобарно.
8. Один моль идеального двухатомного газа, находящийся под давлением в 1 атм при температуре 27°C , нагревается при постоянном объеме до давления в 2 атм. После этого газ изотермически расширяется до начального давления и затем изобарически сжимается до начального объема. Начертить график цикла. Определить температуры газа для характерных точек цикла.
9. Газ, совершающий цикл Карно, получает от нагревателя 42 кДж теплоты. Какую работу совершает газ, если абсолютная температура нагревателя в 3 раза выше, чем температура холодильника ?

ЧАСТЬ 2. ЭЛЕКТРОСТАТИКА И ПОСТОЯННЫЙ ТОК.

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

2.1. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ И ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРОСТАТИКИ И ПОСТОЯННОГО ТОКА

2.1.1. Электростатика

Закон Кулона:

$$F = \left| \vec{F}_{12} \right| = \left| \vec{F}_{21} \right| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{|q_1q_2|}{r^2},$$

где F – модуль силы взаимодействия двух точечных зарядов q_1 и q_2 ; r – расстояние между зарядами; ϵ - диэлектрическая проницаемость среды; ϵ_0 - электрическая постоянная: $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$.

Закон сохранения электрического заряда:

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

где $\sum_{i=1}^n q_i$ – алгебраическая сумма зарядов, входящих в изолированную систему;

n – количество зарядов.

Напряженность электрического поля в данной точке численно равна силе, действующей на единичный положительный заряд q_0 , помещенный в эту точку:

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

Модуль вектора напряженности электрического поля, создаваемого точечным зарядом q на расстоянии r от этого заряда: $E = |\vec{E}| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$.

Поток вектора напряженности \vec{E} электрического поля через элементарную площадку dS :

$$\Phi_E = \vec{E}d\vec{s} = Eds\cos\alpha,$$

где вектор $d\vec{s} = \vec{n}ds$; \vec{n} – единичный вектор нормали к площадке dS ; α – угол между векторами \vec{E} и \vec{n} .

Согласно принципу суперпозиции (наложения) электрических полей, напряженность \vec{E} результирующего поля, созданного n точечными зарядами, равна векторной (геометрической) сумме напряженностей полей, созданных каждым зарядом в отдельности:

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

Для двух электрических полей с напряженностями \vec{E}_1 и \vec{E}_2 модуль вектора напряженности результирующего поля: $E = |\vec{E}| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\alpha}$,

где $E_1 = |\vec{E}_1|$ и $E_2 = |\vec{E}_2|$; α – угол между векторами \vec{E}_1 и \vec{E}_2 .

Теорема Остроградского-Гаусса для электростатического поля в вакууме:

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E}d\vec{s} = \oint_S E_n ds = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i,$$

где Φ_E – поток вектора напряженности \vec{E} электрического поля через замкнутую поверхность S ; $E_n = |\vec{E}|\cos\alpha$ – проекция вектора \vec{E} на единичный вектор нормали \vec{n} к площадке ds ; $\sum_{i=1}^n q_i$ – алгебраическая сумма электрических зарядов, находящихся в объеме пространства, ограниченного замкнутой поверхностью S .

Линейная плотность заряда есть величина, равная отношению модуля заряда $|\Delta q|$, распределенного по нити (цилиндру), к длине нити (цилиндра) Δl :

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

Модуль вектора напряженности электрического поля, создаваемого прямой, бесконечно длинной и равномерно заряженной нитью (цилиндром) на расстоянии r от ее (его) оси:

$$E = |\vec{E}| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2\tau}{\epsilon r}.$$

Поверхностная плотность заряда есть величина, равная отношению модуля заряда $|\Delta q|$, распределенного по поверхности, к площади Δs этой поверхности:

$$\sigma = \frac{|\Delta q|}{\Delta s}.$$

Модуль вектора напряженности электрического поля, создаваемого бесконечной равномерно заряженной плоскостью: $E = |\vec{E}| = \frac{1}{2} \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon}$.

Модуль напряженности электрического поля, создаваемого двумя параллельными, бесконечными, разноименно заряженными плоскостями, имеющими одинаковые поверхностные плотности зарядов:

$$E = |\vec{E}| = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon}.$$

Приведенная формула справедлива для вычисления напряженности электрического поля между пластинами плоского конденсатора в случае, если расстояние между пластинами намного меньше линейных размеров пластин конденсатора.

Электрический диполь - система двух равных по модулю разноименных точечных зарядов ($-q$ и $+q$), находящихся на расстоянии l друг от друга.

Электрический момент диполя:

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

где \vec{l} - вектор, направленный от отрицательного к положительному заряду, и называемый плечом диполя.

Модуль напряженности электрического поля диполя в точке, лежащей на прямой, совпадающей с осью диполя:

$$E = |\vec{E}| = \frac{p}{2\pi\epsilon_0 \epsilon r^3},$$

где $p = |q|l$ - модуль электрического диполя, r - расстояние от середины оси диполя до данной точки (при $r \gg l$).

Модуль напряженности электрического поля диполя в точке, лежащей на перпендикуляре к плечу диполя, восстановленном из его середины:

$$E = |\vec{E}| = \frac{p}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^3},$$

где r - расстояние от середины плеча диполя до данной точки (при $r \gg l$).

Потенциал электрического поля диполя в точке, лежащей на прямой, совпадающей с осью диполя:

$$\varphi = \pm \frac{p}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2},$$

где r - расстояние от середины оси диполя до данной точки (при $r \gg l$); положительный знак соответствует потенциалу φ точки, лежащей на стороне заряда $+q$; отрицательный знак - потенциалу φ точки, лежащей на стороне заряда $-q$.

Потенциал электрического поля диполя в точке, лежащей на перпендикуляре к плечу диполя, восстановленном из его середины: $\varphi = 0$.

Механический момент сил, действующих на диполь с электрическим моментом \vec{p} , помещенный в однородное электрическое поле с напряженностью \vec{E} :

$$\vec{M} = [\vec{p}, \vec{E}],$$

где α - угол между векторами \vec{p} и \vec{E} ; $M = |\vec{M}| = pE \sin \alpha$.

Потенциал данной точки электрического поля численно равен работе A , совершаемой силами поля, по перемещению единичного положительного заряда q_0 из данной точки поля в точку, в которой потенциал считается равным нулю:

$$\varphi = \frac{A}{q_0}.$$

В многих случаях потенциал электрического поля в бесконечности принимается равным нулю. Потенциал электрического поля, создаваемого точечным зарядом q , на расстоянии r от этого заряда:

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

Потенциал электрического поля, создаваемого металлической сферой радиусом R с общим зарядом q на расстоянии r от центра этой сферы:

а) внутри сферы ($r < R$) и на поверхности сферы ($r = R$) - $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon R}$;

б) вне сферы ($r > R$) - $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}$.

Потенциал электрического поля, созданного системой n точечных зарядов, в данной точке, в соответствии с принципом суперпозиции электрических полей, равен алгебраической сумме потенциалов $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$, создаваемых отдельными точечными зарядами q_1, q_2, \dots, q_n :

$$\varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i.$$

Совокупность точек, имеющих одинаковые потенциалы, называется эквипотенциальной поверхностью.

Потенциальная энергия электрического заряда q , находящегося в некоторой точке электрического поля:

$$U = q\varphi,$$

где φ - потенциал этой точки электрического поля.

Работа, совершаемая силами электрического поля при перемещении точечного заряда q из одной точки поля, имеющей потенциал φ_1 , в другую, имеющую потенциал φ_2 :

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

Энергия U взаимодействия системы точечных электрических зарядов q_1, q_2, \dots, q_n равна работе, которую могут совершить силы электрического поля при удалении этих зарядов относительно друг друга в бесконечность:

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

где φ_i - потенциал точки поля, в которой находится заряд q_i , создаваемый всеми зарядами, кроме i -ым.

Если известен потенциал φ каждой точки электрического поля, то напряженность \vec{E} этого поля равна отрицательному градиенту потенциала:

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

где $\varphi = \varphi(x, y, z)$; $\frac{\partial\varphi}{\partial x}, \frac{\partial\varphi}{\partial y}, \frac{\partial\varphi}{\partial z}$ - частные производные функции φ по координатам x, y, z ; $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ - единичные векторы координатных осей x, y, z .

В случае однородного электрического поля ($\vec{E} = \text{const}$) модуль напряженности этого поля:

$$E = |\vec{E}| = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2)}{d},$$

где φ_1 и φ_2 - потенциалы двух точек, находящихся на эквипотенциальных поверхностях, расстояние между которыми равно d .

Поляризованностью \vec{P} называется дипольный электрический момент единицы объема диэлектрика:

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

где $\sum_{i=1}^n \vec{p}_i$ - векторная сумма электрических дипольных моментов молекул;

V - объем диэлектрика.

Если диэлектрик изотропный и внутри его напряженность \vec{E} электрического поля не слишком велика, то:

$$\vec{P} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E},$$

где ε - диэлектрическая восприимчивость вещества.

Поверхностная плотность связанных зарядов, индуцируемых внешним электрическим полем в диэлектрике: $\sigma' = |\vec{P}|$.

Диэлектрическая проницаемость среды: $\varepsilon = 1 + \varkappa$.

Вектор электрического смещения \vec{D} характеризует электростатическое поле, создаваемое свободными зарядами при наличии диэлектрика, в котором индуцируются связанные заряды:

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

где \vec{E} - напряженность электрического поля внутри диэлектрика.

Вектор электрического смещения \vec{D} связан с поляризованностью \vec{P} :

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

Теорема Гаусса для электростатического поля в диэлектрике:

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

где Φ_D - поток вектора электрического смещения \vec{D} через замкнутую поверхность S ; $D_n = |\vec{D}| \cos \alpha$ - проекция вектора \vec{D} на единичный вектор нормали \vec{n} к площадке ds ; $\sum_{i=1}^n q_i$ - алгебраическая сумма свободных электрических зарядов, находящихся в объеме пространства, ограниченного замкнутой поверхностью S .

Емкость уединенного проводника, имеющего электрический заряд q и

потенциал φ : $C = \frac{q}{\varphi}$.

Емкость уединенной проводящей сферы радиусом R , находящейся в бесконечной среде с диэлектрической проницаемостью ε : $C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon R$.

Емкость конденсатора: $C = \frac{q}{\Delta\varphi}$,

где q - модуль электрического заряда, находящегося на каждой обкладке конденсатора; $\Delta\varphi = (\varphi_1 - \varphi_2)$ - разность потенциалов между обкладками конденсатора.

Емкость плоского конденсатора: $C = \frac{\varepsilon_0\varepsilon S}{d}$,

где S - площадь одной обкладки конденсатора; d - расстояние между обкладками конденсатора.

Емкость плоского конденсатора, заполненного n слоями диэлектриков с диэлектрическими проницаемостями ε_i и толщинами d_i :

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{\frac{d_1}{\varepsilon_1} + \frac{d_2}{\varepsilon_2} + \dots + \frac{d_n}{\varepsilon_n}}.$$

Емкость сферического конденсатора (две концентрические сферы с радиусами R_1 и R_2), пространство между которыми заполнено диэлектриком с

диэлектрической проницаемостью ε :

$$C = \frac{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$

Емкость C последовательно соединенных n конденсаторов:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}.$$

Емкость C параллельно соединенных n конденсаторов:

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n.$$

Энергия заряженного конденсатора: $W = \frac{1}{2} C (\Delta\varphi)^2 = \frac{1}{2} q \Delta\varphi = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$,

где C - емкость; q - электрический заряд конденсатора; $\Delta\varphi$ - разность потенциалов между обкладками конденсатора.

Объемная плотность энергии электростатического поля (энергия единицы объема):

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon E^2 = \frac{1}{2} ED,$$

где $E = |\vec{E}|$ - модуль вектора напряженности электрического поля;

$D = |\vec{D}| = \varepsilon_0 \varepsilon E$ - модуль вектора электрического смещения.

2.1.2. Постоянный ток

Сила тока: $I = \frac{dq}{dt}$,

где dq - электрический заряд, проходящий через поперечное сечение проводника за время dt .

Для постоянного тока, не меняющегося по величине и направлению: $I = \frac{q}{t}$.

Модуль плотности электрического тока численно равен электрическому заряду, проходящему через единицу площади поперечного сечения проводника за единицу времени:

$$j = |\vec{j}| = \frac{dq}{Sdt} = \frac{I}{S},$$

где $I = \frac{dq}{dt}$ - сила тока; S - площадь поперечного сечения проводника.

Плотность тока – вектор, перпендикулярный поперечному сечению проводника и направленный в сторону электрического тока.

В проводнике вектор \vec{j} плотности электрического тока находится по формуле:

$$\vec{j} = ne \langle \vec{v} \rangle,$$

где n - концентрация носителей тока; e - модуль заряда электрона; $\langle \vec{v} \rangle$ - вектор средней скорости упорядоченного движения зарядов.

Электрическое сопротивление однородного проводника: $R = \frac{\rho l}{S}$,

где ρ - удельное электрическое сопротивление; l - длина и S - площадь поперечного сечения проводника.

Электрическая проводимость проводника: $G = \frac{1}{R}$.

Удельная проводимость проводника: $\gamma = \frac{1}{\rho}$.

Закон Ома в дифференциальной форме: $\vec{j} = \gamma \vec{E}$,

где \vec{j} - вектор плотности тока; \vec{E} - вектор напряженности электрического поля в проводнике.

Зависимость удельного сопротивления и сопротивления проводника от температуры:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t) \text{ или } R = R_0(1 + \alpha t),$$

где ρ и ρ_0 , R и R_0 - соответственно, удельные сопротивления и сопротивления проводника при температурах t и 0°C ; α - температурный коэффициент электрического сопротивления. Для чистых металлов $\alpha = 1/273 \text{ K}$ и $R = \alpha R_0 T$, где T - термодинамическая температура.

Сопротивление R цепи при последовательном соединении n проводников:

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

Сопротивление R цепи при параллельном соединении n проводников находится по формуле:

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

Закон Ома для неоднородного участка цепи:

$$I = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) \pm \varepsilon_{12}}{R} = \frac{U_{12}}{R},$$

где I - сила тока; $(\varphi_1 - \varphi_2)$ - разность потенциалов, приложенная на концах участка; ε_{12} - электродвижущая сила (Э.Д.С.); R - электрическое сопротивление; $U_{12} = (\varphi_1 - \varphi_2) \pm \varepsilon_{12}$ - напряжение, действующее на неоднородном участке цепи. Если направление сторонних сил совпадает с направлением движения положительных зарядов в участке цепи, то Э.Д.С. берется со знаком плюс. В противном случае - Э.Д.С. берется со знаком минус.

Закон Ома для однородного участка цепи (при $\varepsilon_{12} = 0$): $I = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2)}{R} = \frac{U_{12}}{R}$.

Закон Ома для замкнутой цепи: $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$,

где ε - Э.Д.С., действующая в цепи; r - внутреннее сопротивление источника тока; R - сопротивление внешнего участка цепи.

Первое правило Кирхгофа: алгебраическая сумма сил n токов, сходящихся в узле, равна нулю:
$$\sum_{i=1}^n I_i = 0.$$

Второе правило Кирхгофа: в любом замкнутом контуре алгебраическая сумма падений напряжений на всех участках контура равна алгебраической сумме электродвижущих сил, встречающихся в этом контуре:

$$\sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_{j=1}^k \mathcal{E}_j.$$

Работа, совершаемая электростатическим полем и сторонними силами на неоднородном участке цепи постоянного тока за время t : $A_{12} = IU_{12}t$,

где I - сила тока; $U_{12} = (\varphi_1 - \varphi_2) \pm \mathcal{E}_{12}$ - напряжение, действующее на неоднородном участке цепи; для однородного участка цепи (при $\mathcal{E}_{12} = 0$) -

$$U_{12} = (\varphi_1 - \varphi_2) \pm \mathcal{E}_{12}.$$

Мощность постоянного тока: $P = IU_{12}$.

Количество теплоты Q , выделяющейся на участке цепи за время t , определяется по закону Джоуля-Ленца: $Q = I^2 R t = \frac{U_{12}^2}{R} t$.

Контрольное задание №3

Вариант 1

1. Расстояние между двумя точечными зарядами $q_1 = 1$ мкКл и $q_2 = -1$ мкКл равно $r = 10$ см. Определить силу, действующую на точечный заряд, равный $q = 0,1$ мкКл и удаленный на $r_1 = 6$ см от первого и на $r_2 = 8$ см от второго заряда.
2. Найти напряженность поля, созданного двумя параллельными плоскостями, поверхностные плотности зарядов на которых равны 10^{-7} Кл/м и $5 \cdot 10^{-8}$ Кл/м.
3. Тонкая квадратная рамка равномерно заряжена с линейной плотностью заряда 10 Кл/м. Определить потенциал поля в точке пересечения диагоналей.
4. Какая работа совершается при перенесении точечного заряда в 20 нКл из бесконечности в точку, находящуюся на расстоянии 1 см от поверхности шара радиусом 1 см с поверхностной плотностью заряда 10 мкКл/м² ?
5. Электрон влетает в плоский горизонтально расположенный конденсатор параллельно его пластинам со скоростью 10^3 м/с. Напряженность поля в конденсаторе 10 кВ/м, длина конденсатора 5 см. Найти модуль и направление скорости электрона при вылете его из конденсатора.
6. Пластины плоского конденсатора площадью 100 см² каждая находятся на расстоянии 2 мм друг от друга. Пространство между ними заполнено слюдой. Заряд на пластинах равен $3 \cdot 10^{-10}$ Кл. Найти: а) силу взаимного притяжения пластин; б) плотность энергии электрического поля.

7. Катушка и амперметр соединены последовательно и присоединены к источнику тока. К зажимам катушки присоединен вольтметр сопротивлением 1кОм. Показания амперметра 0,5 А, вольтметра 100 В. Определить сопротивление катушки. Сколько процентов от точного значения сопротивления катушки составит погрешность, если не учитывать сопротивление вольтметра?
8. Зависимость силы тока от времени выражается формулой $I=I_0 \cdot e^{-\alpha t}$, где $I_0=10\text{А}$; $\alpha=100\text{ с}^{-1}$; t - время, с; e - основание натуральных логарифмов. Определить заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время от 0 до 0,01 с и от 0,01 до 1 с.
9. Определить максимальную полезную мощность аккумулятора с ЭДС=10 В и внутренним сопротивлением 1 Ом. Каково при этом сопротивление внешней цепи?
10. В каждом кубическом миллиметре медного проводника, по которому идет ток, выделяется каждую секунду 3 мДж тепла. Определить среднюю скорость направленного движения свободных электронов, если их концентрация $8 \cdot 10^{22}\text{ м}^{-3}$.
11. Нагреватель электрического чайника имеет две секции. При включении одной из них вода в чайнике закипит через 15 мин, при включении другой – через 30 мин. Через какое время закипит вода в чайнике, если включить обе секции: а) последовательно; б) параллельно?
12. Батарея состоит из 5-ти последовательно соединенных одинаковых элементов. ЭДС каждого элемента равна $\varepsilon = 1,5\text{ В}$, внутреннее сопротивление каждого элемента $r = 0,2\text{ Ом}$. Определить полную, полезную мощность и коэффициент полезного действия батареи, если она замкнута на внешнее сопротивление $R = 50\text{ Ом}$.

Вариант 2

1. Два шарика радиусом 0,4 см и массой 0,2 г подвешены на нитях длиной 10 см так, что в незаряженном состоянии они соприкасаются. До какого потенциала были заряжены шарики, если они разошлись на угол 60° ?
2. По тонкому кольцу радиусом 6 см равномерно распределен заряд в 24 нКл. Какова напряженность поля в точке, находящейся на оси кольца на расстоянии 18 см от центра кольца? Найти также силу, действующую в этой точке на точечный заряд в $5 \cdot 10^{-10}\text{ Кл}$.
3. Десять шаровых капель ртути радиусом 0,8 мм заряжены до одинакового потенциала 12 В. Все капли сливаются в одну большую. Определить ее потенциал и изменение энергии поля.
4. Электростатическое поле создается положительно заряженной и бесконечной нитью с постоянной линейной плотностью 1 нКл/см. Какую скорость приобретет электрон, приблизившись под действием поля к нити вдоль линии напряженности с расстояния 1,5 см до 1 см ?

5. Площадь пластины плоского воздушного конденсатора $S = 0,01 \text{ м}^2$, расстояние между ними $d_1 = 2 \text{ см}$. К пластинам конденсатора приложена разность потенциалов $U = 3 \text{ кВ}$. Какова будет напряженность поля конденсатора, если, не отключая его от источника напряжения, пластины раздвинуть до расстояния $d_2 = 4 \text{ см}$ между ними. Найти энергию конденсатора до и после раздвижения пластин.
6. Определить поверхностную плотность связанных зарядов на слюдяной пластинке толщиной 1 мм , служащей изолятором плоского конденсатора, если разность потенциалов между пластинами конденсатора 300 В .
7. На концах медного провода длиной 5 м и площадью поперечного сечения $0,4 \text{ мм}^2$ поддерживается напряжение 1 В . Определить число электронов, проходящих за 1 с через поперечное сечение этого проводника, и напряженность электрического поля.
8. Электродвижущая сила элемента и его внутреннее сопротивление равны соответственно $1,6 \text{ В}$ и $0,5 \text{ Ом}$. Каков коэффициент полезного действия элемента, если напряжение на внешнем участке цепи равно $0,4 \text{ В}$?
9. Две группы из трех последовательно соединенных элементов включены параллельно. ЭДС каждого элемента равна $1,2 \text{ В}$, внутреннее сопротивление составляет $0,2 \text{ Ом}$. Полученная батарея замкнута на внешнее сопротивление $1,5 \text{ Ом}$. Найти силу тока во внешней цепи.
10. Ток в проводнике сопротивлением 100 Ом меняется по закону $I = at^2$, где $a = 10 \text{ А/с}^2$. Определить количество теплоты, выделившейся в проводнике.
11. Электродвижущая сила батареи равна $\varepsilon = 80 \text{ В}$, внутреннее сопротивление $r = 5 \text{ Ом}$. Внешняя цепь потребляет мощность $P_R = 100 \text{ Вт}$. Определить силу тока в цепи, напряжение, под которым она находится, и ее сопротивление.
12. По медному проводнику длиной $l = 2 \text{ м}$ и площадью поперечного сечения $S = 0,4 \text{ мм}^2$ идет ток. Мощность, выделяющаяся в проводнике, равна $P = 0,35 \text{ Вт}$. Определить число электронов N_e , проходящих за $t = 1 \text{ с}$ через его поперечное сечение, и напряженность E электрического поля.

Вариант 3

1. К бесконечной вертикальной плоскости на нити подвешен заряженный шарик массой $m = 5 \text{ г}$ и зарядом $q = 12 \text{ нКл}$. Нить образует с плоскостью угол $\alpha = 45^\circ$. Определить поверхностную плотность заряда σ на плоскости.
2. Определить напряженность электрического поля в центре равномерно заряженной полуокружности радиусом 20 см , если заряд ее 10 нКл .
3. Поле образовано бесконечной равномерно заряженной плоскостью с поверхностной плотностью заряда 10^{-8} Кл/м^2 . Определить разность потенциалов двух точек поля, находящихся на расстоянии 5 и 10 см от плоскости.

4. Какой скоростью сближения должны обладать два протона, находящихся друг от друга на расстоянии 5 см, чтобы они могли сблизиться до расстояния 10^{-4} см ?
5. Емкость батареи конденсаторов, образованной двумя последовательно соединенными конденсаторами, равна 100 пФ, а заряд 20 нКл. Определить емкость второго конденсатора, а также разности потенциалов на обкладках каждого прибора, если емкость первого из них 200 пФ.
6. Диполь с электрическим моментом 2 нКл·м находится в однородном электрическом поле напряженностью 20 кВ/м. Вектор \vec{p} составляет с направлением силовых линий поля угол $\alpha=60^\circ$. Определить произведенную внешними силами работу при повороте диполя на угол в 30° .
7. К воздушному конденсатору, заряженному до разности потенциалов 500 В и отключенному от источника напряжения, присоединен параллельно второй конденсатор таких же размеров и формы, но с диэлектриком (стекло). Определить диэлектрическую проницаемость стекла, если после присоединения второго конденсатора разность потенциалов уменьшилась до 70 В.
8. Сила тока в проводнике меняется со временем по уравнению $I=A+Bt$ (A - в амперах; B - в А/с). Какое количество электричества проходит через поперечное сечение проводника за время от 1 до 5 с ?
9. По медному проводнику сечением $0,4 \text{ мм}^2$ идет ток силой 0,2 А. Какова напряженность электрического поля в проводнике?
10. К аккумулятору, внутреннее сопротивление которого 1 Ом, подключили электролампочку. Затем параллельно включили еще такую же лампочку. При этом фактическая электрическая мощность каждой лампочки уменьшилась в 1,44 раза. Во сколько раз снизится фактическая мощность каждой лампочки, если параллельно первым двум включить третью такую же лампочку? Зависимостью сопротивления ламп от накала пренебречь.
11. Электродвижущая сила батареи 60 В, внутреннее сопротивление 4 Ом. Внешняя цепь потребляет мощность в 125 Вт. Определить силу тока в цепи, напряжение, под которым она находится, и сопротивление.
12. Электрический чайник, содержащий 600 см^3 воды при температуре 9°C , забыли выключить. Сопротивление нагревателя 16 Ом. Через какое время после включения вода в чайнике выкипит? Напряжение в цепи 120 В, коэффициент полезного действия нагревателя 60%.

Вариант 4

1. В вершинах правильного шестиугольника расположены три положительных и три отрицательных заряда. Найти напряженность электрического поля в центре шестиугольника при различных комбинациях в расположении этих зарядов. Каждый заряд несет 1,5 нКл, длина стороны шестиугольника – 3 см.

2. С какой силой на единицу площади отталкиваются две одноименно заряженные и бесконечные плоскости? Поверхностная плотность заряда $\sigma = 0,3 \text{ мКл/м}^2$.
3. Шарик массой 40 мг, имеющий положительный заряд в 1 нКл, движется со скоростью 10 см/с. На какое расстояние может приблизиться шарик к положительному точечному заряду, равному 1,33 нКл ?
4. Восемь заряженных водяных капель радиусом 1 мм и зарядом 0,1 нКл каждая сливаются в одну большую каплю. Найти ее потенциал.
5. Со скоростью $9 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ электрон влетает в плоский горизонтально расположенный конденсатор параллельно его пластинам. Разность потенциалов между пластинами 100 В, расстояние между ними 1 см. Найти полное, нормальное и тангенциальное ускорения электрона через 10 с после начала его движения в конденсаторе.
6. Площадь пластины плоского воздушного конденсатора $0,01 \text{ м}^2$, расстояние между ними 2 см. К пластинам конденсатора приложена разность потенциалов в 3 кВ. Какова будет напряженность поля конденсатора, если, не отключая его от источника напряжения, пластины раздвинуть до расстояния 4 см между ними. Найти энергию конденсатора до и после этого момента.
7. Обмотка катушки из медной проволоки при температуре 14^0 С имеет сопротивление 12 Ом. После пропускания тока сопротивление обмотки стало равным 13,2 Ом. До какой температуры нагрелась обмотка? Температурный коэффициент сопротивления меди $\alpha = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$.
8. Разность потенциалов между пластинами плоского конденсатора 90 В. Площадь каждой пластины 60 см^2 , ее заряд равен 1 нКл. На каком расстоянии друг от друга находятся пластины?
9. Площадь пластины плоского воздушного конденсатора $0,01 \text{ м}^2$, расстояние между ними 2 см. К пластинам конденсатора приложена разность потенциалов в 3 кВ. Какова будет напряженность поля конденсатора, если, не отключая его от источника напряжения, пластины раздвинуть до расстояния 4 см между ними. Найти энергию конденсатора до и после этого момента.
10. Элемент, сопротивление и амперметр которого соединены последовательно, имеет ЭДС в 2 В и внутреннее сопротивление в 0,4 Ом. Амперметр показывает силу тока 1 А. С каким коэффициентом полезного действия работает элемент?
11. Имеется 120-вольтовая электрическая лампочка мощностью 40 Вт. Какое добавочное сопротивление надо включить последовательно с лампочкой, чтобы она давала нормальный накал при напряжении в сети 220 В? Какой длины нихромовую проволоку диаметром 0,3 мм надо взять, чтобы получить такое сопротивление?
12. Найти количество теплоты, выделяющееся за единицу времени в единице объема медного провода при плотности тока 300 кА/м^2 ?

Вариант 5

1. Точечные заряды по 20 мкКл и -20 мкКл находятся на расстоянии 5 см друг от друга. Определить напряженность поля в точке, удаленной на 3 см от первого и на 4 см от второго заряда. Определить также силу, действующую в этой точке на точечный заряд в 1 мкКл .
2. По тонкой нити, изогнутой по дуге окружности радиусом 10 см , равномерно распределен заряд в 20 нКл . Определить напряженность поля, создаваемого этим зарядом в точке, совпадающей с центром кривизны дуги, если длина нити равна четверти длины окружности.
3. Четыре одинаковых капли ртути, заряженных до потенциала 10 В , сливаются в одну. Каков потенциал образовавшейся капли?
4. Пылинка массой $2 \cdot 10^{-4} \text{ г}$, несущая на себе заряд 40 нКл , влетает в электрическое поле в направлении силовых линий. После прохождения разности потенциалов в 200 В пылинка имела скорость 10 м/с . Определить скорость пылинки до того, как она влетела в поле.
5. Два конденсатора емкостями 5 мкФ и 8 мкФ соединены последовательно и присоединены к батарее с ЭДС, равной 80 В . Определить заряды конденсаторов и разности потенциалов между обкладками.
6. Два металлических шарика радиусами 5 и 10 см имеют заряды 40 нКл и -20 нКл соответственно. Найти энергию, которая выделится при разряде, если шары соединить проводником.
7. Определить число электронов, проходящих за 1 с через поперечное сечение площадью 1 мм^2 железной проволоки длиной 20 м при напряжении на ее концах 16 В .
8. По алюминиевому проводу сечением $0,2 \text{ см}^2$ идет ток силой $0,02 \text{ А}$. Определить силу, действующую на отдельные свободные электроны со стороны электрического поля. Удельное сопротивление алюминия $\rho = 26 \text{ нОм/м}$.
9. Электродвижущая сила батареи равна 80 В , внутреннее сопротивление составляет 5 Ом . Внешняя цепь потребляет мощность 100 Вт . Определить силу тока в цепи, напряжение, под которым она находится, и ее сопротивление.
10. Катушка и амперметр соединены последовательно и подключены к источнику тока. К клеммам катушки присоединен вольтметр с сопротивлением 4 кОм . Амперметр показывает силу тока $0,3 \text{ А}$, вольтметр – напряжение 120 В . Определить сопротивление катушки. Найти относительную погрешность, которая будет допущена при измерении сопротивления, если пренебречь силой тока, идущего через вольтметр.
11. Проводник сопротивлением 6 Ом подключен к двум параллельно соединенным источникам тока с ЭДС по $2,2 \text{ В}$ и $2,4 \text{ В}$ и со значениями внутреннего сопротивления $0,8 \text{ Ом}$ и $0,2 \text{ Ом}$. Определить силу тока в этом сопротивлении и напряжение на зажимах второго источника тока.

12. Сила тока в проводнике сопротивлением 12 Ом за 50 с равномерно нарастает от 5 А до 10 А. Определить количество теплоты, выделившееся за это время в проводнике.

Вариант 6

1. Четыре одинаковых положительных точечных заряда по $q = 10$ нКл закреплены в вершинах квадрата с длиной стороны $a = 20$ см. Найти величину напряженности E электростатического поля в точке, расположенной посередине одной из сторон квадрата.
2. Два заряда по $4 \cdot 10^{-7}$ Кл и $-6 \cdot 10^{-7}$ Кл находятся на расстоянии 10 см друг от друга. Найти: а) напряженность поля зарядов в той точке, где потенциал поля равен нулю; б) потенциал той точки поля, где напряженность равна нулю (точку считать расположенной на прямой, проходящей через заряды).
3. Определить потенциальную энергию системы двух точечных зарядов (400 нКл и 20 нКл), находящихся на расстоянии 5 см друг от друга.
4. На расстоянии 5 см от поверхности металлического шара радиусом 2 см находится точечный заряд 1 нКл (поверхностная плотность заряда -4 мкКл/м²). Определить работу электрических сил при перемещении заряда на расстояние 10 см от поверхности шара.
5. Отключенный от источника заряженный конденсатор соединили параллельно с незаряженным конденсатором такой же емкости. Как при этом изменится энергия первого конденсатора?
6. Плоский воздушный конденсатор с площадью пластин по 200 см² и расстоянием между ними 1 см заряжен до напряжения 2 кВ. После этого конденсатор отключили от источника напряжения, а пространство между пластинами заполнили эбонитом. Найти величины изменения: а) емкости конденсатора; б) напряженности электрического поля внутри конденсатора; в) энергии конденсатора.
7. Какой заряд пройдет по проводнику сопротивлением 1 кОм при равномерном нарастании напряжения на его концах от 15 В до 25 В в течение 20 с ?
8. По медному проводнику сечением 1 мм² идет ток силой 60 А. Определить среднюю скорость направленного движения электронов в проводнике. Считать число свободных электронов равным числу атомов меди.
9. От полюсов генератора с напряжением 220 В идет линия для освещения помещения. В нее последовательно включены четыре лампы, каждая из которых требует напряжения 42 В и силы тока 10 А. Определить сопротивление реостата, который необходимо включить в линию, изготовленную из алюминиевого провода длиной 400 м и площадью поперечного сечения 2,5 мм².
10. При каком сопротивлении внешней цепи источник с ЭДС в 10 В и внутренним сопротивлением 20 Ом будет отдавать максимальную мощность? Какова величина этой мощности?

11. Две электрические лампочки с сопротивлением 360 и 240 Ом включены в сеть параллельно. Какая из лампочек потребляет большую мощность? Во сколько раз?
12. Разность потенциалов между точками А и В равна 9 В. Имеются два проводника с сопротивлением 5 Ом и 3 Ом. Найти количество теплоты, выделяющееся в каждом проводнике в единицу времени, если проводники между точками А и В соединены: а) последовательно; б) параллельно.

Вариант 7

1. Три одинаковых положительных заряда по 10^{-9} Кл каждый расположены по вершинам равностороннего треугольника. Какой отрицательный заряд нужно поместить в центре треугольника, чтобы сила притяжения с его стороны уравновесила силы взаимного отталкивания зарядов, находящихся в вершинах?
2. Металлический шар радиусом 2 см имеет заряд $2 \cdot 10^{-9}$ Кл. Шар заключен в концентричную оболочку толщиной 4 см из однородного диэлектрика с диэлектрической проницаемостью 6. Определить напряженность поля и электрическое смещение в точках, отстоящих от центра шара на расстоянии 3 см и 10 см соответственно.
3. Электростатическое поле создается положительно заряженной бесконечной нитью с постоянной линейной плотностью $\tau = 1$ нКл/см. Какую скорость приобретет электрон, приблизившись под действием поля к нити вдоль линии напряженности с расстояния $r_1 = 1,5$ см до $r_2 = 1$ см?
4. Альфа-частица, вылетающая при радиоактивном распаде со скоростью $1,6 \cdot 10^7$ м/с, движется к неподвижному ядру натрия. На какое наименьшее расстояние приблизится альфа-частица к этому заряду?
5. Разность потенциалов между пластинами плоского конденсатора составляет $U = 100$ В. Площадь каждой пластины $S = 200$ см², расстояние между пластинами $d = 0,5$ мм. Пространство между ними заполнено парафином. Определить силу F притяжения пластин.
6. Емкость батареи конденсаторов, образованной двумя последовательно соединенными конденсаторами, равна $C = 100$ пФ, а заряд $q = 20$ нКл. Определить емкость C_2 второго конденсатора, а также разности потенциалов U_1 и U_2 на обкладках каждого конденсатора, если емкость первого из них $C_1 = 200$ пФ.
7. Какое количество электричества было перенесено через поперечное сечение проводника, если сила тока равномерно возрастала от 0 до 3 А в течение 10 с?
8. Имеется амперметр, предназначенный для измерения силы тока величиной до 15 мА, с сопротивлением 0,5 Ом. Какое сопротивление надо взять и как

- его включить, чтобы этим прибором можно было измерять: а) силу тока до 150 мА; б) разность потенциалов до 150 В?
9. Сила тока в проводнике сопротивлением 10 Ом равномерно убывает от 10 А до 0 за 30 с. Определить выделившееся за это время количество теплоты.
 10. По медному проводнику длиной 2 м и площадью поперечного сечения $0,4 \text{ мм}^2$ идет ток. Мощность, выделяющаяся в проводнике, равна 0,35 Вт. Определить число электронов, проходящих за 1 с через его поперечное сечение, и напряженность электрического поля.
 11. Электродвижущая сила элемента и его внутреннее сопротивление равны соответственно 1,6 В и 0,5 Ом. Каков коэффициент полезного действия элемента при силе тока 2,4 А?
 12. Определить ЭДС и внутреннее сопротивление аккумулятора, если при токе 15 А он отдает во внешнюю цепь мощность 135 Вт, а при токе 6 А – мощность 64,8 Вт.

Вариант 8

1. Четыре одинаковых положительных точечных заряда по 10 нКл закреплены в вершинах квадрата с длиной стороны 20 см. Найти величину силы, действующей на один из этих зарядов со стороны трех остальных.
2. Длинная прямая тонкая проволока несет равномерно распределенный заряд. Вычислить линейную плотность заряда, если напряженность поля на расстоянии 0,5 м от проволоки напротив ее середины равна 2 В/см.
3. Расстояние между двумя точечными зарядами $+5 \cdot 10^{-9}$ Кл и $-6 \cdot 10^{-9}$ Кл равно 60 мм. Найти напряженность и потенциал в средней точке между зарядами. Среда – воздух. Электрическая постоянная $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.
4. Два шарика с зарядами $2 \cdot 10^{-7}$ и $4 \cdot 10^{-7}$ Кл находятся на расстоянии 40 см. Какую работу надо совершить, чтобы сблизить их до расстояния 25 см? $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$.
5. Шар, погруженный в масло ($\epsilon = 2,2$), имеет поверхностную плотность заряда 1 мкКл/м^2 и потенциал 500 В. Определить следующие параметры шара: а) радиус; б) заряд; в) емкость; г) энергию.
6. Два конденсатора, емкости которых равны 1 мкФ и 2 мкФ, включили параллельно (соединяя друг с другом одноименно заряженными пластинами). Чему равно напряжение между обкладками полученной батареи конденсаторов, если до соединения напряжения на них были равны соответственно 300 В и 150 В.
7. Медный и железный проводники одинаковой длины и одинакового сечения соединены параллельно. Какова сила тока в железном проводнике, если по медному проводнику идет ток с силой 2,4 А? Удельное сопротивление меди $1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, железа – $8,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

8. Амперметр с сопротивлением $0,16 \text{ Ом}$ зашунтирован сопротивлением $0,04 \text{ Ом}$. Амперметр показывает силу тока 8 А . Найти силу тока в цепи.
9. Имеются три 110-вольтовых электрических лампочки, мощности которых $P_1 = P_2 = 40 \text{ Вт}$ и $P_3 = 80 \text{ Вт}$. Как надо включить эти лампочки, чтобы они давали нормальный накал при напряжении в сети 220 В ? Начертить схему. Найти силу токов I_1, I_2, I_3 , идущих через лампочки при нормальном накале.
10. Ток от батареи, имеющей ЭДС 50 В и внутреннее сопротивление 4 Ом , проходя по проволочной спирали, выделяет в минуту $1,5 \text{ кДж}$ теплоты. Определить сопротивление спирали и силу тока в батарее.
11. При силе тока $I_1 = 3 \text{ А}$ во внешней цепи батареи аккумуляторов выделяется мощность $P_1 = 18 \text{ Вт}$, а при силе тока $I_2 = 1 \text{ А}$ – $P_2 = 10 \text{ Вт}$. Определить ЭДС и внутреннее сопротивление r батареи.
12. Электрический чайник, содержащий $V = 600 \text{ см}^3$ воды при температуре $t = 9^\circ \text{С}$, забыли выключить. Сопротивление нагревателя $R = 16 \text{ Ом}$. Через какое время после включения вода в чайнике выкипит? Напряжение в цепи $U = 120 \text{ В}$, коэффициент полезного действия нагревателя $\eta = 0,6$.

Вариант 9

1. Расстояние между двумя точечными зарядами в 1 мкКл и -1 мкКл равно 10 см . Определить силу, действующую на точечный заряд, равный $0,1 \text{ мкКл}$ и удаленный на 6 см от первого и на 8 см от второго заряда.
2. Определить поток вектора напряженности электрического поля через сферическую поверхность, охватывающую точечные заряды в 5 нКл и -2 нКл .
3. Два точечных заряда по $6 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$ и $13 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$ находятся на расстоянии 40 см друг от друга. Какую работу надо совершить, чтобы сблизить их до расстояния 25 см ?
4. Диполь расположен в электрическом поле с напряженностью 10^4 В/м так, что его момент, равный $10^{-9} \text{ Кл}\cdot\text{м}$, ориентирован по направлению поля. Найти работу, которую необходимо совершить, чтобы повернуть диполь на 180° .
5. Плоский конденсатор состоит из двух круглых пластин радиусом 20 см каждая. Расстояние между пластинами 5 мм . Конденсатор присоединен к источнику напряжения в 300 В . Определить заряд и напряженность поля конденсатора, если диэлектриком будет: а) стекло; б) воздух.
6. Плоский конденсатор с пластинами площадью 300 см^2 каждая заряжен до разности потенциалов 1000 В . Расстояние между пластинами 4 мм . Диэлектрик – стекло. Определить энергию поля конденсатора и плотность энергии поля.
7. Определить плотность тока в железном проводнике длиной 10 м , если провод находится под напряжением 6 В .
8. Имеется предназначенный для измерения разности потенциалов до 30 В вольтметр с сопротивлением 2 кОм , шкала которого разделена на 150 деле-

ний. Какое сопротивление надо взять и как его включить, чтобы этим вольтметром можно было измерять разность потенциалов до 75 В? Как изменится при этом цена деления вольтметра?

9. При силе тока 3 А во внешней цепи батареи аккумуляторов выделяется мощность 18 Вт, при силе тока 1 А – соответственно 10 Вт. Определить ЭДС и внутреннее сопротивление батареи.
10. Ток от магистрали к потребителю разводится по медным проводам, общая длина которых 49 м, а площадь $2,5 \text{ мм}^2$. Напряжение в магистрали – 120 В. Потребителем является печь мощностью 600 Вт. Каково сопротивление печи?
11. Сила тока в проводнике равномерно увеличивается от нуля до некоторого максимального значения в течение 10 с. За это время в нем выделилась теплота, равная 1 кДж. Определить скорость нарастания тока в проводнике, если сопротивление его 3 Ом.
12. При включении электромотора в сеть с напряжением 120 В он потребляет ток 15 А. Найти мощность, потребляемую мотором, и его КПД, если сопротивление обмотки мотора 1 Ом.

Вариант 10

1. Три одинаковых положительных заряда по 10^{-9} Кл каждый расположены по вершинам равностороннего треугольника. Какой отрицательный заряд нужно поместить в центре треугольника, чтобы сила притяжения с его стороны уравновесила силы взаимного отталкивания зарядов, находящихся в вершинах?
2. Два точечных заряда ($2 \cdot 10^{-7}$ Кл и $4 \cdot 10^{-7}$ Кл) находятся в керосине на расстоянии 10 см друг от друга. Каковы напряженность электростатического поля и электрическое смещение в точке, находящейся на расстоянии 20 см от одного и 15 см от другого заряда?
3. Пылинка массой 10^{-5} г, несущая на себе заряд 10^{-8} Кл, влетела в электрическое поле в направлении силовых линий. После прохождения разности потенциалов 150 В пылинка имела скорость 20 м/с. Какова была скорость пылинки до того, как она влетела в поле?
4. Две параллельные плоскости находятся на расстоянии 0,6 см друг от друга. По ним равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями $0,2 \text{ мкКл/м}^2$ и $-0,3 \text{ мкКл/м}^2$. Определить разность потенциалов между пластинами.
5. Два конденсатора с электроемкостями, равными 3 мкФ и 6 мкФ, соединены между собой и присоединены к батарее с ЭДС, равной 120 В. Определить заряды конденсаторов и разности потенциалов между их обкладками, если конденсаторы соединены: а) параллельно; б) последовательно.
6. Расстояние между пластинами плоского воздушного конденсатора площадью 50 см^2 изменяется от 3 до 10 см. Конденсатор был заряжен до напряже-

- ния 200 В и отключен от источника тока. Найти величину изменения энергии поля конденсатора. Вычислить работу, необходимую для раздвижения его пластин.
7. Определить число электронов, проходящих в одну секунду через единицу площади поперечного сечения железной проволоки длиной 10 м при напряжении на ее концах 6 В.
 8. Зашунтированный амперметр измеряет ток силой до 10 А. Какую наибольшую силу тока может измерить этот амперметр без шунта, если сопротивление амперметра равно 0,02 Ом, а сопротивление шунта $5 \cdot 10^{-3}$ Ом?
 9. Сопротивление в 5 Ом, вольтметр и источник тока соединены параллельно. Вольтметр показывает напряжение 10 В. Если изменить сопротивление на 12 Ом, то вольтметр покажет напряжение 12 В. Определить ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока. Током, идущим через вольтметр, пренебречь.
 10. Ток в проводнике сопротивлением 100 Ом равномерно нарастает от 0 до 10 А в течение 30 с. Определить количество теплоты, выделившееся за это время.
 11. Электродвижущая сила источника равна 300 В, сила тока короткого замыкания 2 А. Определить максимальное количество теплоты, которое может отдать источник тока в течение 1 с во внешнюю цепь.
 12. От батареи, ЭДС которой 500 В, требуется передать энергию на расстояние 2,5 км. Потребляемая мощность 10 кВт. Найти максимальные потери мощности в сети, если диаметр медных проводов 1,5 см.

2.2. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ И ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМА

2.2.1. Электромагнетизм

Вектор магнитной индукции: $\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}$,

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; μ – магнитная проницаемость среды; \vec{H} – вектор напряженности магнитного поля.

Магнитный момент рамки с током: $\vec{p}_m = IS\vec{n}$,

где I – сила тока; S – площадь рамки; \vec{n} – единичный вектор нормали к поверхности рамки; направление вектора \vec{n} связано с направлением тока, текущего по рамки, правилом правого винта.

Механический момент сил, действующих на рамку с током в магнитном поле:

$$\vec{M} = \vec{p}_m \times \vec{B},$$

модуль которого $M = |\vec{M}| = p_m B \sin \alpha$, где $p_m = |\vec{p}_m|$ и $B = |\vec{B}|$; α – угол между векторами \vec{p}_m и \vec{B} .

Работа, совершаемая силами магнитного поля при вращении рамки с током:

$$A_{12} = - \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} p_m B \sin \alpha d\alpha,$$

где α_1 и α_2 - углы между векторами \vec{p}_m и \vec{B} , соответственно, в начальном и конечном положениях вектора \vec{p}_m .

Потенциальная энергия рамки с током в магнитном поле: $U = -p_m B \cos \alpha$, где α - угол между векторами \vec{p}_m и \vec{B} .

Закон Био-Савара-Лапласа:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3},$$

где $d\vec{B}$ - вектор магнитной индукции поля, созданного элементом проводника $d\vec{l}$ с током I , в точке, положение которой определяется радиус-вектором \vec{r} , проведенным от указанного элемента проводника; направление вектора $d\vec{l}$ совпадает с направлением тока, текущего по проводнику; $r = |\vec{r}|$ - модуль радиус-вектора.

Модуль вектора $d\vec{B}$:

$$dB = |d\vec{B}| = \frac{\mu_0 \mu I dl \sin \alpha}{4\pi r^2},$$

где $dl = |d\vec{l}|$ - модуль элемента проводника; α - угол между векторами $d\vec{l}$ и \vec{r} .

Согласно принципу суперпозиции, вектор магнитной индукции \vec{B} результирующего поля в данной точке равен векторной сумме магнитных индукций $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3 \dots \vec{B}_n$, созданных полей: $\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$.

При наложении двух магнитных полей модуль вектора магнитной индукции результирующего поля в данной точке:

$$B = |\vec{B}| = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + 2B_1 B_2 \cos \alpha},$$

где $B_1 = |\vec{B}_1|$ и $B_2 = |\vec{B}_2|$ - модули векторов магнитных индукций полей, созданных в данной точке; α - угол между векторами \vec{B}_1 и \vec{B}_2 .

Модуль вектора магнитной индукции \vec{B} поля, создаваемого бесконечно длинным прямым проводником с током I , в данной точке:

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

где R - расстояние от данной точки до проводника с током.

Модуль вектора магнитной индукции \vec{B} поля, создаваемого отрезком прямого проводника с током I :

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

где R - расстояние от данной точки до прямой, проведенной вдоль проводника с

током; α_1 и α_2 - углы между указанной прямой, направление которой определяется направлением тока, и радиус-векторами, проведенными из концов отрезка проводника в данную точку.

Модуль вектора магнитной индукции \vec{B} в центре кругового проводника с током I :

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

где R - радиус проводника.

Циркуляция вектора \vec{B} по замкнутому контуру L : $\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \oint_L B_l dl$,

где $d\vec{l}$ - вектор элемента контура, направление которого совпадает выбранным направлением обхода контура; $B_l = B \cos \alpha$ - проекция вектора \vec{B} на касательную к контуру, направленную вдоль обхода контура; α - угол между векторами $d\vec{l}$ и \vec{B} .

Закон полного тока для магнитного поля в вакууме:

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \oint_L B_l dl = \mu_0 \sum_{k=1}^n I_k,$$

где n - число проводников с токами, охватываемых контуром L . Положительным считается ток, направление которого связано с направлением обхода контура правилом правого винта. Ток противоположного направления является отрицательным.

Модуль вектора магнитной индукции \vec{B} внутри соленоида с током I :

$$B = |\vec{B}| = \frac{\mu_0 \mu NI}{l},$$

где N - количество витков; l - длина соленоида.

Модуль вектора магнитной индукции \vec{B} внутри тороида с током I :

$$B = |\vec{B}| = \frac{\mu_0 \mu NI}{2\pi r},$$

где N - количество витков; r - радиус средней окружности тороида.

По закону Ампера сила, действующая на элемент $d\vec{l}$ проводника с током I в магнитном поле индукции \vec{B} :

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B},$$

где направление вектора $d\vec{l}$ определяется направлением тока, текущего по проводнику.

Модуль силы Ампера: $dF = |d\vec{F}| = IBdl \sin \alpha$,

где α - угол между векторами $d\vec{l}$ и \vec{B} .

Модуль силы взаимодействия двух прямых бесконечно длинных параллельных проводников с токами I_1 и I_2 , расположенных на расстоянии R друг от друга, приходящейся на отрезок проводника длиной l :

$$F = |\vec{F}_1| = |\vec{F}_2| = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{R} l.$$

Сила Лоренца \vec{F} , действующая на электрический заряд q , движущийся со скоростью \vec{v} в магнитном поле индукции \vec{B} : $\vec{F} = q \vec{v} \perp \vec{B}$.

Модуль силы Лоренца: $F = |\vec{F}| = qvB \sin \alpha$,

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

Если заряженная частица массой m движется со скоростью \vec{v} , перпендикулярной вектору индукции \vec{B} , то радиус окружности, вдоль которой движется эта частица:

$$R = \frac{mv}{qB}.$$

Поток вектора магнитной индукции \vec{B} через площадку ds (магнитный поток):

$$d\Phi_B = \vec{B} d\vec{s} = B_n ds,$$

где $d\vec{s} = ds \vec{n}$; ds - площадь площадки; \vec{n} - единичный вектор нормали к площадке ds ; $B_n = |\vec{B}| \cos \alpha$ - проекция вектора \vec{B} на единичный вектор нормали; α - угол между векторами \vec{n} и \vec{B} .

В однородном поле ($\vec{B} = const$) поток вектора магнитной индукции \vec{B} через плоскую площадку S :

$$\Phi_B = \vec{B} d\vec{S} = B_n S,$$

где $\vec{S} = S \vec{n}$; S - площадь площадки; \vec{n} - единичный вектор нормали к площадке S ; α - угол между векторами \vec{n} и \vec{B} .

Поток вектора \vec{B} магнитной индукции через произвольную поверхность S :

$$\Phi_B = \oint_S \vec{B} d\vec{s} = \oint_S B_n ds.$$

Теорема Гаусса для магнитного поля индукции \vec{B} : поток вектора магнитной индукции сквозь любую замкнутую поверхность равен нулю:

$$\Phi_B = \oint_S \vec{B} d\vec{s} = \oint_S B_n ds = 0.$$

Полный магнитный поток (потокосцепление), сцепленный со всеми витками соленоида:

$$\Psi = BSN = \mu_0 \mu \frac{N^2 I}{l} S,$$

где $B = |\vec{B}|$ - модуль вектора магнитной индукции; N - количество витков;

I - сила тока, текущего в соленоиде; l - длина соленоида.

Работа, совершаемая силами Ампера по перемещению проводника с током I в магнитном поле:

$$A = I \Delta \Phi_B,$$

где $\Delta\Phi_B$ – магнитный поток, пересеченный проводником.

Работа, совершаемая силами Ампера по перемещению замкнутого контура с током I в магнитном поле:

$$A_{12} = I\Delta\Phi_B,$$

где $\Delta\Phi_B = (\Phi_2 - \Phi_1)$ – изменение магнитного потока, пронизывающего контур; Φ_1 и Φ_2 – магнитные потоки через контур, соответственно, в начальном и конечном его положениях.

По закону Фарадея электродвижущая сила (Э.Д.С.) электромагнитной индукции, возникающая в проводящем контуре или соленоиде:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Psi}{dt} = -N\frac{d\Phi_B}{dt},$$

где Ψ – магнитный поток, пронизывающий контур или соленоид; Φ_B – магнитный поток через один виток соленоида; N – количество витков соленоида.

Разность потенциалов U на концах прямого проводника длиной l , движущегося со скоростью \vec{v} в однородном магнитном поле индукции \vec{B} , равна модулю Э.Д.С. электромагнитной индукции, возникающей в этом проводнике:

$$U = |\mathcal{E}_i| = \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = Blv\sin\alpha,$$

где $\Delta\Phi_B$ – магнитный поток, пересеченный проводником за время Δt ; α – угол между векторами \vec{v} и \vec{B} .

Э.Д.С. электромагнитной индукции, возникающая в рамке, содержащей N витков площадью S , при вращении рамки с угловой скоростью ω относительно оси, проходящей через плоскость этой рамки, в однородном магнитном поле индукции \vec{B} :

$$\mathcal{E}_i = -N\frac{d\Phi_B}{dt} = NBS\omega\sin\omega t,$$

где $\Phi_B = NBS\cos\omega t$ – магнитный поток, пронизывающий один виток рамки.

Магнитный поток Φ_B , сцепленный с замкнутым контуром или соленоидом, по которому течет ток I :

$$\Phi_B = LI,$$

где L – индуктивность контура.

Электродвижущая сила (Э.Д.С.) самоиндукции \mathcal{E}_s , возникающая в замкнутом

контуре (соленоиде) при изменении силы тока I в нем: $\mathcal{E}_s = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -L\frac{dI}{dt}$.

Мгновенное значение силы тока I в цепи, содержащей источник тока с Э.Д.С. \mathcal{E} , активное сопротивление R и индуктивность L :

а) после замыкания цепи: $I = \frac{\mathcal{E}}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right) = I_0\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right);$

б) после размыкания цепи: $I = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-\frac{R}{L}t} = I_0 e^{-\frac{R}{L}t}$,

где $I_0 = \frac{\mathcal{E}}{R}$ - сила установившегося тока при времени $t \rightarrow \infty$.

Амплитуды переменных Э.Д.С. \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 , соответственно, в первичной и вторичной обмотках трансформатора связаны соотношениями: $\frac{\mathcal{E}_2}{\mathcal{E}_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$,

где I_1, N_1 и I_2, N_2 - амплитуды переменных токов и количества витков, соответственно, в первичной и вторичной обмотках трансформатора.

Энергия W магнитного поля, создаваемого током I в замкнутом контуре (соленоиде) индуктивностью L :

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

Объемная плотность энергии однородного магнитного поля длинного соленоида:

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{B^2}{2\mu_0\mu} = \frac{\mu_0\mu H^2}{2} = \frac{BH}{2}.$$

Период собственных колебаний напряжения и тока в контуре, содержащем катушку с индуктивностью L , конденсатор с емкостью C и малое активное сопротивление:

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

Уравнения плоской монохроматической электромагнитной волны, распространяющейся вдоль положительного направления оси x :

$$E_y = E_0 \cos(\omega t - kx + \varphi_0),$$

$$H_z = H_0 \cos(\omega t - kx + \varphi_0),$$

где E_y - проекция вектора \vec{E} напряженности электрического поля на ось y , H_z - проекция вектора \vec{H} напряженности магнитного поля на ось z , E_0 и H_0 - амплитуды, соответственно, электрического и магнитного полей.

Скорость электромагнитной волны в среде, имеющей диэлектрическую проницаемость ε и магнитную проницаемость μ :

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{c}{n},$$

где $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}$ - скорость электромагнитной волны (света) в вакууме;

$n = \sqrt{\varepsilon\mu}$ - абсолютный показатель преломления среды.

Из уравнений Максвелла следует, что в электромагнитной волне:

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

где E и H - мгновенные значения напряженностей электрического и магнитного полей.

Объемная плотность энергии электромагнитной волны равна сумме объемных плотностей энергий электрического и магнитного полей:

$$\omega = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E_o^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H_o^2}{2},$$

где E_o и H_o - амплитуды напряженностей электрического и магнитного полей.

Поскольку объемные плотности энергий электрического и магнитного полей равны, то объемная плотность энергии электромагнитной волны:

$$\omega = \varepsilon_0 \varepsilon E_o^2 = \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0} \sqrt{\varepsilon \mu} E_o H_o.$$

Контрольное задание №4

Вариант 1

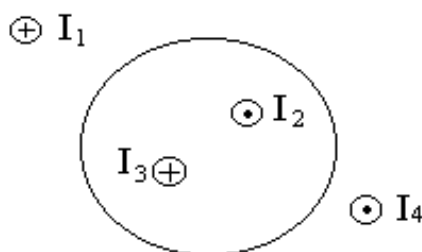
1. По контуру в виде равностороннего треугольника идет ток силой 10 А. Длина стороны треугольника 30 см. Определить магнитную индукцию в точке пересечения высот. Для сравнения определить индукцию магнитного поля в центре кругового провода, вписанного в этот треугольник.
2. По двум параллельным и бесконечно длинным проводам, расположенным на расстоянии 8 см друг от друга, идут в одном направлении токи силой $I_1 = I_2 = 40$ А. Определить индукцию магнитного поля в точке, отстоящей от одного проводника на расстоянии 6 см, а от другого – на расстоянии 10 см.
3. Виток, по которому идет ток силой 20 А, свободно установился в однородном магнитном поле с индукцией 0,016 Тл. Диаметр витка равен 10 см. Определить работу, которую нужно совершить, чтобы повернуть виток на угол $\pi/2$ относительно оси, совпадающей с диаметром.
4. В однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл расположен прямолинейный участок проводника с силой тока 5 А. Участок находится под углом 30° к вектору магнитной индукции. Определить силу, с которой поле действует на каждый сантиметр этого участка проводника.
5. В однородное магнитное поле с напряженностью $8 \cdot 10^3$ А/м внесен медный проводник. Плотность тока в проводнике 3 А/мм². С каким ускорением будет двигаться проводник, если направление тока перпендикулярно направлению магнитного поля?
6. Электрон, ускоренный разностью потенциалов 300 В, движется параллельно прямолинейному проводнику на расстоянии 4 мм от него. Какая сила будет действовать на электрон, если по проводнику пустить ток силой 5 А ?
7. В магнитном поле с индукцией 1,2 Тл по круговой орбите радиусом 50 см движется α - частица. Определить скорость и разность потенциалов, которую должна пройти α - частица, чтобы приобрести такую скорость. Заряд α - частицы $3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл, масса ее $6,64 \cdot 10^{-27}$ кг.

8. Определить относительную магнитную проницаемость железного сердечника катушки при токе силой 4 А. Индуктивность катушки 0,4 Гн, площадь поперечного сечения 10 см^2 , число витков 1000 (воспользоваться графиком $B = f(H)$, см. прил. 2).
9. Проволочная рамка площадью 50 см^2 расположена перпендикулярно магнитному полю, индукция которого изменяется по закону $B = (A + Bt^2)$, где $A=1 \text{ Тл}$; $B=1 \text{ Тл/с}^2$. Определить ЭДС, индуцируемую в контуре в момент $t = 0,5 \text{ с}$.
10. По соленоиду идет ток силой 1,5 А. Магнитный поток, пронизывающий поперечное сечение соленоида, равен $2 \cdot 10^{-6} \text{ Вб}$. Определить индуктивность соленоида, если он имеет 800 витков.
11. Соленоид длиной 50 см и площадью сечения 2 см^2 имеет индуктивность $2 \cdot 10^{-7} \text{ Гн}$. При какой силе тока плотность энергии магнитного поля внутри соленоида равна 10^{-3} Дж/м^3 ?
12. Вычислить циркуляцию вектора индукции вдоль контура, охватывающего токи силой 2 А, 4 А, 6 А, идущие в одном направлении.

Вариант 2

1. По двум параллельным и бесконечно длинным проводам, расположенным на расстоянии 4 см друг от друга, идут в противоположных направлениях токи силой $I_1 = I_2 = 40 \text{ А}$. Определить индукцию магнитного поля в точке, отстоящей от одного проводника на расстоянии 3 см, а от другого – на расстоянии 5 см.
2. Напряженность магнитного поля в центре витка радиусом 2 см равна 40 А/м. Определить напряженность и индукцию поля на оси витка в точке, расположенной на расстоянии 6 см от его центра. Какова напряженность в центре витка, если ему придать форму квадрата, не изменяя силу тока?
3. Рамка площадью 6 см^2 , содержащая 400 витков проволоки, находится в магнитном поле с напряженностью $1,6 \cdot 10^5 \text{ А/м}$. По рамке идет ток силой 10^{-7} А . Определить магнитный момент рамки и вращающий момент, действующий на нее со стороны поля, если плоскость рамки составляет с направлением магнитного поля угол 60° .
4. Плоский контур с силой тока 10 А свободно установился в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. Площадь контура 100 см^2 . Поддерживая ток в контуре неизменным, его повернули относительно оси, лежащей в плоскости контура, на угол 60° . Определить совершенную при этом работу.
5. Между полюсами электромагнита создается однородное магнитное поле с индукцией 0,1 Тл. По проводу длиной 70 см, помещенному перпендикулярно направлению магнитного поля, идет ток силой 70 А. Найти величину силы, действующей на проводник.

6. Определить энергию и её плотность в железном сердечнике объемом 400 см^3 , если индукция равна $1,2 \text{ Тл}$ (воспользоваться графиком $B = f(H)$, см. прил. 2).
7. Пройдя ускоряющую разность потенциалов $3 \cdot 10^3 \text{ В}$, электрон влетает в однородное магнитное поле нормально линиям индукции. Индукция магнитного поля $0,01 \text{ Тл}$, радиус траектории 2 см . Определить удельный заряд электрона.
8. Определить при какой скорости пучок заряженных частиц, проходя перпендикулярно области, в которой созданы однородные поперечные электрическое и магнитное поля с $E=10 \text{ кВ/м}$ и $B=0,2 \text{ Тл}$, не отклоняются
9. Катушка радиусом 5 см , имеющая 100 витков, находится в магнитном поле. Определить среднее значение ЭДС индукции в ней, если индукция магнитного поля увеличится в течение $0,5 \text{ с}$ от 0 до $1,5 \text{ Тл}$.
10. Электродвижущая сила самоиндукции, возникшая в цепи с индуктивностью $0,4 \text{ Гн}$, изменяется с течением времени по закону $\varepsilon_i = (A+Bt)$, где $A=20 \text{ В}$; $B=8 \text{ В/с}$. Определить, по какому закону изменяется сила тока в цепи.
11. Вычислить энергию магнитного поля соленоида, по обмотке которого идет ток силой 2 А . Обмотка выполнена в один слой из проволоки диаметром $0,4 \text{ мм}$; витки плотно прилегают друг к другу; объем соленоида 1500 см^3 ; сердечник немагнитный.
12. Найти циркуляцию вектора индукции вдоль контура, если $I_1=50 \text{ А}$; $I_2=60 \text{ А}$; $I_3=10 \text{ А}$; $I_4=100 \text{ А}$.



Вариант 3

1. По двум длинным параллельным проводникам, расстояние между которыми 6 см , идут токи силой 12 А . Определить индукцию и напряженность магнитного поля в точке, удаленной от каждого провода на расстояние 6 см , если токи идут в одном направлении.
2. Проволочный виток радиусом 20 см расположен в плоскости магнитного меридиана. В центре витка установлена небольшая магнитная стрелка, которая может вращаться вокруг вертикальной оси. На какой угол отклонится стрелка, если по витку пустить ток силой 12 А ? Горизонтальную составляющую индукции земного магнитного поля принять равной $2 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$.
3. На проволочный виток радиусом 10 см , помещенный между полюсами магнита, действует механический момент $6,2 \cdot 10^{-7} \text{ Н·м}$. Сила тока в витке 2 А . Найти магнитную индукцию поля между полюсами магнита. Действием магнитного поля Земли пренебречь.

4. Прямой провод длиной 40 см, по которому идет ток силой 100 А, движется в однородном магнитном поле с индукцией 0,5 Тл. Какую работу совершат силы, действующие на проводник со стороны поля, при его перемещении на расстояние 40 см, если направление перемещения перпендикулярно линиям индукции и проводу?
5. В однородное магнитное поле с напряженностью $8 \cdot 10^3$ А/м внесен медный проводник. Плотность тока в проводнике 3 А/мм². С каким ускорением будет двигаться проводник, если направление тока перпендикулярно направлению магнитного поля?
6. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией $B=10$ мТл по винтовой линии, радиус которой 1,5 см, а шаг 10 см. Определить период обращения электрона и его скорость.
7. Магнитная индукция однородного магнитного поля равна 0,5 Тл. Найти магнитный поток через площадку в 25 см², расположенную под углом 30° к линиям магнитного поля. Определить напряженность поля.
8. Какое сечение должен иметь соленоид длиной 30 см с железным сердечником, чтобы при силе тока 0,3 А энергия магнитного поля в нем была равна 0,4 Дж, если в обмотке соленоида – 3500 витков (воспользоваться графиком $B=f(H)$, см. прил. 2)?
9. На длинный картонный каркас диаметром 5 см уложена однослойная обмотка из проволоки диаметром 0,2 мм. Определить магнитный поток, создаваемый таким соленоидом при силе тока 0,5 А.
10. Соленоид сечением 10 см² содержит 10^3 витков. При силе тока 5 А магнитная индукция поля внутри соленоида равна 0,05 Тл. Определить индуктивность соленоида.
11. Соленоид содержит 800 витков. Площадь сечения сердечника 10 см². По обмотке идет ток, создающий поле с индукцией 8 мТл. Определить среднее значение ЭДС самоиндукции, которая возникает на зажимах соленоида, если сила тока уменьшится до нуля за время 0,8 мс.
12. Соленоид длиной 50 см и площадью поперечного сечения 2 см² имеет индуктивность 0,2 мкГн. При какой силе тока объемная плотность энергии магнитного поля внутри соленоида будет равна 1 мДж/м³?

Вариант 4

1. По двум длинным параллельным проводам в одинаковом направлении идут токи силой 10 А и 15 А. Расстояние между проводами 10 см. Определить индукцию и напряженность магнитного поля в точке, удаленной от первого провода на расстояние 8 см, а от второго – на 6 см.
2. Напряженность магнитного поля в центре кругового витка радиусом 8 см равна 30 А/м. Определить напряженность поля на оси витка в точке, расположенной на расстоянии 6 см от центра витка.

3. Прямой проводник длиной 20 см, по которому идет ток силой 10 А, помещен в магнитное поле под углом 30° к его направлению. Индукция магнитного поля равна 5 Тл. Найти напряженность поля и силу, действующую на проводник.
4. Прямой провод длиной 40 см, по которому идет ток силой 100 А, движется в однородном магнитном поле с индукцией 0,5 Тл. Какую работу совершат силы, действующие на провод со стороны поля, при перемещении его на расстояние 40 см, если направление перемещения перпендикулярно линиям индукции и проводу?
5. Виток площадью 25 см^2 установлен в однородном магнитном поле напряженностью 3000 А/м. По витку идет ток силой 10 А. Какую работу нужно совершить, чтобы повернуть виток на 90° вокруг оси, совпадающей с одним из диаметров?
6. Электрон движется в магнитном поле с индукцией 4 мТл по окружности радиусом 0,8 см. Какова кинетическая энергия электрона?
7. Определить энергию и её плотность в железном сердечнике объемом 400 см^3 , если индукция равна 1,2 Тл (воспользоваться графиком $B = f(H)$, см. прил. 2).
8. Магнитный поток сквозь сечение соленоида равен 50 мкВб. Длина соленоида 50 см. Найти магнитный момент соленоида, если его витки плотно прилегают друг к другу.
9. На картонный каркас длиной 0,8 м и диаметром 4 см намотан в один слой провод диаметром 0,25 мм так, что витки плотно прилегают друг к другу. Вычислить индуктивность получившегося соленоида.
10. Катушка радиусом 4 см, имеющая 100 витков, находится в магнитном поле. Определить среднее значение ЭДС индукции в ней, если индукция магнитного поля увеличивается в течение 0,4 с от 0 до 1,2 Тл.
11. Рамка, содержащая 200 витков, может вращаться относительно оси, лежащей в её плоскости. Площадь рамки 5 см^2 . Ось рамки перпендикулярна линиям индукции однородного магнитного поля, величина которого равна 0,05 Тл. Определить максимальную ЭДС, которая индуцируется в рамке при ее вращении с частотой 40 с^{-1} .
12. Индуктивность катушки 0,1 мГн. При какой силе тока энергия магнитного поля равна 10^{-4} Дж.

Вариант 5

1. По двум параллельным проводам в противоположных направлениях идут токи силой $I_1 = I_2 = 10 \text{ А}$. Расстояние между проводами 30 см. Определить магнитную индукцию в точке, удаленной от первого и второго проводов соответственно на расстояния 15 см и 20 см.
2. Проволочный виток радиусом 20 см расположен в плоскости магнитного меридиана. В центре витка установлена небольшая магнитная стрелка, которая

может вращаться вокруг вертикальной оси. На какой угол отклонится стрелка, если по витку пустить ток силой 12 А? Горизонтальную составляющую индукции земного магнитного поля принять равной $2 \cdot 10^{-5}$ Тл.

3. Между полюсами электромагнита создается однородное магнитное поле с индукцией 0,1 Тл. По проводу длиной 70 см, помещенному перпендикулярно направлению магнитного поля, идет ток силой 70 А. Найти величину силы, действующей на проводник.
4. Плоский контур с током силой 5 А свободно установился в однородном магнитном поле с индукцией 0,4 Тл. Площадь контура 200 см^2 . Поддерживая ток неизменным, контур повернули относительно оси, лежащей в его плоскости, на угол 40° . Определить совершенную при этом работу.
5. В однородном магнитном поле перпендикулярно линиям индукции расположен плоский контур площадью 100 см^2 . Поддерживая в контуре постоянную силу тока 50 А, его переместили из поля в область пространства, где поле отсутствует. Определить индукцию магнитного поля, если при перемещении контура была совершена работа 0,4 Дж.
6. Заряженная частица с кинетической энергией 2 кэВ движется в однородном поле по окружности радиусом 4 мм. Определить силу Лоренца, действующую на частицу со стороны поля.
7. Обмотка соленоида содержит 2 слоя прилегающих друг к другу витков провода диаметром 0,2 мм. Определить напряженность магнитного поля на оси соленоида, если по проводу идет ток силой 0,5 А.
8. Соленоид содержит 500 витков. При силе тока 2 А магнитный поток в соленоиде равен $4 \cdot 10^{-3}$ Вб. Определить индуктивность соленоида.
9. Определить индуктивность соленоида с железным сердечником и энергию магнитного поля в нем при силе тока 0,6 А, если площадь сечения соленоида 10 см^2 , число витков 10^3 , а его длина 20 см, (воспользоваться графиком $B=f(H)$, см. прил. 2).
10. По катушке индуктивностью 8 мкГн идет ток силой 6 А. Определить среднее значение ЭДС самоиндукции, возникающей в контуре, если сила тока изменится за 5 мс до нуля.
11. Квадратная рамка с длиной стороны 80 см вращается в однородном магнитном поле с частотой 8 об/с. Ось вращения рамки перпендикулярна линиям индукции поля. Магнитное поле изменяется по закону $B=0,01 \sin 10\pi t$ Тл. Определить максимальное значение ЭДС.
12. По соленоиду радиусом 20 см, содержащему 500 витков, идет ток силой 1 А. Определить объемную плотность энергии магнитного поля в центре соленоида.

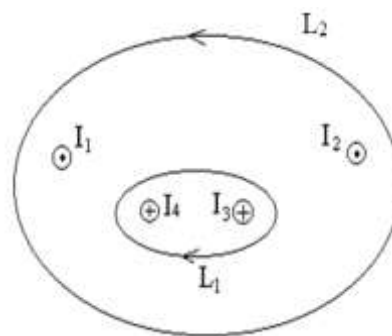
Вариант 6

1. Два бесконечно длинных прямых проводника скрещены под прямым углом. По ним идут токи силой 100 А и 50 А. Расстояние между проводниками 20

см. Определить индукцию магнитного поля в точке, лежащей в середине общего перпендикуляра к проводникам.

2. Проволочный виток радиусом 20 см расположен в плоскости магнитного меридиана; горизонтальная составляющая напряженности магнитного поля Земли равна 5,92 А/м. В центре витка установлен компас. Какой силы ток идет по витку, если магнитная стрелка компаса отклонена на угол 9° от плоскости магнитного меридиана?
3. Рамка площадью 6 см^2 , содержащая 400 витков проволоки, находится в магнитном поле с напряженностью $1,6 \cdot 10^5 \text{ А/м}$. По рамке идет ток силой 10^{-7} А . Определить магнитный момент рамки и вращающий момент, действующий на нее со стороны поля, если плоскость рамки составляет с направлением магнитного поля угол 60° .
4. В однородном магнитном поле с индукцией 0,5 Тл движется равномерно проводник длиной 10 см. По проводнику идет ток силой 2 А. Скорость движения проводника 20 см/с и направлена перпендикулярно магнитному полю. Найти работу при перемещении проводника за время 10 с.
5. В средней части соленоида, содержащего 8 витков на каждый сантиметр, помещен круговой виток диаметром 4 см. Плоскость витка расположена под углом 60° к оси соленоида. Определить магнитный поток, пронизывающий виток, если по обмотке соленоида идет ток силой 1 А.
6. Протон, прошедший ускоряющую разность потенциалов 600 В, влетел в однородное магнитное поле напряженностью $2,4 \cdot 10^5 \text{ А/м}$ и начал двигаться по окружности. Определить радиус окружности.
7. Индуктивность соленоида с немагнитным сердечником равна 0,16 мГн. Длина соленоида 1 м, площадь сечения 1 см^2 . Сколько витков на каждый сантиметр длины содержит обмотка соленоида?
8. Определить относительную магнитную проницаемость железного сердечника катушки при токе силой 4 А. Индуктивность катушки 0,4 Гн, площадь поперечного сечения 10 см^2 , число витков 1000 (воспользоваться графиком $B = f(H)$, см. прил. 2).
9. Скорость самолета с реактивным двигателем 950 км/ч. Найти ЭДС индукции, возникающую на концах крыльев такого самолета, если вертикальная составляющая напряженности земного магнитного поля 39,8 А/м; размах крыльев 12,5 м.
10. Электродвижущая сила самоиндукции, возникшая в цепи с индуктивностью 0,4 Гн, изменяется с течением времени по закону $\varepsilon_i = (A + Bt)$, где $A = 20 \text{ В}$; $B = 8 \text{ В/с}$. Определить, по какому закону изменяется сила тока в цепи.
11. Обмотка соленоида содержит 20 витков на каждый сантиметр длины. При какой силе тока объемная плотность энергии магнитного поля будет равна $0,1 \text{ Дж/м}^3$? Сердечник выполнен из немагнитного материала, и магнитное поле во всем объеме однородно.

12. Вычислить циркуляцию вектора индукции вдоль контуров L_1 и L_2 , если $I_1=20$ А; $I_2=10$ А; $I_3=5$ А; $I_4=10$ А.



Вариант 7

1. По длинному прямому проводнику идет ток силой 60 А. Определить индукцию и напряженность магнитного поля в точке, удаленной от проводника на 5 см.
2. Напряженность магнитного поля в центре кругового витка радиусом 8 см равна 30 А/м. Определить напряженность поля на оси витка в точке, расположенной на расстоянии 6 см от центра витка.
3. Виток диаметром 20 см может вращаться вокруг вертикальной оси, совпадающей с одним из диаметров витка. Виток установили в плоскости магнитного меридиана и пустили по нему ток силой 10 А. Какой вращающий момент сил нужно приложить к витку, чтобы удержать его в начальном положении?
4. Квадратный контур с длиной стороны 10 см, по которому идет ток силой 6 А, находится в магнитном поле с индукцией 0,8 Тл. Какую работу нужно совершить, чтобы при неизменной силе тока в контуре повернуть его на 40° ?
5. При силе тока в 50 А на прямой проводник длиной 2 м, расположенный в однородном магнитном поле под углом 30° к линиям магнитного поля, действует сила 5 Н. Найти индукцию магнитного поля и его напряженность.
6. В однородном вертикальном магнитном поле с индукцией 10^{-3} Тл находится свободно подвешенный горизонтально прямолинейный медный проводник длиной 100 см. С каким ускорением проводник начнет выталкиваться из поля, если к нему приложить напряжение $1,7 \cdot 10^{-2}$ В?
7. Электрон влетает со скоростью 720 км/с в однородное магнитное поле напряженностью 1500 А/м. Направление скорости составляет угол 30° с направлением поля. Определить радиус и шаг винтовой линии, по которой будет двигаться электрон в магнитном поле.
8. Определить относительную магнитную проницаемость железного сердечника объемом 500 см^3 и энергию поля в нем, если напряженность магнитного поля равна $1,6 \cdot 10^3$ А/м (воспользоваться графиком $B=f(H)$, прил. 2).
9. Магнитная индукция однородного магнитного поля равна 0,5 Тл. Найти магнитный поток через площадку в 25 см^2 , расположенную под углом 30° к линиям магнитного поля. Определить напряженность поля.

10. Индуктивность соленоида, намотанного в один слой на немагнитный каркас, 0,5 нГн. Длина соленоида 0,6 м; диаметр 2 см. Определить отношение числа витков соленоида к его длине.
11. Соленоид, состоящий из 80-ти витков и имеющий диаметр 8 см, находится в однородном магнитном поле, индукция которого $6,03 \cdot 10^{-2}$ Тл. Соленоид поворачивается на угол 180° в течение 0,2 с. Найти среднее значение ЭДС, возникающей в соленоиде, если его ось до и после поворота направлена вдоль поля.
12. Квадратная рамка с длиной стороны 1 м вращается в магнитном поле с частотой 5 об/с. Ось вращения рамки перпендикулярна линиям индукции поля. Магнитное поле изменяется по закону $B = 10^{-3} \cos\left(10\pi t + \frac{\pi}{3}\right)$ Тл. Какая ЭДС индукции возникнет в рамке через 10 с после начала ее вращения, если в начальный момент времени нормаль к плоскости рамки и вектор индукции составляли угол, равный нулю?

Вариант 8

1. Определить индукцию магнитного поля в центре проволочной квадратной рамки с длиной стороны 15 см, если по ней идет ток силой 5 А ?
2. Магнитная стрелка помещена в центр кругового проводника, плоскость которого расположена вертикально и составляет угол 20° с плоскостью магнитного меридиана. Радиус окружности 10 см. Определить угол, на который повернется магнитная стрелка, если по проводнику пойдет ток силой 3 А.
3. В однородном вертикальном магнитном поле с индукцией 10^{-3} Тл находится свободно подвешенный горизонтально прямолинейный медный проводник длиной 100 см. С каким ускорением проводник начнет выталкиваться из поля, если к нему приложить напряжение $1,7 \cdot 10^{-2}$ В?
4. Прямой провод длиной 40 см, по которому идет ток силой 100 А, движется в однородном магнитном поле с индукцией 0,5 Тл. Какую работу совершат силы, действующие на провод со стороны поля, при перемещении его на расстояние 40 см, если направление перемещения перпендикулярно линиям индукции и проводу?
5. Рамка площадью 6 см^2 , содержащая 400 витков проволоки, находится в магнитном поле с напряженностью $1,6 \cdot 10^5$ А/м. По рамке течет ток силой 10^{-7} А. Определить магнитный момент рамки и вращающий момент, действующий на неё со стороны поля, если плоскость рамки составляет с направлением магнитного поля угол 60° .
6. Виток радиусом 5 см находится в однородном магнитном поле напряженностью $8 \cdot 10^3$ А/м. Плоскость витка перпендикулярна линиям индукции поля. Какую работу нужно совершить, чтобы повернуть виток вокруг его диаметра на угол 60° при силе тока в 5 А?

7. Электрон, ускоренный разностью потенциалов 300 В, движется параллельно прямолинейному проводнику на расстоянии 4 мм от него. Какая сила будет действовать на электрон, если по проводнику пустить ток силой 5 А ?
8. Соленоид индуктивностью 4 мГн содержит 600 витков. Каков магнитный поток, если сила тока, идущего по обмотке, 12 А?
9. Катушка радиусом 5 см, имеющая 100 витков, находится в магнитном поле. Определить среднее значение Э.Д.С. индукции в этой катушке, если индукция магнитного поля увеличивается в течение 0,5 с. от 0 до 1,5 Тл.
10. Виток из проволоки площадью 1 м^2 расположен перпендикулярно магнитному полю, индукция которого изменяется со временем t по закону $B=A(1+e^{-t})$, где $A=5 \text{ Тл}$. Определить ЭДС индукции в витке как функцию времени.
11. По катушке длиной 50 см и диаметром 2 см, имеющей 10^3 витков, идет ток силой 2 мА. Определить энергию и плотность энергии магнитного поля. Сердечник немагнитный.
12. Вычислить циркуляцию вектора индукции вдоль контура, охватывающего токи силой 10 А и 15 А, идущие в одном направлении, и ток силой 20 А, направленный в противоположную сторону.

Вариант 9

1. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводам в противоположные стороны идут токи силой 10 А. Расстояние между проводами равно 5 см. Определить магнитную индукцию в точке, удаленной на 2 см от одного и на 3 см от другого провода.
2. Найти величину магнитного потока между полюсами электромагнита, если площадь каждого полюса 10^{-2} м^2 , а плоские поверхности их параллельны друг другу. Напряженность поля $36 \cdot 10^4 \text{ А/м}$. Поле однородно.
3. Прямой проводник длиной 20 см, по которому идет ток силой 10 А, помещен в магнитное поле под углом 30° к его направлению. Индукция магнитного поля равна 5 Тл. Найти напряженность поля и силу, действующую на проводник.
4. В однородном магнитном поле, индукция которого 1,5 Тл, равномерно движется прямой проводник длиной 25 см. Сила тока в проводнике 2,5 А. Скорость движения проводника 20 см/с, направлена перпендикулярно вектору индукции. Найти работу, затрачиваемую на перемещение проводника в течение 5 с.
5. Виток диаметром 8 см находится в однородном магнитном поле с напряженностью $6 \cdot 10^3 \text{ А/м}$. Плоскость витка перпендикулярна линиям индукции поля. Какую работу надо совершить, чтобы повернуть виток относительно его диаметра на угол 45° при силе тока в 4 А?
6. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией 10 мТл по винтовой линии, радиус которой 1,5 см, а шаг 10 см. Определить период обращения электрона и его скорость.

7. Соленоид сечением 5 см^2 содержит 1200 витков. Индукция магнитного поля внутри соленоида при силе тока 2 А равна $0,01 \text{ Тл}$. Определить индуктивность соленоида.
8. Напряженность магнитного поля соленоида $1,6 \cdot 10^3 \text{ А/м}$; длина соленоида 100 см ; площадь сечения 5 см^2 . Соленоид не имеет сердечника. Определить энергию и плотность энергии поля.
9. Какое сечение должен иметь соленоид длиной 30 см с железным сердечником, чтобы при силе тока $0,3 \text{ А}$ энергия магнитного поля в нем была равна $0,4 \text{ Дж}$, если в обмотке соленоида – 3500 витков (воспользоваться графиком $B=f(H)$, см. прил. 2)?
10. Соленоид содержит 800 витков. Площадь сечения сердечника 10 см^2 . По обмотке идет ток, создающий поле с индукцией 8 мТл . Определить среднее значение ЭДС самоиндукции, которая возникает на зажимах соленоида, если сила тока уменьшится до нуля за время $0,8 \text{ мс}$.
11. Рамка, содержащая 200 витков, может вращаться относительно оси, лежащей в её плоскости. Площадь рамки 5 см^2 . Ось рамки перпендикулярна линиям индукции однородного магнитного поля, величина которого равна $0,05 \text{ Тл}$. Определить максимальную ЭДС, которая индуцируется в рамке при ее вращении с частотой 40 с^{-1} .
12. Вычислить циркуляцию вектора индукции вдоль контура, охватывающего токи силой 10 А и 15 А , идущие в одном направлении, и ток силой 20 А , направленный в противоположную сторону.

Вариант 10

1. По проводнику, согнутому в виде прямоугольника с длиной сторон 8 и 12 см , идет ток силой 5 А . Определить индукцию магнитного поля в точке пересечения диагоналей прямоугольника.
2. В однородном магнитном поле, индукция которого равна 2 Тл , а направление горизонтальное, вертикально вверх движется прямой проводник массой 2 кг , по которому идет ток силой 4 А . Через 3 с после начала движения проводник имеет скорость 10 м/с . Определить его длину.
3. Магнитный поток сквозь сечение соленоида равен 50 мкВб . Длина соленоида 50 см . Найти магнитный момент соленоида, если его витки плотно прилегают друг к другу.
4. Виток, по которому течет ток силой 20 А , свободно установился в однородном магнитном поле с индукцией $0,016 \text{ Тл}$. Диаметр витка равен 10 см . Определить работу, которую нужно совершить, чтобы повернуть виток на угол $\pi/2$ относительно оси, совпадающей с диаметром.
5. Заряженная частица с энергией 10^3 эВ движется в однородном магнитном поле по окружности радиусом 1 мм . Определить силу, действующую на частицу со стороны поля.

6. По соленоиду идет ток силой 2 А. Магнитный поток, пронизывающий поперечное сечение соленоида, равен $4 \cdot 10^{-6}$ Вб. Определить индуктивность соленоида, если он имеет 800 витков.
7. Индуктивность соленоида с немагнитным сердечником равна 0,16 мГн. Длина соленоида 1 м, площадь сечения 1 см^2 . Сколько витков на каждый сантиметр длины содержит обмотка соленоида?
8. Определить индуктивность соленоида с железным сердечником и энергию магнитного поля в нем при силе тока 0,6 А, если площадь сечения соленоида 10 см^2 , число витков 10^3 , а его длина 20 см, (воспользоваться графиком $B=f(H)$, см. прил. 2).
9. Ток в соленоиде изменяется по закону $I=At-Bt^2$, где $A=10 \text{ А/с}$; $B=1 \text{ А/с}^2$. Определить ЭДС самоиндукции в соленоиде через 2 с. Длина соленоида 50 см, площадь сечения – 2 см^2 . Диаметр провода однослойной обмотки – 2 мм.
10. Квадратная рамка с длиной стороны 15 см, содержащая 150 витков, вращается в однородном магнитном поле вокруг оси, перпендикулярной полю. Определить индукцию магнитного поля, если рамка делает 10 оборотов в секунду, а максимальная ЭДС индукции в рамке равна 10 В.
11. Обмотка тороида с немагнитным сердечником содержит 10 витков на каждый сантиметр длины. Определить силу тока, если плотность энергии магнитного поля равна $0,8 \text{ Дж/м}^3$.
12. Вычислить циркуляцию вектора индукции вдоль контура, охватывающего токи силой 10 А; 14 А; 20 А, идущие в одном направлении, и ток силой 44 А, направленный в противоположную сторону.

ЧАСТЬ 3. ОПТИКА. АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

Задачи, приведенные в контрольных работах, соответствуют программе общего курса физики в техническом вузе и охватывают разделы «Волновая оптика», «Тепловое излучение», «Атомная физика» и «Ядерная физика».

В работе отсутствуют сведения, которые при необходимости могут быть найдены в учебных пособиях по курсу общей физики (см. библиографический список). Поэтому вначале помещен краткий перечень формул и законов, необходимых для решения задач.

В приложении приведены основные справочные данные, дополняющие условия задач. Номера вариантов, которые должен выполнить студент, указывает преподаватель.

3.1. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ И ЗАКОНЫ ОПТИКИ

3.1.1. Волновая оптика

Абсолютный показатель преломления среды: $n = \frac{c}{v}$,

где c и v - скорости электромагнитных волн (света) в вакууме и среде.

Закон преломления света на границе раздела двух сред с абсолютными показателями преломления n_1 и n_2 :

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21},$$

где i_1 - угол падения, i_2 - угол преломления луча света; n_{21} - относительный показатель преломления двух сред.

Полное отражение наблюдается при падении света из среды оптически более плотной (n_1) в среду оптически менее плотную (n_2), т.е. при $n_1 > n_2$. В

этом случае угол преломления $i_2 = \frac{\pi}{2}$ и $\sin i_2 = 1$:

$$\sin i_1 = \sin i_{\text{пр}} = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{и} \quad i_{\text{пр}} = \arcsin \frac{n_2}{n_1},$$

где $i_{\text{пр}}$ - предельный угол полного отражения света; при угле падения $i_1 > i_{\text{пр}}$ свет полностью отражается от границы раздела сред.

Формула тонкой собирающей линзы: $\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$,

где f - фокусное расстояние линзы; a - расстояние от предмета до оптического центра линзы; b - расстояние от оптического центра линзы до изображения предмета. Для тонкой рассеивающей линзы расстояния f и b считаются отрицательными.

Оптическая сила линзы: $\Phi = \frac{1}{f}$.

Оптическая длина пути световой волны: $L = Sn$,

где S - геометрический путь световой волны; n - абсолютный показатель преломления среды.

Оптическая разность хода двух когерентных световых волн: $\Delta = L_2 - L_1$,

где $L_1 = S_1 n_1$ и $L_2 = S_2 n_2$ - оптические пути световых волн в первой и во второй средах.

Разность фаз колебаний векторов напряженностей электрического поля (световых векторов) двух когерентных световых волн:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta,$$

где λ_0 - длина этих волн в вакууме.

Условия максимумов интенсивности света при интерференции:

$$\delta = \pm 2\pi k \quad \text{и} \quad \Delta = \pm k \lambda_0, \quad \text{где} \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Условия минимумов интенсивности света при интерференции:

$$\delta = \pm\pi(2k+1) \text{ и } \Delta = \pm(2k+1)\frac{\lambda_0}{2}, \text{ где } k = 0,1,2,3\dots$$

Координаты максимумов и минимумов интенсивностей света в интерференционной картине, полученной от двух когерентных источников:

$$x_{\max} = \pm k \frac{l}{d} \lambda_0 \text{ и } x_{\min} = \pm(2k+1) \frac{l}{d} \frac{\lambda_0}{2},$$

где l - расстояние от источников света до экрана; d - расстояние между источниками света; $k = 0,1,2,3\dots$

Ширина интерференционной полосы: $\Delta x_{\max} = \Delta x_{\min} = \frac{l}{d} \lambda_0$.

Оптическая разность хода двух световых волн, отраженных от верхней и нижней поверхностей плоскопараллельной тонкой пленки, находящейся в воздухе с абсолютным показателем преломления $n_0 = 1$:

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1} - \frac{\lambda_0}{2} = 2dn\cos i_2 - \frac{\lambda_0}{2},$$

где d - толщина пленки; n - абсолютный показатель преломления пленки; λ_0 - длина световых волн в воздухе (вакууме); i_1 и i_2 - углы, соответственно, падения и преломления света. Второе слагаемое в этих формулах учитывает увеличение оптической длины пути световой волны на $\frac{\lambda_0}{2}$ при отражении ее от среды оптически более плотной ($n > n_0$).

Радиусы светлых колец Ньютона в отраженном свете (темных колец в проходящем свете):

$$r_k = \sqrt{(2k-1)R\frac{\lambda_0}{2}} \text{ при } k = 1,2,3,\dots$$

и радиусы темных колец Ньютона в отраженном свете (светлых колец в проходящем свете):

$$r_k = \sqrt{kR\lambda_0} \text{ при } k = 1,2,3,\dots$$

где R - радиус кривизны линзы; λ_0 - длина световой волны в воздухе (вакууме), находящемся между линзой и стеклянной пластинкой.

Радиусы зон Френеля, построенных на сферической волновой поверхности:

$$r_k = \sqrt{\frac{ab}{a+b}k\lambda} \text{ при } k = 1,2,3,\dots,$$

где a - радиус сферической волновой поверхности точечного источника света; b - расстояние от волновой поверхности до точки наблюдения; λ - длина световой волны в данной среде.

Дифракция Фраунгофера на одной щели:

а) условие максимумов интенсивности света $a \sin \varphi = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2}$;

б) условие минимумов интенсивности света $a \sin \varphi = \pm 2k \frac{\lambda}{2}$,

где a - ширина щели; φ - угол дифракции, определяющий направление максимума или минимума интенсивности света; λ - длина световой волны в данной среде; $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

При падении параллельного пучка света на щель под углом φ_0 условие дифракционных максимумов имеет вид: $a(\sin \varphi - \sin \varphi_0) = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$.

Дифракция Фраунгофера на дифракционной решетке:

а) условие главных минимумов интенсивности света

$$a \sin \varphi = \pm 2k \frac{\lambda}{2} \text{ при } k = 1, 2, 3, \dots;$$

б) условие дополнительных минимумов интенсивности света

$$d \sin \varphi = \pm m \frac{\lambda}{N} \text{ при } m = 1, 2, \dots, N - 1, N + 1, \dots, 2N - 1, 2N + 1, \dots \text{ (} m \neq 0, N, 2N, \dots \text{)};$$

в) условие главных максимумов интенсивности света

$$d \sin \varphi = \pm 2k \frac{\lambda}{2} \text{ при } k = 0, 1, 2, 3, \dots,$$

где a - ширина одной щели; d - постоянная решетки; N - общее число щелей; φ - угол дифракции, определяющий направление максимума или минимума интенсивности света; λ - длина световой волны в данной среде; k - порядок спектра.

При падении параллельного пучка света на дифракционную решетку под углом φ_0 условие главных максимумов имеет вид: $d(\sin \varphi - \sin \varphi_0) = \pm 2k \frac{\lambda}{2}$.

Разрешающая способность дифракционной решетки:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta \lambda} = kN,$$

где λ и $(\lambda + \Delta \lambda)$ - длины двух световых волн, еще разрешаемых решеткой по критерию Рэлея; N - общее число щелей; k - порядок спектра.

При дифракции рентгеновских лучей на кристаллической решетке направления максимальных интенсивностей этих лучей определяются по формуле Вульфа-Брэггов:

$$2d \sin \vartheta = k\lambda \text{ при } k = 1, 2, 3, \dots,$$

где d - расстояние между параллельными кристаллографическими плоскостями; λ - длина волн рентгеновских лучей; ϑ - угол скольжения рентгеновских лучей.

3.1.2. Поляризация света

Интенсивность света численно равна энергии, переносимой электромагнитными волнами за единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную направлению распространения этих волн. Интенсивность электромагнитной волны пропорциональна квадрату амплитуды вектора \vec{E} напряженности электрического поля (амплитуды светового вектора): $I \sim E^2$.

Интенсивность света, являющегося совокупностью электромагнитных волн:

$$I = \sum_{k=1}^n I_k \sim \sum_{k=1}^n E_k^2 = \sum_{k=1}^n E_{kx}^2 + \sum_{k=1}^n E_{ky}^2,$$

где I_k и E_k - интенсивность и амплитуда вектора напряженности электрического поля k -той электромагнитной волны; E_{kx} и E_{ky} - проекции вектора напряженности электрического поля k -той электромагнитной волны на взаимно перпендикулярные оси координат Ox и Oy ; n - количество электромагнитных волн.

В естественном свете:

$$\frac{I_0}{2} \sim \sum_{k=1}^n E_{kx}^2 = \sum_{k=1}^n E_{ky}^2,$$

где I_0 - интенсивность естественного света.

После прохождения естественного света через первый поляризатор интенсивность полученного плоскополяризованного света:

$$I_1 = \frac{I_0}{2}, \text{ где } I_0 - \text{интенсивность естественного света.}$$

По закону Малюса интенсивность плоскополяризованного света, прошедшего через второй поляризатор (анализатор):

$$I_2 = I_1 \cos^2 \alpha = \frac{I_0}{2} \cos^2 \alpha,$$

где α - угол между оптическими осями первого и второго поляризаторов.

С учетом отражения и поглощения света в поляризаторах:

$$I_2 = I_1 (1 - \rho_1 - \rho_2)^2 \cos^2 \alpha = \frac{I_0}{2} (1 - \rho_1 - \rho_2)^2 \cos^2 \alpha,$$

где ρ_1 и ρ_2 - коэффициенты, соответственно, отражения и поглощения света в обоих поляризаторах.

Степень поляризации света:
$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}},$$

где I_{\max} и I_{\min} - максимальная и минимальная интенсивности света, пропускаемого поляризатором (анализатором).

Согласно закону Брюстера после падения естественного света на границу раздела двух сред под углом i_B отраженный луч является плоскополяризованным и перпендикулярным преломленному лучу. Из закона преломления следует,

что:
$$\operatorname{tg} i_B = \frac{n_2}{n_1} = n_{21},$$

где $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$ - относительный показатель преломления сред.

Контрольное задание №5

Вариант 1

1. Пучок солнечного света, пройдя через светофильтр и узкую щель в непрозрачной преграде, падал на вторую преграду с двумя узкими щелями, находящимися на расстоянии $d=1$ мм друг от друга. За преградой на расстоянии $\ell=1$ м располагался экран, на котором наблюдались интерференционные полосы. Ширина полосы Δx оказалась равной: а) 0,65 мм для красного света; б) 0,45 мм для синего света. Чему равна длина световой волны λ_0 красного и синего света?
2. На тонкую мыльную пленку ($n=1,33$) под углом 30° падает монохроматический свет с длиной волны 0,6 мкм. Найти угол между поверхностями пленки, если расстояние между интерференционными полосами в отраженном свете равно 4 мм.
3. Радиус кривизны плоско-выпуклой линзы 4 м. Чему равна длина волны падающего света, если радиус пятого светлого кольца в отраженном свете равен 3,6 мм?
4. Свет от монохроматического источника (длина волны 600 нм) падает нормально на непрозрачный экран с круглым отверстием. Определить, сколько зон Френеля укладывается в отверстие, если диаметр отверстия равен 3 мм. Дифракционная картина наблюдается на расстоянии 2 м от экрана с отверстием.
5. На щель шириной 0,1 мм нормально падает параллельный пучок света от монохромного источника ($\lambda=0,6$ мкм). Определить ширину центрального максимума на экране, удаленном от щели на расстоянии 1 м.
6. Определить длину волны монохроматического света, падающего нормально на решетку с периодом 2,2 мкм, если угол между максимумами первого и второго порядка 15° .
7. Определите степень поляризации частично поляризованного света, если амплитуда светового вектора, соответствующая максимальной интенсивности света, в 3 раза больше амплитуды, соответствующей его минимальной интенсивности.
8. При падении естественного света на некоторый поляризатор проходит 30% светового потока, а через два таких поляризатора 13,5%. Найти угол φ между плоскостями пропускания этих поляризаторов.
9. Пластина кварца толщиной 3 мм (удельное вращение 15 град/мм), вырезанная перпендикулярно оптической оси, помещена между двумя скрещенными николями. Пренебрегая в николях потерями света, определить, во сколько раз уменьшится интенсивность света, прошедшего эту систему.

Вариант 2

1. Плоская монохроматическая световая волна падает нормально на диафрагму с двумя узкими щелями, отстоящими друг от друга на $d = 2,5$ мм. На экране, расположенном за диафрагмой на расстоянии $\ell = 1$ м, образуется система интерференционных полос. На какое расстояние и в какую сторону сместятся эти полосы, если одну из щелей перекрыть стеклянной пластинкой толщиной $h = 10$ мкм?
2. На стеклянную пластинку (показатель преломления $n = 1,6$) нанесена прозрачная пленка (показатель преломления $n_2 = 1,4$). На пленку нормально падает свет с длиной волны 700 нм. Какова наименьшая толщина пленки, при которой интенсивность отраженного света минимальна?
3. Расстояние между 5-м и 25-м кольцами Ньютона равно 9 мм. Радиус кривизны линзы 15 м. Определить длину волны монохроматического света, падающего нормально на установку. Наблюдение ведется в отраженном свете.
4. Точечный источник света с длиной волны 500 нм расположен на расстоянии 1 м перед диафрагмой с круглым отверстием радиусом 1 мм. Определить расстояние от диафрагмы до точки наблюдения, для которой число зон Френеля в отверстии составляет 3 .
5. На непрозрачную пластину с узкой щелью нормально падает монохроматический свет. Угол отклонения лучей, соответствующих третьей световой полосе, равен 3° . Скольким длинам волн падающего света равна ширина щели?
6. Дифракционная решётка освещается белым светом. При этом начиная со спектров второго и третьего порядков наблюдается частичное их перекрывание. На какую длину волны в спектре третьего порядка накладывается красная линия (длина волны 700 нм) спектра второго порядка?
7. Определите степень поляризации света, который представляет собой смесь естественного света с плоскополяризованным, если интенсивность поляризованного света в 5 раз больше интенсивности естественного.
8. Два николя расположены так, что угол между их плоскостями пропускания равен 60° . Во сколько раз уменьшится интенсивность света при прохождении через один николь? Во сколько раз уменьшится интенсивность света при прохождении через оба николя? При прохождении каждого николя потери на отражение и поглощение составляют 5% .
9. Луч света, падающий на поверхность раствора, частично отражается, частично преломляется. Определить показатель преломления раствора, если отраженный луч полностью поляризуется при угле преломления, равном 30° .

Вариант 3

1. Расстояние между двумя когерентными источниками света с $\lambda=0,5$ мкм равно 0,1 мм. Расстояние Δx между интерференционными полосами на экране равно 1 см. Определить расстояние от источника до экрана.
2. На стеклянный клин ($n=1,5$) нормально падает монохроматический свет. Угол клина $4'$. Определить длину световой волны, если расстояние между двумя соседними интерференционными максимумами в отраженном свете равно 0,2 мм.
3. Плоско-выпуклая линза, радиус кривизны которой равен 1 м, лежит выпуклой поверхностью на стеклянной пластинке. Пространство между линзой и пластинкой заполнено жидкостью. При наблюдении в проходящем свете ($\lambda=700$ нм) радиус восьмого темного кольца Ньютона оказался равным 2 мм. Определить показатель преломления жидкости.
4. Вычислить радиус пятой зоны Френеля для плоского волнового фронта ($\lambda=500$ нм), если построение делается для точки наблюдения, находящейся на расстоянии 1 м от фронта волны.
5. На узкую щель нормально падает параллельный пучок монохроматического света. Дифракционная картина, даваемая щелью, наблюдается на экране с помощью линзы. Как надо изменить ширину щели, чтобы центральная светлая полоса уменьшилась в 2 раза?
6. На дифракционную решетку нормально падает монохроматический свет. Под каким углом наблюдается максимум второго порядка, если известно, что угол между максимумами первого и второго порядка равен 8° ?
7. Определите степень поляризации света, который представляет собой смесь естественного света с плоскополяризованным, если интенсивность поляризованного света равна интенсивности естественного.
8. Во сколько раз ослабляется интенсивность света, проходящего через два николя, плоскости пропускания которых образуют угол 30° , если в каждом из николей в отдельности теряется 10% интенсивности падающего на него света?
9. Угол полной поляризации при отражении света от кристалла равен 70° . Определить скорость распространения света в этом кристалле.

Вариант 4

1. На пути одного из интерферирующих лучей помещается стеклянная пластинка толщиной $h=12$ мкм. Определить, на сколько полос сместится интерференционная картина, если показатель преломления стекла $n=1,5$, длина волны $\lambda=750$ нм и свет падает на пластинку нормально.
2. Плоская световая волна длиной λ_0 в вакууме падает по нормали на прозрачную пластинку с показателем преломления n . При каких толщинах в пластинке отраженная волна будет иметь: а) максимальную; б) минимальную интенсивность?
3. Найти радиус второго светлого кольца Ньютона, если между линзой и пластинкой налит бензол (показатель преломления которого 1,6). Радиусы кри-

визны материала линзы и пластинки одинаковы и равны 1,5. Наблюдение ведется в проходящем свете с длиной волны 589 нм.

4. Плоская монохроматическая световая волна падает нормально на круглое отверстие. На расстоянии 9 м от него находится экран, где наблюдают дифракционную картину. Диаметр отверстия уменьшили в 3 раза. Определить новое расстояние, на котором надо поместить экран, чтобы получить на нём дифракционную картину, подобную той, что в предыдущем случае, но уменьшенную в 3 раза.
5. На щель нормально падает параллельный пучок монохроматического света. Длина волны падающего света укладывается в ширине щели 5 раз. Определить ширину нулевого максимума в дифракционной картине, проецируемой линзой на экран, отстоящий от линзы на расстоянии 1 м.
6. Сколько штрихов на каждый миллиметр содержит дифракционная решетка, если при наблюдении в монохроматическом свете ($\lambda=0,6$ мкм) максимум пятого порядка отклонен на угол 18° ?
7. Степень поляризации частично поляризованного света составляет 0,75. Определите отношение максимальной интенсивности света, пропускаемого анализатором, к минимальному.
8. Анализатор в 2 раза уменьшает интенсивность света, приходящего к нему от поляризатора. Определить угол между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора. Потерями интенсивности света в анализаторе пренебречь.
9. Пластина кварца толщиной 2 мм, вырезанная перпендикулярно оптической оси кристалла, поворачивает плоскость поляризации монохроматического света определенной длины волны на угол 30° . Определить толщину кварцевой пластинки, помещенной между параллельными николями, чтобы данный монохроматический свет гасился полностью.

Вариант 5

1. На пути световой волны, идущей в воздухе, поставили стеклянную пластинку толщиной $h=1$ мм. На сколько изменится оптическая длина пути, если волна падает на пластинку: а) нормально; б) под углом 30° ?
2. Стеклянная пластинка покрыта с обеих сторон пленкой прозрачного вещества. Для света с длиной волны в вакууме $\lambda_0=480$ нм показатель преломления пластинки $n_2=1,44$, показатель преломления пленки $n_1=1,2$, показатель преломления воздуха $n_0=1$. При какой минимальной толщине пленок свет указанной длины волны будет проходить через пластинку без потерь на отражение?
3. Плоско-выпуклая линза с радиусом сферической поверхности $R=12,5$ см прижата к стеклянной пластинке. Диаметр десятого темного кольца Ньютона в отраженном свете равен 1 мм. Найти длину волны света.

4. Фазовая зонная пластинка изготовлена из материала с показателями преломления $n=1,5$. Какой минимальной высоты h должны быть выступы над четными (или нечетными) зонами пластинки для длины волны $\lambda_0=580$ нм?
5. На щель падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны λ . Ширина щели 6λ . Под каким углом будет наблюдаться 3-й дифракционный минимум света? 3-й дифракционный максимум?
6. На дифракционную решетку, содержащую 400 штрихов на 1 мм, падает нормально монохроматический свет ($\lambda=0,6$ мкм). Определить общее число дифракционных максимумов, которые даст эта решетка и угол дифракции, соответствующий последнему максимуму.
7. На николю падает частично поляризованный свет. При некотором положении николя интенсивность света, прошедшего через него, стала минимальной. Когда плоскость пропускания николя повернули на угол 45° , интенсивность света возросла в 1,5 раза. Определить степень поляризации света.
8. Угол между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора равен 45° . Во сколько раз уменьшится интенсивность света, выходящего из анализатора, если угол увеличить до 60° ?
9. Определить массовую концентрацию сахарного раствора, если при прохождении света через трубку длиной $l=206$ см с этим раствором плоскость поляризации света поворачивается на угол 10° . Удельное вращение сахара равно $1,17 \cdot 10^{-2}$ рад $\text{м}^2/\text{кг}$ ($1^\circ=1,75 \cdot 10^{-2}$ рад).

Вариант 6

1. В опыте Юнга вначале берется источник света с длиной волны $\lambda_1=600$ нм, а затем λ_2 . Какова длина волны во втором случае, если 7-я светлая полоса в первом случае совпадает с 10-й темной во втором случае?
2. Найти минимальную толщину пленки с показателем преломления 1,33, при которой свет с длиной волны 0,64 мкм испытывает максимальное отражение, а свет с длиной волны 0,4 мкм не отражается совсем. Угол падения равен 30° .
3. Плоско-выпуклая линза с показателем преломления 1,6 выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. Радиус третьего светлого кольца в отраженном свете ($\lambda=0,6$ мкм) равен 0,9 мм. Найти радиус кривизны линзы.
4. Радиус четвертой зоны Френеля для плоского фронта равен 3 мм. Определить радиус шестой зоны Френеля.
5. На щель шириной 0,2 мм падает нормально монохроматический свет с длиной волны 0,64 мкм. Определить угол отклонения лучей, соответствующих первой световой дифракционной полосе.
6. Дифракционная решетка содержит 200 штрихов на 1 мм. На решетку падает нормально монохроматический свет ($\lambda=0,5$ мкм). Максимум какого наибольшего порядка дает эта решетка?
7. Естественный свет пропускают через два одинаковых поставленных один за другим несовершенных поляризатора. Интенсивность прошедшего через

эту систему света при параллельных плоскостях поляризаторов (I_{\parallel}) превышает интенсивность при взаимно перпендикулярных плоскостях (I_{\perp}) в 9,53 раза. Определить степень поляризации, обуславливаемую системой при параллельных плоскостях поляризаторов.

8. Пучок естественного света падает на пластину из 6 николей, плоскость пропускания каждого из которых повернута на угол 30° относительно плоскости пропускания предыдущего николя. Какая часть светового потока проходит через эту систему?
9. Пучок естественного света падает на поляризованную поверхность стеклянной пластины, погруженной в жидкость. Отраженный от плоскости пучок света составляет угол 97° с падающим пучком. Определить показатель преломления жидкости, если отраженный свет полностью поляризован.

Вариант 7

1. Когерентные пучки, длина волны которых в вакууме 500 нм, приходят в некоторую точку с геометрической разностью хода 1 мкм. Определить, максимум или минимум наблюдается в этой точке, если пучки проходят в воздухе ($n_{\text{возд}}=1$), скипидаре ($n_{\text{ск}}=1,5$) и стекле ($n_{\text{ст}}=1,75$).
2. На тонкую прозрачную плоскопараллельную пластинку ($n=1,5$) под углом 50° падает белый свет. Определить толщину пленки, при которой она в проходящем свете будет казаться красной ($\lambda=670$ нм).
3. Плоско-выпуклая стеклянная линза с радиусом кривизны сферической поверхности $R=12,5$ см прижата к стеклянной пластинке. Диаметры для m -го и пятнадцатого темных колец Ньютона в отраженном свете равны $d_1=1$ мм и $d_2=1,5$ мм. Найти длину волны света.
4. Рассчитать площадь одной зоны Френеля для сферического фронта волны света, падающего нормально на круглое отверстие в непрозрачном экране.
5. На щель падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны λ . Ширина щели 6λ . Под каким углом будет наблюдаться 3-й дифракционный минимум света?
6. Период дифракционной решетки $d=0,005$ мм. Определить число наблюдаемых главных максимумов в спектре дифракционной решетки, если: 1) $\lambda_1=760$ мкм; 2) $\lambda_2=400$ нм.
7. Естественный свет пропускают через два одинаковых поставленных один за другим несовершенных поляризатора. Интенсивность прошедшего через эту систему света при параллельных плоскостях поляризаторов (I_{\parallel}) превышает интенсивность при взаимно перпендикулярных плоскостях (I_{\perp}) в 9,53 раза. Определить степень поляризации света, прошедшего только через один из поляризаторов.
8. Угол между плоскостями поляризатора и анализатора 60° . Естественный свет, проходя через такую систему, ослабляется в 10 раз. Пренебрегая потерей света при отражении, определить коэффициент поглощения в поляроидах.

9. Пучок света, идущий в воздухе, падает на поверхность жидкости под углом 54° . Определить угол преломления пучка, если отраженный луч полностью поляризован.

Вариант 8

1. На пути одного из лучей интерференционного рефрактометра поместили трубку, в которой создан вакуум, длиной 10 см. При заполнении трубки аммиаком интерференционная картина сместилась на 17 полос. Определить показатели преломления аммиака, если наблюдение производится в монохроматическом свете с длиной волны 589 нм.
2. На тонкую пленку ($n=1,33$) падает пучок белого света. Угол падения $\alpha=52^\circ$. При какой толщине пленки зеркально отраженный свет будет наиболее сильно окрашен в желтый цвет ($\lambda=0,6$ мкм)?
3. Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом. Наблюдение ведется в отраженном свете. Радиусы двух соседних темных колец равны соответственно 4 мм и 4,38 мм. Радиус кривизны линзы равен 6,4 м. Определить порядковые номера и длину волны падающего света.
4. Вычислить радиусы первых пяти зон Френеля, если расстояние от источника света до волновой поверхности равно 1 м. Расстояние от волновой поверхности до точки наблюдения равно 1 м, длина световой волны равна $5 \cdot 10^{-7}$ м.
5. Пятый минимум при освещении щели светом с длиной волны 500 нм наблюдается под углом 30° . Какова ширина щели?
6. Свет с длиной волны 535 нм падает нормально на дифракционную решетку. Определить ее период, если одному из максимумов соответствует угол дифракции 35° и наибольший порядок спектра равен пяти.
7. На пути частично поляризованного света поместили николю. При повороте николя на угол 60° из положения, соответствующего максимальному пропусканию света, интенсивность прошедшего света уменьшилась в 3 раза. Найти степень поляризации света.
8. Чему равен угол между главными плоскостями двух николей, если после прохождения через них интенсивность лазерного луча уменьшилась в 3 раза?
9. Пучок естественного света, идущий в воде, отражается от грани алмаза ($n_{ал}=2,42$), погруженного в воду ($n_в=1,5$). При каком угле падения отраженный луч полностью поляризован?

Вариант 9

1. На пути одного из интерферирующих лучей помещена тонкая стеклянная пластинка, вследствие чего центральная светлая полоса смещается в положение, первоначально занимаемое 6-й светлой полосой (не считая центральной). Луч падает на пластинку нормально. Показатель преломления пластинки 1,5, длина волны 550 нм. Какова толщина пластинки?

2. Какой должна быть толщина пластинки с показателем преломления 1,6, если с её введением на пути одного из интерферирующих лучей картина смещается на четыре полосы? Длина волны света $\lambda=550$ нм.
3. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны равной 550 нм, падающим нормально. Определить толщину воздушного зазора, образованного плоскопараллельной пластинкой и соприкасающейся с ней плоско-выпуклой линзой в том месте, где в отраженном свете наблюдается четвертое темное кольцо.
4. Точечный источник света с $\lambda=500$ нм помещен на расстоянии $a=0,5$ м перед непрозрачной преградой с отверстием радиусом $r=0,5$ мм. Определить расстояние b от преграды до точки, для которой число m открываемых зон Френеля будет равно: а) 1; б) 5.
5. Зеленый свет с длиной волны 500 нм падает на щель шириной 8 мкм. Определить, под какими углами наблюдается первый и второй минимум.
6. При нормальном падении света на дифракционную решетку угол дифракции для линии $\lambda_1=0,65$ мкм во втором порядке равен 45° . Определить угол дифракции для линии $\lambda_2=0,5$ мкм в третьем порядке.
7. Степень поляризации частично поляризованного света равна 0,5. Во сколько раз отличается максимальная интенсивность света, пропускаемого через анализатор, от минимального?
8. Чему равен угол между главными плоскостями двух николей, если после прохождения через них света его интенсивность уменьшилась в 6 раз?
9. На какой угловой высоте над горизонтом должно быть Солнце, чтобы солнечный свет, отраженный от поверхности воды, был полностью поляризован.

Вариант 10

1. Найти длину отрезка ℓ_1 , на котором укладывается столько же длин волн монохроматического света в вакууме, сколько их укладывается на отрезке $\ell_2=5$ мм в стекле. Показатель преломления стекла 1,5.
2. Пучок параллельных лучей с длиной волны 0,6 мкм падает под углом 30° на мыльную пленку с коэффициентом преломления 1,3. При какой наименьшей возможной толщине пленки отраженные лучи будут максимально ослаблены интерференцией?
3. Во сколько раз возрастает радиус m -го кольца Ньютона при увеличении длины световой волны в 1,5 раза?
4. Вычислить радиус третьей зоны Френеля при условии, что на данную пластину падает плоская волна, а расстояние от пластины до точки наблюдения равно 1 м. Длина волны 500 нм.
5. На пластину с щелью шириной 0,1 мм падает нормально монохроматический свет с длиной волны 0,6 мкм. Определить расстояние между минимумами первого порядка, если экран удален от щели на расстояние 2 м.

6. В спектре, даваемом дифракционной решеткой с периодом $d=2300$ нм, видны при $\lambda=500$ нм только два максимума (кроме центрального). Какова ширина щели этой решетки?
7. Степень поляризации частично поляризованного света $P=0,25$. Определить отношение интенсивности поляризованной составляющей этого света к интенсивности естественной составляющей.
8. Естественный свет проходит через систему из двух одинаковых поляризаторов, угол между главными плоскостями которых равен 60° . Определить коэффициент поглощения света в каждом поляризаторе, если известно, что интенсивность света, прошедшего систему, уменьшается в 32 раза.
9. Предельный угол полного внутреннего отражения пучка света на границе жидкости с воздухом равен 43° . Определить угол Брюстера при падении луча из воздуха на поверхность этой жидкости.

3.2. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ И ЗАКОНЫ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, АТОМНОЙ И ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

3.2.1. Тепловое излучение

Спектральная плотность энергетической светимости (излучательности) тела численно равна мощности излучения с единицы площади поверхности тела в интервале длин волн единичной ширины:

$$R_{\lambda,T} = \frac{dW_{\lambda,\lambda+d\lambda}^{\text{изл}}}{d\lambda},$$

где T - термодинамическая температура тела; $dW_{\lambda,\lambda+d\lambda}^{\text{изл}}$ - энергия электромагнитных волн, излучаемых за единицу времени с единицы площади поверхности тела в интервале длин волн от λ до $\lambda+d\lambda$.

Интегральная энергетическая светимость (излучательность) тела численно равна мощности излучения с единицы площади поверхности тела во всем интервале длин волн от нуля до бесконечности:

$$R_T = \int_0^{\infty} R_{\lambda,T} d\lambda.$$

Спектральная поглощательная способность тела равна отношению мощности $dW_{\lambda,\lambda+d\lambda}^{\text{погл}}$ электромагнитных волн, поглощаемых телом, к мощности $dW_{\lambda,\lambda+d\lambda}$ электромагнитных волн, падающих на единицу площади поверхности этого тела в интервале длин волн от λ до $\lambda+d\lambda$:

$$A_{\lambda,T} = \frac{dW_{\lambda,\lambda+d\lambda}^{\text{погл}}}{dW_{\lambda,\lambda+d\lambda}}.$$

Для абсолютно черного тела: $A_{\lambda,T} = 1$. Для серого тела: $A_{\lambda,T} = A_T = \text{const} < 1$.

Согласно закону Кирхгофа для любого тела:

$$\frac{R_{\lambda,T}}{A_{\lambda,T}} = r_{\lambda,T},$$

где $A_{\lambda,T}$ - спектральная поглотительная способность тела; $R_{\lambda,T}$ и $r_{\lambda,T}$ - спектральные плотности энергетических светимостей, соответственно, данного тела и абсолютно черного тела.

Закон Стефана-Больцмана для излучательности абсолютно черного тела:

$$R_T^e = \sigma T^4,$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ - постоянная Стефана-Больцмана.

Излучательность серого тела:

$$R_T = A_T \sigma T^4.$$

Первый закон Вина устанавливает связь между длиной волны λ_{max} , на которую приходится максимальная спектральная плотность энергетической светимости абсолютно черного тела, и термодинамической температурой T этого тела:

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{C_1}{T}, \text{ где } C_1 = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}.$$

Согласно второму закону Вина максимальная плотность энергетической светимости абсолютно черного тела:

$$r_{\lambda,T}^{\text{max}} = C_2 T^5, \text{ где } C_2 = 1,29 \cdot 10^{-5} \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}^5).$$

Соотношение между спектральными плотностями энергетической светимости абсолютно черного тела для длин и частот электромагнитных волн:

$$r_{\lambda,T} = \frac{c}{\lambda^2} r_{\nu,T},$$

где c - скорость света в вакууме.

Формула Планка для спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела:

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad \text{или} \quad r_{\lambda,T} = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1},$$

где h - постоянная Планка ($h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$); k - постоянная Больцмана; T - термодинамическая температура; e - основание натурального логарифма.

Энергия кванта электромагнитного излучения (фотона):

$$\varepsilon_0 = h\nu, \quad \text{где } \nu - \text{частота электромагнитных колебаний.}$$

3.2.2. Атомная физика

Масса и импульс фотона:

$$m = \frac{h\nu}{c^2} \quad \text{и} \quad p = \frac{h\nu}{c},$$

где c - скорость света в вакууме.

Давление света: $P = \frac{W}{c}(1 + \rho)$,

где W - энергия света, падающего на единицу площади поверхности за единицу времени; ρ - коэффициент отражения света.

Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта:

$$h\nu = A + \frac{m_e v_{\max}^2}{2},$$

где $h\nu$ - энергия кванта электромагнитного излучения (фотона); A - работа, совершаемая электроном при выходе из металла; m_e - масса электрона; v_{\max} - максимальная скорость электрона, покинувшего металл. Минимальная частота, при которой еще наблюдается фотоэффект (красная граница фотоэффекта):

$$\nu_{\text{кр}} = \frac{A}{h}.$$

Задерживающее напряжение U_3 , при котором электрон, покинувший катод, уже не может достигнуть анода, определяется равенством:

$$eU_3 = \frac{m_e v_{\max}^2}{2},$$

где e - заряд электрона.

Длина волны де Бройля, сопутствующая частицы массой m :

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mT}},$$

где h - постоянная Планка; $p = m\nu$ - импульс частицы; T - кинетическая энергия частицы.

Согласно первому постулату Бора движение электрона вокруг ядра возможно только по определенным стационарным орбитам, радиусы которых удовлетворяют соотношению: $m_e v_n r_n = n\hbar$,

где n - порядковый номер орбиты (главное квантовое число); r_n - радиус n -ой орбиты; m_e и v_n - масса и скорость электрона; $m_e v_n r_n$ - модуль орбитального

момента импульса электрона; $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ - постоянная Планка, деленная на 2π .

Радиус n -ой стационарной орбиты электрона в атоме водорода:

$$r_n = n^2 \frac{\hbar^2 \cdot 4\pi\epsilon_0}{m_e e^2},$$

где ϵ_0 - электрическая постоянная; m и e - масса и заряд электрона.

Согласно второму постулату Бора при переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую излучается (поглощается) один фотон с энергией:

$$h\nu = E_n - E_m,$$

где E_n и E_m - полная механическая энергии электрона в стационарных состояниях с номерами орбит n и m .

Полная механическая энергия электрона, массой m_e , находящегося на n -ой орбите в атоме водорода:

$$E_n = \frac{m_e v_n^2}{2} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n} = -\frac{1}{2} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n} = -\frac{1}{n^2} \frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2},$$

где $n = 1, 2, 3, \dots$

При переходе электрона из стационарного состояния n в стационарное состояние m с меньшей энергией испускается квант электромагнитного излучения:

$$h\nu = E_n - E_m = \frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right).$$

Сериальная формула, определяющая частоту волны света, излучаемого или поглощаемого атомом водорода при переходе электрона с одной орбиты на другую:

$$\nu = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

где $R = \frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2}$ - постоянная Ридберга ($R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1}$); $m = 1, 2, 3, \dots$; $n = m + 1$.

Соотношения неопределенностей координат и проекций импульсов микрочастицы:

$$\Delta x \Delta p_x \geq h, \quad \Delta y \Delta p_y \geq h, \quad \Delta z \Delta p_z \geq h,$$

т.е. произведение неопределенностей координаты и соответствующей ей проекции импульса не может быть меньше постоянной Планка.

Соотношение неопределенностей энергии ΔE микрочастицы и ее времени пребывания Δt в некотором состоянии:

$$\Delta E \Delta t \geq h.$$

3.2.3. Ядерная физика

Атомное ядро обозначается тем же символом, что и нейтральный атом: ${}^A_Z X$, где X - символ химического элемента; Z - атомный номер (число протонов в ядре); A - массовое число, которое равно сумме количеств протонов и нейтронов в ядре.

Число ядер dN , распавшихся за интервал времени от t до $(t+dt)$, пропорционально промежутку времени dt и числу N нераспавшихся ядер к моменту времени t : $dN = -\lambda N dt$, где λ - постоянная распада данного химического элемента.

Закон радиоактивного распада ядер: $N = N_0 e^{-\lambda t}$,

где N_0 - число нераспавшихся ядер в момент времени $t=0$; N - число нераспавшихся ядер в момент времени t ; e - основание натурального логарифма.

Число ядер, распавшихся в течение времени t : $\Delta N = N_0 - N = N_0(1 - e^{-\lambda t})$.

Период полураспада $T_{1/2}$ - время, в течение которого число нераспавшихся ядер в среднем уменьшается в два раза:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}.$$

Среднее время τ жизни радиоактивного ядра - промежуток времени, за который число нераспавшихся ядер уменьшается в e раз: $\tau = \frac{1}{\lambda}$.

Число ядер (атомов), содержащихся в радиоактивном изотопе:

$$N = \frac{m}{M} N_A,$$

где m - масса изотопа; M - молярная масса изотопа; N_A - число Авогадро.

Активностью нуклида (изотопа) в радиоактивном источнике называется число распадов ядер, происходящих в образце в 1 секунду: $A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N$.

Активность изотопа изменяется со временем по тому же закону, что и число нераспавшихся ядер:

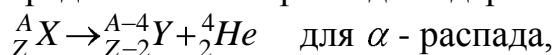
$$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t},$$

где A_0 - активность изотопа в момент времени $t=0$.

Удельная активность изотопа: $a = \frac{A}{m} = \frac{\lambda N_A}{M}$,

где m - масса изотопа; M - молярная масса изотопа.

Правила смещения радиоактивных распадов ядер:



где ${}^4_2 He$ - ядро гелия (α -частица); ${}^0_{-1} e$ - электрон; ${}^0_{+1} e$ - позитрон. Правила смещения являются следствием двух законов сохранения: массы частиц (массового числа A) и электрического заряда (зарядового числа Z).

Масса покоя m_0 системы взаимодействующих частиц меньше суммы масс покоя $\sum_{i=1}^n m_{0i}$ тех же частиц, находящихся в свободном состоянии. Дефектом

массы системы частиц называется разность указанных масс: $\Delta m = \sum_{i=1}^n m_{0i} - m_0$.

$$\Delta m = Z m_p + (A - Z) m_n - m_{\text{я}},$$

где m_p - масса протона; m_n - масса нейтрона; $m_{\text{я}}$ - масса ядра.

Энергия, которую необходимо затратить, чтобы расщепить ядро на отдельные нуклоны, называется энергией связи ядра:

$$E_{\text{св}} = \Delta m c^2 = Z m_p + (A - Z) m_n - m_{\text{я}} c^2,$$

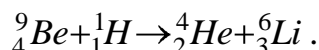
где c - скорость света в вакууме. Если энергия связи выражена в мегаэлектрон-вольтах, а массы нуклонов и ядра - в атомных единицах массы, то $c^2 = 931,4$ МэВ/а.е.м.

Удельная энергия связи (энергия связи на один нуклон): $E_{уд} = \frac{E_{св}}{A}$.

Символическая запись ядерной реакции: $X(a,b)Y$,

где X и Y - исходное и конечное ядра; a и b - бомбардирующая и испускаемая частицы.

Символическая запись ядерной реакции может быть дана в развернутом виде, например:



Энергия ядерной реакции: $Q = (m_1 + m_2) - (m_3 + m_4) c^2$,

где $(m_1 + m_2)$ и $(m_3 + m_4)$ - суммы масс атомных ядер, соответственно, до и после реакции. В эту формулу можно подставлять массы атомов, поскольку до и после реакции общее количество электронов в оболочках атомов одинаково и поэтому массы электронов исключаются.

Если $Q > 0$, то ядерная реакция идет с выделением энергии. Если же $Q < 0$, то ядерная реакция идет с поглощением энергии.

Контрольное задание №6

Вариант 1

1. При нагревании абсолютно черного тела длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности электрической светимости, изменилась с 0,69 мкм до 0,5 мкм. Во сколько раз увеличилась при этом энергетическая светимость тела?
2. Электрическая печь потребляет мощность $P=500$ Вт. Температура её внутренней поверхности при открытом небольшом отверстии диаметром $d=5$ см равна 700°C . Какая часть потреблённой мощности рассеивается стенками?
3. Чему равна максимальная скорость фотоэлектрона, вырываемого с поверхности платины излучением с длиной волны 50 нм? Работа выхода электронов из платины равна 5,29 эВ.
4. Найти длину волны фотона в нм при переходе электрона с боровской орбиты номер 5 на орбиту номер 3 в водородоподобном ионе с $Z=5$.
5. Вычислить потенциальную энергию электрона в водородоподобном ионе с $Z=6$, если ион находится в возбуждённом состоянии с главным квантовым числом 7.
6. Какую энергию необходимо дополнительно сообщить протону, чтобы его дебройлевская длина волны уменьшилась от 0,2 до 0,1 нм?

7. Электрон находится в атоме водорода в состоянии $1S$. Сколько различных значений может принимать проекция орбитального момента импульса этого электрона на некоторое направление?
8. Какой элемент превращается в радиоактивный изотоп ${}^8_3\text{Li}$ после одного β - и одного α -распада?
9. Вычислить дефект массы, энергию связи ядра изотопа ${}^{235}_{92}\text{U}$.
10. Масса радиоактивного изотопа натрия 24 равна 15 мкг, а период полураспада – 13 лет. Определить активность этого изотопа.
11. Реактор мощностью 100 МВт производит плутоний ${}^{239}_{94}\text{Pu}$. Исходя из того, что в среднем при одном акте деления ядра ${}^{235}_{92}\text{U}$ возникает 1,5 ядра ${}^{239}_{94}\text{Pu}$. Сколько при этом образуется плутония в течение 10 дней.

Вариант 2

1. Температура абсолютно черного тела изменилась от 1000 К до 3000 К. Во сколько раз увеличилась при этом энергетическая светимость? На сколько изменилась при этом длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости? Во сколько раз увеличилась его максимальная спектральная плотность энергетической светимости?
2. Вольфрамовая нить накаливается в вакууме силой тока 1 А до температуры $T_1=1000$ К. При какой силе тока нить накалится до температуры $T_2=3000$ К? Коэффициенты излучения вольфрама и его удельные сопротивления, соответствующие температурам T_1 и T_2 , равны: $a_1=0,115$; $a_2=3,34$; $\rho_1=2,57 \cdot 10^{-8}$ Ом·м; $\rho_2=96,2 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.
3. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла соответствует длине волны 237 нм. Определить максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов, вырываемых квантами излучения с длиной волны 53 нм.
4. Определить длину волны 3-й линии серии Бальмера в спектре атома водорода. Ответ дать в нм.
5. На атом водорода падает фотон и выбивает электрон с кинетической энергией 2 эВ. Вычислить энергию падающего фотона, если атом водорода находится в состоянии с квантовым числом 2.
6. Линейный ускоритель ускоряет протоны до энергии 200 кэВ. Определить длину волны де Бройля этих протонов.
7. Найти значение проекции собственного магнитного момента на ось z для электрона, находящегося в p -состоянии.
8. Два ядра гелия ${}^4_2\text{He}$ слились в одно ядро, и при этом был выброшен протон. Укажите, ядро какого элемента образовалось в результате такого превращения.
9. Удельная энергия связи ядра изотопа железа (массовое число 58) равна 8,79 МэВ. Найти дефект массы ядра этого изотопа. Ответ дать с точностью до 0,01 а.е.м.
10. Активность препарата уменьшилась в 250 раз. Скольким периодам полураспада T равен прошедший промежуток времени?

11. Сколько ядер урана ${}_{92}\text{U}^{235}$ должно делиться в 1 секунду, чтобы тепловая мощность ядерного реактора была равна 1 МВт?

Вариант 3

1. Абсолютно черное тело находится при температуре $T_1=2900$ К. В результате остывания этого тела длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, изменилась на $\Delta\lambda=9$ мкм. До какой температуры охладилось тело?
2. Мощность излучения абсолютно черного тела равна 10 кВт. Найти величину излучающей поверхности тела, если известно, что длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, равна $7\cdot 10^{-5}$ см.
3. Медный шарик, удаленный от других тел, облучают монохроматическим излучением с длиной волны 116 нм. До какого максимального потенциала зарядится шарик, теряя фотоэлектроны? Работа выхода электронов из меди равна 4,47 эВ.
4. Максимальная длина волны спектральной водородной линии серии Лаймана равна 0,12 мкм. Предполагая, что постоянная Ридберга неизвестна, определите максимальную длину волны линии серии Бальмера.
5. Найти полную энергию электрона в электрон-вольтах на боровской орбите номер 4 водородоподобного иона с $Z=4$.
6. Определить длину волны де Бройля, соответствующую электрону с энергией 10^5 эВ.
7. Какое максимальное количество электронов в атоме может находиться в состоянии, описываемом набором трех квантовых чисел: главным, орбитальным и магнитным?
8. Ядро бериллия ${}_{11}^7\text{Be}$ захватило электрон из к-оболочки атома. Какое ядро образовалось в результате к-захвата?
9. Вычислить энергию ядерной реакции ${}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$
10. Найти промежуток времени (в годах), в течение которого активность стронция уменьшится в 128 раз. Период полураспада стронция принять равным 28 годам.
11. Сколько энергии можно получить при расщеплении 1 г урана ${}_{92}\text{U}^{235}$, если при расщеплении каждого ядра урана выделяется энергия 200 МэВ?

Вариант 4

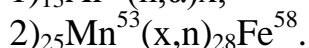
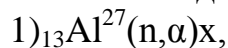
1. Температура абсолютно черного тела изменилась при нагревании от 1000 К до 2000 К. Во сколько раз увеличился максимум спектральной плотности энергетической светимости?
2. Вольфрамовая нить накаливается в вакууме током 1 А до температуры 1000 К. При каком токе накалится до 3000 К?

3. Фотоэффект у некоторого металла начинается при частоте падающего света 608 ТГц. Определить частоту света, при которой освобождаемые им с поверхности данного металла электроны полностью задерживаются разностью потенциалов в 3В.
4. Определить длину волны спектральной линии в спектре водородоподобного иона с $Z=4$. Спектральная линия появилась в результате перехода электрона с пятой орбиты на первую.
5. Какую наименьшую кинетическую энергию должны иметь электроны, чтобы при возбуждении атома водорода удаление этих электронов определяло спектр водорода содержащего линию с длиной волны 97,35 нм?
6. Определить длину волны де Бройля частицы массой 1 г, летящей со второй космической скоростью (11,2 км/с).
7. Определить изменение орбитального механического момента электрона при переходе его из возбужденного состояния в основное с испусканием фотона с длиной волны $\lambda=1,02 \cdot 10^{-7}$ м.
8. Определить неизвестный продукт реакции. Вычислить энергию ядерной реакции ${}^{14}_7\text{N} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + \text{X}$
9. Найти удельную энергию связи ядра атома алюминия ${}^{27}_{13}\text{Al}$.
10. За восемь суток распалось 75% начального количества ядер радиоактивного изотопа. Определить период полураспада.
11. Найти постоянную распада радиоактивного кобальта, если его активность уменьшится за 65 мин на 3%.

Вариант 5

1. Максимум спектральной плотности энергетической светимости яркой звезды Сириус приходится на длину волны 560 нм. Принимая звезду за абсолютно черное тело, определить температуру её поверхности.
2. С поверхности сажи площадью 2 см^2 при температуре 400 К за время 5 мин излучается энергия 83 Дж. Определить коэффициент черноты сажи.
3. Найти работу выхода электрона из металла, у которого при частоте падающего света 677 ТГц начинается фотоэффект.
4. Определить длину волны спектральной линии в спектре водородоподобного иона с $Z=3$. Спектральная линия появилась в результате перехода электрона с 6-й орбиты на 1-ю.
5. Определить, на сколько изменится энергия электрона в атоме водорода при излучении атомом фотона с длиной волны $4,86 \cdot 10^{-7}$ м.
6. Кинетическая энергия электрона равна 0,51 МэВ. Чему в этом случае равна длина волны де Бройля?
7. При движении броуновской частицы массой 10^{-13} г вдоль оси x неопределенность скорости составляет 1 см/с. Оценить неопределенность координаты этой частицы.

8. Написать недостающие обозначения в следующих реакциях



9. Определить тепловой эффект термоядерной реакции ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$

10. Найти возраст древних деревянных предметов, если удельная активность изотопа углерода С-14 у них составляет 0,6 удельной активности этого же изотопа в только что срубленных деревьях. Период полураспада С-14 равен 5570 годам.

11. Определить количество тепла, которое выделяет 5 мг радиоактивного полония-210 за период, равный среднему времени жизни этих ядер, если испускаемые альфа-частицы имеют кинетическую энергию 4 МэВ?

Вариант 6

1. На какую длину волны приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела, имеющего температуру, равную температуре человеческого тела, т.е. 37°?
2. Мощность излучения шара радиусом 10 см при некоторой температуре равна 1 кВт. Определить эту температуру, считая шар серым телом с коэффициентом поглощения 0,25.
3. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла равна 397 нм. Найти длину волны фотона, под действием которого из данного металла вырываются электроны, максимальная скорость которых равна 873 км/с.
4. Вычислить энергию фотона, соответствующую 5-й линии в ближайшей инфракрасной серии спектра атомов водорода (серии Пашена).
5. Фотон с энергией 16 эВ выбивает электрон из покоящегося атома водорода, находящегося в основном состоянии. Определить скорость электрона вдали от атома.
6. Определить длину волны де Бройля молекулы водорода ($m_{\text{H}_2} = 2,4 \cdot 10^{-27}$ кг), движущейся со средней квадратной скоростью при температуре 300 К.
7. Электрон заключен в области с линейными размерами порядка 0,1 нм. Какова неопределенность импульса электрона?
8. При взаимодействии α -частицы с ядрами бериллия ${}^9_4\text{Be}$ образуется нейтрон и новое ядро. Чему равны атомное и зарядовое числа нового ядра. Указать, какому элементу это ядро соответствует.
9. Чему равна энергия связи, приходящаяся на один нуклон ядра атома углерода ${}^{12}_6\text{C}$, если энергия связи этого ядра 72 МэВ.
10. Сколько альфа-частиц выбрасывает торий ${}^{232}_{90}\text{Th}$ массой 1 г за сутки? Период полураспада тория $1,39 \cdot 10^{11}$ лет.
11. Определите суточный расход (массу) чистого урана U-235 атомной электростанцией тепловой мощностью 300 МВт, если энергия, выделяющаяся при акте деления, составляет 200 МэВ.

Вариант 7

1. В каких областях спектра лежат длины волн, соответствующие максимуму спектральной плотности энергетической светимости, если источником света служит : а) спираль электрической лампочки ($T=3000\text{ K}$); б) атомная бомба, в которой в момент взрыва $T=10^7\text{ K}$.
2. В излучении абсолютно черного тела максимум энергии падает на длину волны 680 нм. Сколько энергии излучается за 1 секунду с 1 см^2 этого тела?
3. Найти частоту света, вырывающего с поверхности металла электроны, полностью задерживающиеся обратным потенциалом 2 В. Работа выхода для этого металла равна 3 эВ.
4. Определить максимальную и минимальную энергии фотона в видимой серии спектра водорода (серии Бальмера).
5. На водородоподобный покоящийся ион с атомным номером $Z=4$ падает фотон и выбивает электрон с кинетической энергией 6 эВ. Вычислить массу падающего фотона, если ион первоначально находился в состоянии с главным квантовым числом 2.
6. Найти длину волны де Бройля протона, прошедшего разность потенциалов 600 В.
7. Определить неточность в определении импульса молекулы водорода, если масса молекулы $2 \cdot 10^{-27}\text{ кг}$ и ее скорость 2000 м/с. Неточность в определении положения молекулы составляет 10^{-10} м .
8. В ядре изотопа кремния ${}_{14}\text{Si}^{27}$ один из протонов превратился в нейтрон (β^+ -распад). Какое ядро получилось в результате такого превращения?
9. Найти удельную энергию связи ядра изотопа лития ${}^7_3\text{Li}$.
10. Активность некоторого радиоизотопа уменьшилась в 20 раз за 20 суток. Найти его период полураспада (в сутках).
11. Период полураспада некоторого радиоактивного нуклида равен 90 мин. Определить среднюю продолжительность жизни этого нуклида (в час.)

Вариант 8

1. Энергетическая светимость абсолютно черного тела равна 3 Вт/см^2 . Определить длину волны, отвечающую максимуму спектральной плотности энергетической светимости этого тела.
2. Температура вольфрамовой спирали в 25-ваттной лампочки равна 2450 К. Отношение её энергетической светимости к энергетической светимости абсолютно черного тела при данной температуре равно 0,3 Н. Определить величину излучающей поверхности спирали.
3. При очередном освещении поверхности некоторого металла светом с длинами волн 183 и 340 нм обнаружили, что соответствующие максимальные скорости электронов отличаются друг от друга в 2 раза. Найти работу выхода с поверхности этого металла.
4. Определить скорость электрона на боровской орбите номер 3 в атоме водорода.

5. Найти полную энергию электрона на боровской орбите номер 8 в атоме водорода.
6. Альфа – частица движется по окружности радиусом 0,26 м нормально силовым линиям однородного магнитного поля напряженностью $2,5 \cdot 10^6$ А/м. Определить длину волны де Бройля для этой альфа-частицы.
7. Неточность при измерении координаты электрона, движущегося по прямой траектории, равна 1 нм. Определить неточность в определении кинетической энергии этого электрона.
8. Определить, сколько β - и α -частиц выбрасывается при превращении ядра таллия ${}_{81}\text{Tl}^{210}$ в ядро свинца ${}_{82}\text{Pb}^{206}$.
9. Вычислить дефект массы, энергию связи ядра и его удельную энергию связи для элемента ${}_{79}\text{Au}^{196}$.
10. Один грамм радия испытывает $3,7 \cdot 10^{10}$ распадов в 1 с. Определить период полураспада и постоянную распада ${}_{88}\text{Ra}^{226}$.
11. Мировое потребление энергии составляет примерно $3 \cdot 10^{20}$ Дж в год. Сколько дейтерия в секунду потребовалось бы сжигать в термоядерных реакторах для обеспечения всех современных энергетических потребностей человечества?

Вариант 9

1. Имеются два абсолютно черных источника теплового излучения. Температура одного из них 2500 К. Определить температуру другого источника, если длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости, на 0,5 мкм больше длины волны, соответствующей максимуму спектральной плотности энергетической светимости первого источника.
2. Длина волны, соответствующая максимуму энергии в спектре излучения абсолютно черного тела, равна 800 нм. Определить мощность теплового излучения, если площадь излучающей поверхности равна 20 см^2 .
3. На вольфрамовый катод фотоэлемента падают ультрафиолетовые лучи с длиной волны 0,1 мкм. При каком запирающем напряжении между катодом и анодом фотоэлемента фототок в цепи равен нулю (т.е. ни один фотон не может долететь до анода)? Работа выхода электронов из вольфрама 4,5 эВ.
4. Какую скорость приобретает первоначально покоившийся атом водорода при испускании фотона, соответствующего первой линии серии Лаймана в спектре атомов водорода.
5. Вычислить энергию связи электрона в атоме водорода, который находится в возбужденном состоянии с главным квантовым числом 2.
6. Найти дебройлевскую длину волны молекул водорода ($m_{\text{в}} = 3,4 \cdot 10^{-27}$ кг), соответствующую их наиболее вероятной скорости при температуре 327 К.

7. Неточность в определении местоположения частицы, движущейся вдоль оси x , равна длине волны де Бройля для этой частицы. Определить относительную неточность в определении ее скорости.
8. Определить порядковый номер и массовое число изотопа, который получается из тория ${}_{90}\text{Th}^{232}$ после трех α - и двух β -превращений.
9. Какая энергия выделяется при слиянии двух ядер дейтерия, если в результате образуется ядро изотопа гелия ${}_{2}\text{He}^3$ и нейтрон.
10. Определить активность радиоактивного натрия ${}_{11}\text{Na}^{24}$, масса которого 10^{-6} кг.
11. В процессе термоядерного синтеза 50 тонн водорода превращаются в 49644 кг гелия. Определить, сколько энергии выделится при этом.

Вариант 10

1. В центре Солнца максимум спектральной плотности энергетической светимости приходится на длину волны $\lambda_0 = 0,47 \mu\text{м}$. Приняв, что Солнце излучает как абсолютно черное тело, найти интенсивность солнечной радиации (т.е. плотность потока излучения) вблизи Земли за пределами её атмосферы.
2. Определить поглощательную способность серого тела, имеющего температуру 2000 К, если его поверхность площадью 2 м^2 излучает за 20 секунд энергию 20 кДж.
3. Определить постоянную Планка, если известно, что фотоэлектроны, вызываемые светом с поверхности некоторого металла, полностью задерживаются запирающим напряжением 0,5 В, если частота колебаний в световой волне $0,39 \cdot 10^{15}$ Гц, а когда частота колебаний $0,75 \cdot 10^{15}$ Гц, то запирающее напряжение становится равным 2 В.
4. Зная максимальную длину волны спектральной линии серии Бальмера 656 нм, определить длины волн граничных линий в сериях Лаймана и Пашена.
5. Используя теорию Бора для атома водорода, определите радиус ближайший к ядру орбиты (первый боровский радиус и скорость движения электрона по этой орбите).
6. Найти кинетическую энергию электрона, для которого длина волны де Бройля равна 7,1 нм.
7. Типичное время существования возбужденного состояния ядер имеет порядок 10^{-12} с. Какова неопределенность энергии γ -квантов, испускаемых ядрами?
8. Какой изотоп образуется из α -активного ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ в результате пяти α -распадов и четырех β -распадов?
9. Вычислить дефект массы ядра изотопа гелия ${}_{2}\text{He}^4$, если известно, что масса атома гелия равна 4,0026 а.е.м.
10. Определить, какая доля радиоактивного препарата ${}_{38}\text{X}^{90}$ распадется в течение 10 лет.

11. За какое время произойдет распад $5 \cdot 10^6$ грамм радия, если в начальный момент его масса составляет 0,1 грамм.

Приложение

1. Некоторые математические формулы:

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1;$$

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta \pm \cos \alpha \cdot \sin \beta; \quad \cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta \pm \sin \alpha \cdot \sin \beta;$$

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha; \quad \cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha;$$

$$\sin^2 \alpha = \frac{1}{2} (1 - \cos 2\alpha); \quad \cos^2 \alpha = \frac{1}{2} (1 + \cos 2\alpha);$$

$$\frac{d}{dx} x^n = nx^{n-1}; \quad \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{x} \right) = -\frac{1}{x^2}; \quad \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{x^n} \right) = -\frac{n}{x^{n+1}};$$

$$\frac{d}{dx} e^x = e^x; \quad \frac{d}{dx} \sin x = \cos x; \quad \frac{d}{dx} \cos x = -\sin x.$$

2. Десятичные приставки к названиям единиц:

Т – тера (10^{12});

д – деци (10^{-1});

н – нано (10^{-9});

Г – гига (10^9);

с – санти (10^{-2});

п – пико (10^{-12});

М – мега (10^6);

м – милли (10^{-3});

ф – фемто (10^{-15});

к – кило (10^3);

мк – микро (10^{-6});

а – атто (10^{-18}).

3. Некоторые внесистемные величины:

$$1 \text{ сут} = 86400 \text{ с};$$

$$1 \text{ об/с} = 1 \text{ с}^{-1};$$

$$1^\circ = 1,75 \cdot 10^{-2} \text{ рад} = \pi/180 \text{ рад};$$

$$1 \text{ об/мин} = 1/60 \text{ с}^{-1};$$

$$1' = 2,91 \cdot 10^{-4} \text{ рад} = \pi/180 \cdot 10^{-2} \text{ рад};$$

$$1 \text{ мм.рт.ст.} = 133,3 \text{ Па};$$

$$1'' = 4,85 \cdot 10^{-6} \text{ рад} = \pi/(648 \cdot 10^3) \text{ рад};$$

$$1 \text{ л} = 10^{-3} \text{ м}^3;$$

$$1 \text{ рад} = 57^\circ 18';$$

$$1 \text{ кал} = 4,19 \text{ Дж};$$

$$1 \text{ атм} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

4. Основные физические постоянные:

Скорость света в вакууме

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Постоянная Авогадро

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}$$

Молярная газовая постоянная

$$R = 8,31 \text{ Дж/К моль}$$

Постоянная Больцмана

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$$

Молярный объем идеального газа

$$V_M = 22,41 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$$

при нормальных условиях

($P = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $T = 273 \text{ К}$)

5. Плотность газов ρ (кг/м³) при нормальных условиях:

Азот	1,25	Воздух	1,29
Аргон	1,78	Гелий	0,18
Водород	0,09	Кислород	1,43

6. Эффективный диаметр молекул (нм):

Азот	0,38	Воздух	0,27
Аргон	0,35	Гелий	0,22
Водород	0,28	Кислород	0,36

7. Молярные массы ($M \cdot 10^{-3}$ кг/моль) газов:

Гелий	He	4	Аргон	Ar	40
Азот	N ₂	28	Окись азота	NO	30
Кислород	O ₂	32	Неон	Ne	20
Воздух		29	Сернистый газ	SO ₂	64
Метан	CH ₄	16	Углекислый газ	CO ₂	44
Водород	H ₂	2	Аммиак	NH ₃	14

8. Основные физические величины

Скорость света в вакууме	$c=3 \cdot 10^8$ м/с
Элементарный заряд	$q_e=1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса покоя электрона	$m_e=9,11 \cdot 10^{-31}$ кг
Масса покоя протона	$m_p=1,672 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса покоя нейтрона	$m_n=1,675 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса покоя α -частицы	$m_\alpha=6,64 \cdot 10^{-27}$ кг
Удельный заряд электрона	$\frac{e}{m_e} = 1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг
Электрическая постоянная	$\epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
	$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9$ Ф/м
Атомная единица массы	а.е.м. = $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma=5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/м ² ·К
Постоянная Вина	$b=2,9 \cdot 10^{-3}$ м·К
Постоянная Планка	$h=6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Постоянная Ридберга	$R=3,29 \cdot 10^{15}$ с ⁻¹
	$R'=1,10 \cdot 10^7$ м ⁻¹

Работа выхода электронов из металлов (в эВ)

Платина	5,3	Серебро	4,74
Цезий	1,9	Натрий	2,3
Цинк	3,74	Калий	2,0
Вольфрам	4,5	Стронций	1,9

Период полураспада некоторых радиоактивных элементов

Актиний ${}_{89}^{225}\text{Ac}$	10 сут	Радон ${}_{88}^{226}\text{Ra}$	1590 лет
Радий ${}_{88}^{219}\text{Ra}$	10^{-3} с	Торий ${}_{90}^{219}\text{Th}$	$7 \cdot 10^3$ лет
Радий ${}_{88}^{226}\text{Ra}$	$1,62 \cdot 10^3$ лет	Уран ${}_{92}^{235}\text{U}$	$4,5 \cdot 10^9$ лет
Стронций ${}_{38}^{90}\text{Sr}$	28 лет	Натрий ${}_{11}^{24}\text{Na}$	14,8 часа

Массы некоторых изотопов (в а.е.м.)

Изотоп	Масса	Изотоп	Масса	Изотоп	Масса
${}_{1}\text{H}^1$	1,00814	${}_{4}\text{Be}^9$	9,01505	${}_{14}\text{Si}^{30}$	29,98325
${}_{1}\text{H}^2$	2,011474	${}_{5}\text{Be}^{10}$	10,01612	${}_{20}\text{Ca}^{40}$	39,97542
${}_{1}\text{H}^3$	3,01700	${}_{6}\text{C}^{12}$	12,00380	${}_{27}\text{Co}^{56}$	55,95769
${}_{2}\text{He}^3$	3,01699	${}_{7}\text{N}^{13}$	13,00987	${}_{29}\text{Cu}^{63}$	62,94962
${}_{2}\text{He}^4$	4,00388	${}_{7}\text{N}^{14}$	14,00752	${}_{48}\text{Cd}^{113}$	112,94206
${}_{3}\text{Li}^6$	6,01703	${}_{8}\text{O}^{17}$	17,00453	${}_{80}\text{Hg}^{200}$	200,02800
${}_{3}\text{Li}^7$	7,01823	${}_{12}\text{Mg}^{23}$	23,00145	${}_{92}\text{U}^{235}$	235,11750
${}_{4}\text{Be}^7$	7,01916	${}_{12}\text{Mg}^{24}$	23,99267	${}_{92}\text{U}^{238}$	238,12376
${}_{4}\text{Be}^8$	8,00785	${}_{13}\text{Al}^{27}$	26,99010		

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фриш, С.Э. Курс общей физики : учебник. В 3-х т. / С.Э. Фриш, А.В. Тиморева. – СПб.: Лань, 2007. Т. 1, 2,3.
2. Савельев И.В. Курс общей физики : учебник. В 3-х т./ И. В.Савельев. – СПб. Лань, 2007. Т. 1, 2,3.
3. Трофимова, Т.И. Курс физики : учеб. пособие для вузов / Т.И. Трофимова. – 18-е изд., – М.: Академия, 2010.
4. Бурученко, А.Е. Физика: Учеб. пособие. Ч.1, 2, 3 / А.Е. Бурученко. – Красноярск: КрасГАСА, 1998.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Часть 1. «Механика. Молекулярная физика и термодинамика».....	4
Контрольное задание №1.....	13
Контрольное задание №2.....	31
Часть 2. «Электростатика и постоянный ток. Электромагнетизм».....	38
Контрольное задание №3.....	45
Контрольное задание №4 №4.....	63
Часть 3. «Оптика. Атомная и ядерная физика».....	74
Контрольное задание №5.....	79
Контрольные задания №6.....	92
Приложение.....	100
Библиографический список.....	102

ОБЩАЯ ФИЗИКА

Контрольные задания для студентов специалистов разных специальностей

Подготовлено к изданию РИО БИК СФУ

Подписано в печать 2012 г. Формат 60x84/16
Бумага офсетная. Печать плоская
Усл. печ. л. Уч.-изд. л.
Тираж 1000 экз. Заказ (дает РИО)

Редакционно-издательский отдел
Библиотечно-издательского комплекса
Сибирского федерального университета
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79
Тел/факс (391) 206-21-49. E-mail rio@sfu-kras.ru
<http://rio.sfu-kras.ru>

Отпечатано Полиграфическим центром
Библиотечно-издательского комплекса
Сибирского федерального университета
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82а
Тел. 206-26-58, 206-26-49